45. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi,

29 Haziran – 1 Temmuz 2026, İTÜ, İstanbul

YAEM 2026

Veri Bilimi Çağında Endüstri Mühendisliği

Bildiri Özet Kitabı

YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI DERNEĞİ

İTÜ

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ 1773

Editörler: *Hatice Tekiner Moğulkoç, Özgür Kabak, Murat Durucu, Şule Itır Satoğlu*

Konferans Başkanı

Şule Itır Satoğlu, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Organizasyon Komitesi

Ayşe Elvan Bayraktaroğlu, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Çiğdem Altın Gümüşsoy, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Emine Yaylalı, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Enis Kayış, *Özyeğin Üniversitesi*
Esra Ataç Baş, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Hatice Tekiner Moğulkoç, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Kadir Büyüközkan, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*
Mehmet Güray Güler, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Mehmet Yasin Ulukuş, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Murat Durucu, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Ömer Faruk Beyca, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Özgür Kabak, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Bilim Kurulu

Alev Taşkın, *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Alp Üstündağ, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Alper Şen, *Bilkent Üniversitesi*
Ayberk Soyer, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Bahar Yetiş Kara, *Bilkent Üniversitesi*
Başar Öztayşi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Berna Ulutaş, *Osmangazi Üniversitesi*
Betül Yağmahan, *Uludağ Üniversitesi*
Bülent Çatay, *Sabancı Üniversitesi*
Burhaneddin Sandıkçı, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Cafer Erhan Bozdağ, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Çağrı Koç, *Hacettepe Üniversitesi*
Cahit Ali Bayraktar, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Cemil Ceylan, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Cengiz Kahraman, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Çiğdem Kadaifçi Yanmaz, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Emre Çevikcan, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Ercan Öztemel, *Marmara Üniversitesi*
Erkan Işıklı, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Fethi Çalışır, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Fikri Karaesmen, *Koç Üniversitesi*
Fuat Kosanoğlu, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Füsun Ülengin, *Sabancı Üniversitesi*
Gaye Karaçay Aydın, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Gülfem Tuzkaya, *Marmara Üniversitesi*
Gündüz Ulusoy, *Sabancı Üniversitesi*
Hadi Gökçen, *Gazi Üniversitesi*
Hakan Gültekin, *Sultan Qaboos University*
Hüseyin Selçuk Kılıç, *Marmara Üniversitesi*
Hüsnü Bülent Cerit, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
İdil Vedia Evcimen, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
İhsan Sabuncuoğlu, *TED Üniversitesi*
Mehmet Gönen, *Koç Üniversitesi*
Mehmet Ali Ergün, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Metin Türkay, *Koç Üniversitesi*
Muammer Altan Çakır, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Murat Baskak, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Necati Aras, *Boğaziçi Üniversitesi*
Nihal Erginel, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Ömer Lütfi Antalyalı, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Osman Taylan, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Oya Ekin Karaşan, *Bilkent Üniversitesi*
Özge Karanfil, *Koç Üniversitesi*
Refik Güllü, *Boğaziçi Üniversitesi*
Seçkin Polat, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Seda Yanık Özbay, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Selim Aktürk, *Bilkent Üniversitesi*
Selim Zaim, *İbn Haldun Üniversitesi*
Selin Soner Kara, *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Serap Ulusam Seçkiner, *Gaziantep Üniversitesi*
Serpil Sayın, *Koç Üniversitesi*
Serpil Erol, *Gazi Üniversitesi*
Şeyda Serdar Asan, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Sibel Salman, *Koç Üniversitesi*
Temel Öncan, *Galatasaray Üniversitesi*
Tufan Vehbi Koç, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Tuncay Özcan, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Turan Paksoy, *Necmettin Erbakan Üniversitesi*
Umut Asan, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Umut Rıfat Tuzkaya, *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Yusuf İlker Topcu, *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Zeki Caner Taşkın, *Boğaziçi Üniversitesi*

Sponsorlar

Altın Sponsor

hexaly

Gümüş Sponsor

GUROBI OPTIMIZATION

GAMS

Ulaşım Sponsoru

TURKISH TECHNOLOGY

İçindekiler

1 – A Four-Level QFD/House-of-Quality Decision Framework for Logistics Centre Location and Logistics Service Platform Design Based on Voice of Customer 14

3 – Predictive Modeling of Asset Price Dynamics via Mean-Reverting OU Processes and Statistical Scenario Filtering 16

5 – Otoklav Kürleme İşlemi İçin Kompozit Parçaların Gruplandırılması ve Yerleşimi 17

8 – Kamyon Yükleme ve Tedarikçi Seçimi Problemi için Bir Ayrıştırma Modeli 19

9 – A Multi-Objective Model Approach for Flexible Green Warehouse Location Selection: A Geospatial Approach for the Istanbul Metropolitan Logistics Network 20

10 – Tekstüre İp Üretimi İç Lojistik Süreçleri için AMR Sistemlerinin Devreye Alma Öncesi Analizlerinin Doğrulanması ve Süreç Yalınlaştırması: SASA Polyester DTY Tesisi Örneği 21

11 – A Data-Driven Variable Neighborhood Search for Specimen Collection and Delivery: An Istanbul Anatolian Side Case Study 22

12 – An Adaptive Online Learning Framework for Real-Time Hospital Readmission Prediction under Concept Drift 23

13 – Hibrit Çalışma Sistemi Altında Uzun Dönemli Çok Amaçlı Araç Paylaşım Modeli 24

14 – Alacak Tahsilatı Varsayımlarının Yeniden Değerlendirilmesi: Geleneksel Skorkartların Ötesinde Birliktelik Kuralı Madenciliğinden Elde Edilen Bulgular 25

16 – A Network Design Model with Demand-Dependent Flow Routing 26

17 – Gaziantep Merkez İlçelerinde Tıbbi Atık Toplanmasının Araç Rotalama Problemi ile Optimizasyonu 27

19 – Atıksu Arıtma Tesisi Yer Seçim Problemi: Gaziantep İçin Uygulama 28

22 – Farklı Koridor Yapılarına Sahip Konveyör Destekli Depo Tasarımlarının Sipariş Toplama Performansına Etkisi 29

24 – Best-Worst ve CoCoSo Yöntemleri ile Endüstri 5.0 Çerçevesinde Ülkelerin Beşerî Sermaye ve Teknolojik Hazırbulunuşluk Performanslarının İncelenmesi 30

25 – Alt Yüklenici Üretiminde Teslimat Gecikmesi Tahmini: Doğrulama Stratejisinin Model Performansına Etkisi 31

26 – Sakarya'daki Eğitim Kurumlarının Depreme Dayanıklılık Analizinde Denetimsiz Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırılması 32

27 – Kapalı Tehlikeli Kimyasal Depolarda Risk-Kapasite Dengesi için Genetik Algoritma Tabanlı Yerleşim Modeli 33

28 – Hastane Randevu Sistemlerinde Hasta Gelmeme (No-Show) Davranışının Tahmini için Makine Öğrenmesi Tabanlı Karşılaştırmalı Bir Analiz 34

30 – Modelden Ürüne: Üniversite Arasınav Çizelgeleme İçin Excel Tabanlı Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirme Süreci 35

31 – Market Kasa Kuyruklarının Modellenmesi ve Optimizasyonu: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü Üzerine Bir Uygulama 36

32 – Belirsiz Gelecek Dönem Talebi Altında Önceden Tanımlı Yükleme Konfigürasyonlarıyla Araç Taşımacılığı Lojistiği Optimizasyonu 38

33 – Sıvılaştırılmış Petrol Gazı ile Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesiyle Karşılaştırmalı Çevresel Analizi ve Dağıtım Lojistiğinin Araç Rotalama Problemiyle Optimizasyonu 39

34 – Evaluating Post-Graduate Career Alternatives Using the Analytical Hierarchy Process: An Application on Industrial Engineering Students 40

35 – Enerji Üretim Planlamasında Veri Tabanlı Senaryo Analizi: Makine Öğrenmesi ve Optimizasyon Entegrasyonu 41

36 – İlaç Endüstrisinde Blister Ambalaj Tasarımının ve Üç Boyutlu Ambalaj Düzenleme Kararlarının Entegre Optimizasyonu 42

37 – Kalan Ömür Sürecinin Momentleri için Yeni Yaklaşık Formüller 43

38 – Çok Modlu ve Üç Amaçlı Proje Çizelgeleme Yaklaşımı ve Uygulaması 44

39 – Bölgesel Ürün Planlamasında Çok Amaçlı Sürdürülebilir Optimizasyon Modeli 45

40 – Stochastic Generation Expansion Planning with Multi-Tier Demand Representation in Sub-Saharan Africa 46

41 – Yapay Zekâ Tabanlı Dijital Uygulamaların Kurum İçi Entegrasyonunu Şekillendiren Koşulların FSQCA Yöntemi ile Analizi 47

42 – Mobile Service Unit Deployment for Periodic Demand in Post-Disaster Logistics 49

43 – Deprem Sonrası Telekomünikasyon Ağı Restorasyonu için Çok Teknolojili Kaynakların Afet Öncesi Tahsisi ve Afet Sonrası Konuşlandırılması: Stokastik ve Gürbüz Optimizasyon Yaklaşımları 50

44 – Enerji Hasadı Tabanlı Su Altı Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma: Bir Modelleme ve Optimizasyon Yaklaşımı Geliştirmesi 51

45 – Data-Driven Learning and Stochastic Search: A Decade-Long Systematic Review of Machine Learning-Assisted Metaheuristic Optimization (2015-2025) 52

46 – Kanal Karar Sistemi 53

47 – Tekstil Endüstrisinde Tedarikçi Değerlendirmede Bütünleşik Yaklaşım: AHP, TOPSIS ve COPRAS Modelleriyle Bir Uygulama 55

48 – Soğuk Zincir Lojistiğinde Rota Seçimi için Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı: Türkiye Örneği 56

49 – Sürdürülebilir Ekonomik Büyüme ve Enerji Güvenliği için Elektrik Şebekesi Yatırım Planlanması: Kenya Örneği 57

50 – Telekomünikasyon Pazarlama Uygulamalarında Çok Boyutlu Kota Kısıtlı Outbound Kampanya Planlaması: Çok Dönemli Yinelemeli Optimizasyon ve Gelecek Nesil Tahminleme Vizyonu 59

52 – Saha Operasyonlarında Verimlilik: Dağıtık Hizmet Sistemleri için Gereklilik-Görünürlük-Yönetilebilirlik Temelli Bir Sistem Tasarım Çerçevesi 61

53 – Bir Tekstil Firmasında Tedarikçi Seçim Sürecinin Dematel Yöntemi ile İncelenmesi 62

54 – Alüminyum Üretim Süreçlerinde Geri Dönüşüm, Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzinin Entegre Yönetimi 63

55 – Taco Çeşni Kaplamalı Piliç Pane Reçetesi Geliştirilmesi ve Reçete Optimizasyonu 64

56 – Afet Sonrası İletişim Talebinin Mekânsal-Zamansal Simülasyonu: Bir Küçükçekmece Vaka Çalışması 65

58 – Afet ve İnsani Yardım Lojistiğinde Tesis Yer Seçimi, Stok Ön Konumlandırma ve Dağıtım Problemlerine Yönelik Bir Literatür İncelemesi 66

59 – Kamu Sektörü Dijital Dönüşüm Olgunluk Seviyelerinin WENSLO-ARTASI Bütünleşik Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi: G20 Ülkeleri Uygulaması 67

60 – Hızlı Teslimat Operasyonları için Gerçek Zamanlı Optimizasyon ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Karar Destek Sistemi 68

61 – Yapay Zekâ Destekli Yangın Acil Durum Yönetim Sistemleri İçin Bütünleşik Değerlendirme Çerçevesi 69

63 – Çukurova Bölgesinin Tarımsal Üretim Sistemlerinin İklim Değişikliğine Uyum Stratejileri Açısından Değerlendirilmesi 70

64 – Ambalaj Sektöründe Makine Öğrenmesi Tabanlı Sipariş Tahmini ve Belirsizlik Azaltma Yaklaşımı 71

65 – Eğitim Hizmetlerinde Selenium Tabanlı Randevu Otomasyonu ve Merkezi Kurs Takip Platformu Tasarımı 72

66 – Sürekli Alanda Taşıma Maliyeti ve Maksimum İstenmeyen Etkiyi Gözeten Yarı-İstenen Tesis Yerleşim-Rotalama Problemi..... 74

67 – Havayolu Hizmet Alanlarının Önceliklendirilmesi için Makine Öğrenmesi Türevli Kriterlere Dayalı Bütünleşik Bir Entropi–TOPSIS Modeli..... 75

68 – E-Ticaret Platformlarında Kişiselleştirilmiş Benzer Ürün Önerisi için Yeniden Sıralama Yaklaşımı 76

69 – Ortalama Uçuş Süresi Dikkate Alınarak Çok Amaçlı Kuyruk Atama Problemi..... 77

70 – Impact of Forecast Accuracy on Revenue Optimization: Evidence from Retail Data 78

72 – Türkiye'deki KOBİ'ler İçin Yalın-Yeşil Performans Göstergelerinin Belirlenmesi: PRISMA ve ÇKKV Temelli Bir Yaklaşım..... 79

73 – Farklı Raf Ömürlerine Sahip Bozulabilir Ürünler için Çok-Ürünlü Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi 80

74 – Uluslararası Lojistikte Navlun Fiyat Dalgalanmalarının Operasyonel Karar Verme Süreçlerine Etkisi..... 81

76 – Yerleşke Ölçekli Bütünleşik Enerji Sistemlerinde Temiz Enerji Dönüşümü Planlaması için Çok Aşamalı Rassal Programlama ve Benders Ayrıştırması..... 82

77 – Üretim Proses Maliyetinin Gerçek Zamanlı Optimizasyonu için Bir Dijital İkiz Çerçeve Yapısı 83

78 – Kablosuz Sensör Ağlarında Enerji Dengeli ve Kapsama Tabanlı Sensör Yerleşim Optimizasyonu 84

79 – Muya Firmasında Güvenlik Stoğu Optimizasyonu ve Enerji Tabanlı İşgücü Verimliliğinin Bütünleşik Bir Yaklaşımla Analizi..... 86

80 – Endüstriyel Lazer Kesim Süreçlerinde Yapay Zekâ Destekli Enerji Yönetimi..... 87

81 – Türkiye'deki Bankaların Etkinliklerinin Çeşitli Veri Zarflama Yöntemleri ile Analizi 88

82 – Otomotiv Sektöründe Robotik Teknolojilerin Kabulünün Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Analizi.. 89

83 – Erasmus Üniversite Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı 90

84 – Kargo Dağıtım Ağlarında Aktarma Merkezi ve Şube Yer Seçimi İçin Kapasiteli Tamsayılı Programlama Yaklaşımı..... 91

86 – Alternatif Senaryolar Altında Elektrikli Araç Otoyol Şarj Altyapısı ve Şebeke Güçlendirmesi Planlaması: Çok Amaçlı Bir Optimizasyon Yaklaşımı ve Uygulaması 92

87 – Integration of Descriptive and Predictive Analyses for Solar Power Generation Uncertainty 93

89 – Savunma Tedarik Zincirinde Tedarik Sürelerini Tahmin Etmek için Kantil Tabanlı Makine Öğrenmesi Çerçevesi..... 94

90 – Büyük Dil Modelleriyle Türkçe Finansal Raporları Özetlemek ve Yapılandırılmış Bilgiler Çıkarmak İçin Uçtan Uca Bir Çerçeve 96

91 – Karma Palet Yükleme Sürecinin MaxRects Tabanlı Karar Destek Yaklaşımı ile İyileştirilme 98

92 – Doğal Gaz Boru Hatlarında Monolitik İzolasyon Mafsallarının Optimal Konumlandırılması 99

95 – Uluslararası Taşımacılık Depolama ve Dağıtım Şirketinde Döngüsel Sefer Dağıtım Ağının Optimizasyonu 101

97 – Kentsel Bisiklet Paylaşım Sistemlerinde Saatlik Talep Tahmini: Makine Öğrenmesi Yaklaşımının Doğrusal Regresyon ile Karşılaştırılması 102

98 – Alüminyum Ekstrüzyon Süreçlerinde Teslimat Güvenilirliğini İyileştirmeye Yönelik Yalın Üretim Performans Göstergesi Tasarımı: Bir Sanayi Uygulaması 103

100 – Zaman Pencereli ve Kapasite Kısıtlı Çok Amaçlı Araç Rotalama Problemi için Pekiştirmeli Öğrenme Destekli Yeni Bir Genetik Algoritma 104

101 – Kemoterapi Randevularına Uygulamalarla Dinamik Planlama için Sezgisel Yöntemlerin Değerlendirilmesi 105

103 – Entegre Yönetim Yazılımlarında Risk Etkileşimlerinin Bulanık DEMATEL ile Nedensel Analizi 106

104 – Orman Yangını Riskinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Sistem Dinamiği Tabanlı Bütünleşik Bir Yaklaşımla Değerlendirilmesi 107

105 – Elektrikli Araçlarda Lityum-İyon Bataryaların Şarj Durumu Tahmini için Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Karşılaştırılması 108

107 – ROPE: Risk Odaklı Proje Endeksi 109

108 – Bildiri Başlığı Yeşil Denetçi Rotalama: Karbon Emisyonu ve Maliyet Odaklı Heterojen Filo Optimizasyonu 110

109 – A Human-Centered Heuristic Framework for Metaverse-Integrated Course Timetabling in Medical Education 111

110 – Akıllı Telefon Üretim Süreçlerinde Regresyon Testlerinin Risk Tabanlı Önceliklendirilmesine Yönelik Yazılımın Tasarlanması ve Geliştirilmesi 112

111 – Yapay Zekâ Tabanlı Akıllı Kamera Preset Öneri Yazılımının Tasarlanması ve Geliştirilmesi 113

112 – Kullanıcı Davranış Analizine Dayalı Akıllı Mobil Ağ Yönetimi Yazılımı: Bir Endüstriyel Ar-Ge Projesinden Yaklaşım ve Deneyimler 114

113 – Akıllı Telefonlarda CPU ve Batarya Sıcaklığına Dayalı Adaptif Hızlı Şarj Yönetim Yazılımı: Veri Temelli Bir Termal Kontrol Yaklaşımı 115

115 – Appointment Quota Optimization in a Warehouse Facility: A Mixed-Integer Programming Approach 116

116 – A Multi-Criteria Decision-Making Approach to Rank Daily Electricity Demand Forecasting Models under Uncertainty 117

117 – Öğrenme Destekli Yapıya Duyarlı Gevşetme Seçimi ile Dışbükey Olmayan Kuadratik Kısıtlı Kuadratik Programların Çözümü 119

118 – Kısa Ömürlü Ürünlerin Envanter Yönetiminde Raf Ömrü Odaklı Karar Süreçleri: Derin Pekiştirmeli Öğrenme Yaklaşımı 120

119 – Yeni Pazara Girişte Müşteri Odaklı Ürün Geliştirme: Kalite Fonksiyonu Göçerimi Tabanlı bir Uygulama 121

120 – Otomotiv Yansanayinde Kaliteyi Artırmaya Yönelik Veri Madenciliği Uygulamaları 122

121 – Çok Amaçlı Eşitlikçi Eniyileme için Bir Çözüm Yaklaşımı 123

122 – Sürdürülebilir Demontaj Sistemleri İçin Kısmi Hat Dengeleme: Pekiştirmeli Öğrenme Tabanlı Bir Yaklaşım 124

123 – Kısmi Demontaj Hattı Dengeleme Problemi için Çok Amaçlı Evrimsel Optimizasyon Yaklaşımı 125

124 – Otomotiv Sektöründe Değişken Üretim Temposuna Uyumlu Akıllı Kaynak Optimizasyon Sistemi 126

126 – Türkiye'deki Büyükşehirlerin Sağlıklı Şehirler ve Toplumlar Bağlamında Performans Analizi 127

129 – Üretim Parametrelerinden Görsel Çıktıya: Denim Lokal Ağartma için Difüzyon Tabanlı Modelleme 128

130 – Çoklu Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi 129

132 – Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına Yönelik Eğitimde Engelsiz Ulaşım Vaka Çalışması..... 131

133 – Yörüngedeki Sürdürülebilirliğin Değerlendirilmesi: Uzay Enkazı Etkenlerine ve İyileştirme Stratejilerine Yönelik Hibrit Bulanık Yaklaşım 132

134 – Tekstil Sektöründe Çalışan Devir Riskinin Yönetimi: Birim ve Birey Düzeyinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirme..... 133

135 – Kırsal Kesim Elektrifikasyonu için Optimizasyon: Bir Dal ve Kesi Algoritması..... 134

137 – Neden-Sonuç Zincirlerinin Benzerliğine Yönelik Yeni Bir Uzaklık Ölçüsü ile Pazar Bölümlendirme ve Tahmin..... 135

138 – Türkiye'de İllere Göre Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi 136

139 – Makine Öğrenmesi Tabanlı İki Aşamalı Trafik Yoğunluğu Tahmin Modeli: İstanbul Örneği 137

140 – Zaman Pencereli Gezgin Tamirci Problemi için Kısıt Programlama Tabanlı Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Arama Hibrit Yaklaşımı..... 139

141 – V-CRAN Tabanlı Hücresiz Devasa MIMO: Gürbüz Optimizasyon ile Belirsizlik Altında Girişim ve Güvenilirlik Analizi..... 140

142 – Havayolu Fiyat Kilitleme Opsiyonlarının Makine Öğrenmesi Destekli Hibrit Modellerle Dinamik Fiyatlandırılması..... 142

143 – Orman Yangınları Yönetiminde Yöneylem Araştırması Uygulamaları 144

144 – Yapısal Batarya Kompozitleri için Sıralı Örüntü Madenciliği Kullanılarak Teknoloji Fırsatlarının Keşfi .. 145

145 – Katılım Bankacılığı ve Geleneksel Bankacılık Finansal Performans Analizi..... 146

146 – A Data-Driven Preprocessing Framework For Sequence-Dependent Setup Time Scheduling..... 147

147 – BIST Sürdürülebilirlik Endeksi Şirketlerinin ESG Performans Analizi: Entropy Tabanlı Hibrit Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması ile Portföy Optimizasyonu..... 148

148 – Stable Discrimination, Changing Risk: Limitations of Standard Metrics in Survival Models..... 149

149 – Makine Öğrenmesi Tabanlı İki Aşamalı Hibrit Top-N Alternatif Ham Madde Öneri Sistemi 150

150 – Orman Yangınlarına Müdahalede Kaynak Optimizasyonu..... 151

151 – Ayrık Olay Simülasyonu ile Hastane Asansörlerinde Bekleme ve Transit Sürelerinin İyileştirilmesi: Bir Vaka Çalışması..... 152

152 – Makine Öğrenimi Kullanarak Vakıf Üniversiteleri için Sıralama Tahmini..... 154

155 – Afet ve İnsani Yardım Lojistiği Literatürünün Bibliyometrik ve Konu Modelleme Analizi..... 155

156 – Çok Katmanlı İnsani Yardım Dağıtımı için Palet Tabanlı Çevrimiçi Optimizasyon: Yuvarlanan Ufuk Yaklaşımı..... 156

158 – Kamu Anaokulları için Tesis Yeri Optimizasayonu: Zeytinburnu İlçesi Örneği..... 158

161 – Makine Öğrenmesi ile Türkiye'de Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Üretim Potansiyelinin Tahmini ve Senaryo Bazlı Analizi 159

162 – Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması Çerçevesinde Üretim ve Yatırım Planlaması 160

163 – Kentsel Morfoloji Odaklı Afet Lojistiği: İstanbul Deprem Senaryosu Altında Stokastik p-Medyan Tabanlı Lokasyon Atama Modeli..... 161

164 – Orman Yangınlarında Erken Tespit için Gözetleme Optimizasyonu..... 163

165 – Yerleşke İçi Ring Rotalama Problemi-ODTÜ Örneği *164*

166 – Deniz Platformlarında Kullanılan Hava Savunma Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi *165*

169 – Karar Ağacı Algoritması Geliştirilmesiyle Bebek Maması Kategorisinde Planogram Tasarımı *166*

173 – Evolution of Machine Learning-driven Compiler Optimizations for Parallel Computing: A Systematic Bibliometric Analysis *167*

174 – Hızlı Teslimat Sektöründe Gerçek Zamanlı Analitik Çözümler: Kurye-Görev Atamalarında Verimlilik Dönüşümü *168*

175 – A Comparative Technical Analysis of Hydrogen-Powered Urban Buses via an Integrated MEREC-OCRA Methodology *170*

176 – Başkent Üniversitesi Öğrencileri Arasında Üretken Yapay Zekâ Araçlarının Benimsenmesi: Yapısal Eşitlik Modeli Analizi *171*

179 – Yeniden Yapılandırılabilir Üretim Sistemleri ve Endüstri 4.0 ..... *172*

180 – Ayrık Zamanlı Anahtarlamalı Doğrusal Sistemler için Eniyileme Temelli Çözüm Yaklaşımı *174*

181 – Çok Kamyonlu ve Çok İHA'lı Operasyonlarda Çok Amaçlı Rota Planlama: Ark Tabanlı Modelleme ve Yol Tabanlı Çözüm Yaklaşımı *175*

183 – Kümeleme Tabanlı ve Çok Kriterli Proje Değerlendirme Yaklaşımı *176*

184 – Kırsal Su-Enerji Sistemlerinin Güneş Enerjisi ve Depolama Entegrasyonuna Dayalı Optimizasyonu *177*

185 – Maliyet Sızıntılarını Önlemede Ekonomik Sipariş Miktarı ve Kalite Maliyetleri Entegrasyonu: Bir Kahve Zinciri Uygulama Çalışması *178*

186 – Weibull Tabanlı Interval Hesabı ve Doğrusal Programlama ile Uçak Komponent Bakım Paketlerinin Optimizasyonu: Gerçek Filo Verisi Üzerine Bir Uygulama *180*

187 – A Novel FIT2 Gaussian Fuzzy FUCOM-QFD Framework for Designing Resilient Agri-Food Systems *181*

189 – Endüstriyel Yan Ürün Yönetiminde Yapay Zekâ Destekli Mobil Senkronizasyon ve Döngüsel Ekonomi Platformu Tasarımı *182*

190 – Afrika Kökenli Erkeklerde Prostat Kanseri Risk Faktörlerinin Analizi *183*

191 – Bankacılıkta Finansal Dolandırıcılık Tespitinin Süreç Odaklı Ayrık Olay Simülasyonu ile Değerlendirilmesi *184*

193 – A Fuzzy Multi-Criteria and Optimisation Framework for Designing In-Plant Milk-Run Logistics to Reduce Work-In-Process Under Uncertainty *186*

194 – A Spherical Fuzzy BWM-MULTIMOORA Framework For Assessing Women's Entrepreneurship Ecosystem Enablers In Türkiye *187*

195 – Stokastik Yarı-Açık Çok Depolu Elektrikli Araç Rotalama Problemi: İki Aşamalı Optimizasyon ve Simülasyon Yaklaşımı *188*

197 – Şehir İçi Kurye Operasyonlarında Kapasite ve Vardiya Kısıtlı Rota Optimizasyonu *190*

198 – İnsan–Robot İş Birlikli Ergonomik İki Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi *191*

201 – Çok Katmanlı Yapay Zekâ ve Robotik Süreç Otomasyonu ile Tedarik Zinciri *192*

202 – Firma Değerlendirmeleri İçin Bir Kalite Olgunluk Modeli *193*

203 – Makine Öğrenmesi ve Çok Kriterli Karar Verme ile Kestirimci Bakım Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi *194*

207 – A Reinforcement Learning Approach for Solving the Bottleneck Traveling Salesman Problem with Time Windows *195*

208 – A Heuristic Solution Approach to the Job Shop Scheduling Problem: Shifting Bottleneck Implementation at SARTEKS TEXTILE 196

209 – Toplu Taşıma Sistemlerinde Bütünleşik Araç ve Görev Çizelgelemesi 197

211 – Afet Sonrası Geçici Barınma ve Enerji Lojistiği Karar Destek Sistemi: Kadıköy İlçesi İçin Bir Optimizasyon Modeli 198

212 – Metal Endüstrisinde Sürdürülebilir Teknoloji Yönetimi Süreçlerinin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği 199

213 – İstanbul M2 Metro Hattında Yolcu Yoğunluğu Tahmini ve Tren Sıklığı Optimizasyonu için Makine Öğrenmesi Destekli Dijital İkiz Yaklaşımı 200

216 – Türkiye Elektrik Talebi Tahmini: Veri Odaklı Çözüm Çerçevesi 201

217 – Türkiye'de Mevsimsel Grip (Tip H3N2) Dinamiklerinin Modellenmesi ve Analizi 202

218 – Akciğer Kanseri İnsidansı ve Mortalite Tahmini için Yarı-Markovyen Bir Mikro-Benzetim Yaklaşımı: Türkiye Örneği 203

219 – Çok Aktarmalı Hava Kargo Rota Seçiminin Yapay Zekâ Destekli Optimizasyonu 204

220 – Paslanmaz Çelik Tedarik Fiyatlarının Eş-Bölgeselleştirilmiş Varyasyonel Gauss Süreci ile Günlük Tahmini 205

222 – Havacılık Savunma Sanayii Üretim Tesisinde İç Lojistik Optimizasyonu 207

233 – Proje Yönetiminde Yapısal Risk Analizi Yaklaşımı ile Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi 208

235 – Bütünleşik Nakit Yönetimi: Şubeler, Ana Kasalar ve ATM'ler için Kompozit Bir Yapay Zekâ Platformu .. 209

255 – Çok Ürünlü Üretim Tesislerinde Zaman Pencereli ve Tekrar Ziyaretli Rota Planlaması 213

258 – Güvenlik Hizmetlerinde Çok Amaçlı Bir Nöbet Çizelgeleme Problemi: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı ve Karar Destek Sistemi Tasarımı 214

261 – İşgörenlerin Eğilimlerini Gözeten Ücretli İzin Planlama Sistemini Desteklemek için Bir Karar Modeli ... 215

263 – Genelleştirilmiş Birebir Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi İçin Değişken Komşu İniş Tabanlı Sezgisel Bir Yöntem 216

271 – Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme ve Gri Sistem Yaklaşımı ile Yüzücü Performansının Değerlendirilmesi 217

282 – Türkiye'deki Büyükşehirlerin Sağlıklı Şehirler ve Toplumlar Bağlamında Performans Analizi 218

332 – Thirty-Day Readmission After Cholecystectomy: A National Machine Learning Analysis 219

336 – Küme İlişkilerini Temel Alan Çok Amaçlı Gürbüz Optimizasyon Modelleri 220

337 – İmalat Sistemlerinde Milk-run Sistemi Tasarımı için Bir Simülasyon Çalışması 221

338 – Bütünleşik Nakit Yönetimi – Şubeler, Ana Kasalar ve ATM'ler için Kompozit Bir Yapay Zekâ Platformu 222

340 – Mobil Erişim Şebekelerinde Finansal Verimlilik Analizi: Yatırım Sonrası Veri Odaklı Bir Karar Verme Yaklaşımı 223

341 – Bankacılık Sektöründe Müşteri Küskünlüğünün Tahmini ve Açıklanabilir Yapay Zekâ ile Kişiselleştirilmiş Aksiyon Üretimi: Uygulama Odaklı Bir Yaklaşım 224

343 – A Data Collection Protocol and Modelling Framework for Freight Trip Generation in Istanbul 225

344 – Şube Satış Mükemmeliyeti için Kompozit Yapay Zekâ: Öngörülü Hedefleme, Performans Takibi ve Yapay Zekâ Koçluğu 227

345 – Şube Kaynak Optimizasyonu: Gezici Gişe Personeli Atama Problemi İçin Çok Katmanlı Bir Yaklaşım ... 228

346 – Sistem Dinamiği Modellerinde Kara Kutu Parametre Kalibrasyon Tekniklerinin İncelenmesi 229

347 – Çoklu İHA Devriyesi için Rol Tabanlı QMIX Uzantıları 230

348 – Türkiye Net-Sıfır Enerji Dönüşümü İçin Batarya Depolamalı Çok Dönemli Bölgesel Kapasite Genişleme Planlaması 232

350 – Behaviorally Informed Planning for Retrofitting, Sheltering, and Mixed-Mode Evacuation in Urban Tsunami Preparedness: Toward a Tsunami-Resilient Istanbul 234

351 – A Centralized Mechanism for Customer–Service Provider Matching in Last-Mile Delivery 235

352 – Diffüz Büyük B-Hücreli Lenfoma Tespiti için Açıklanabilir ve Bütünleşik Bir Dijital Patoloji İşlem Hattı . 236

353 – Renewable Solar Energy Source; A Solution to Epileptic Power Supply in Mubi 237

354 – Online Siparişlerin, Ortak Teslimat İşbirliği Modeli Çerçevesinde Dağıtılması için Öğrenme Tabanlı Sipariş Seçim ve Araç Rotalama Optimizasyonu 238

355 – İki Boyutlu Kesme Problemleri İçin GPU Tabanlı Paralel Genetik Algoritma Destekli Bir Karar Destek Sistemi 239

356 – Yapay Zekâ Çağında Yapısal Verinin Önemi – Tedarik Zinciri Yönetimi Verisinin Dijitalleşme Dönüşümü 240

357 – Karbon Kotası Kısıtı Altında İç Hat Havayolu Ağı İçin A-CII Tabanlı Filo Atama Optimizasyonu 242

358 – E-Ticaret Teslimat Rotalarının Karbon Emisyonu ve Maliyet Odaklı Çok Amaçlı Optimizasyonu 243

359 – Hibrit Çalışma Modelinde Bireysel Farklılıklara Dayalı Sürdürülebilir Yönetim Karar Yaklaşımı 244

360 – Çok Kanallı Perakende Operasyonlarının Optimizasyonu: Sipariş Karşılamada Crowd-Picking Stratejilerinin Analizi 245

361 – Tek Dönemli Rassal Envanter Probleminde Öznitelik Temelli Veri Güdümlü ve Maliyet Duyarlı Öğrenme 247

362 – Akıllı kargo dolaplarının kullanımına yönelik teşviklerin son kilometre teslimatları üzerindeki etkisi: Tüketici davranışını dikkate alan bir benzetim yaklaşımı 248

363 – Makine Öğrenmesi Tabanlı Hisse Yön Tahmini ve Güven Skorlarına Dayalı Portföy Optimizasyonu: BIST30 Üzerine Bir Uygulama 249

365 – Genelleştirilmiş Nash Dengesi Problemlerinde Gizli Konik Kuadratik Gösterimler 250

366 – Çok Partili Üretime Dayalı Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemi 251

367 – Algoritmik Günah Keçisi: Otonom Karar Sistemlerinde Vaat-Gerçekleşme Boşluğu 252

368 – Çoklu İHA Destekli Periyodik Gözlem Rotalama Problemi için Küme Kapsama ve Enerji Kısıtlı Rotalama Yaklaşımı 253

369 – İş Yükü Dengeleme Tabanlı Operatör Atama Optimizasyonu: Tırsan Treyler Üretim Hattı Pilot Uygulaması 255

371 – Kamu Alımlarında Mevzuat ve Uygulama Uyumlaştırılması: Çift Faktörlü Karar Verme (DFDM) Yaklaşımlı Bir Model Önerisi 256

372 – Sezgisel Bulanık SWARA – COPRAS Metodolojisi İle Afet Sonrası Yardım Lojistiğinde Depo Yeri Seçimi 257

374 – Smart-Contract Coupling of Financial Decisions under Dynamic Risk 258

375 – Analyzing Retail Food Efficiency: A Comparative Analysis of Meat vs. Fruit & Vegetable Departments 259

376 – Yapay Zekâ Destekli Makine Öğrenmesi Yaklaşımıyla Türkiye'de Güneş Enerjisi Üretim-Tüketiminin Modellenmesi 260

377 – Değişken Talep Altındaki Hizmet Sistemlerinde Makine Öğrenmesi ve Kesikli Olay Simülasyonunun Entegre Kullanımı: Bir Üniversite Kantini Uygulaması 261

379 – Yeşil Enerjiye Geçişte Toplu Taşıma Filoları için Elektrikli ve Hidrojenli Araç Şarj ve Dolum İstasyonu Yer Seçiminin Planlanması..... 263

380 – Tahmin Adaleti ile Karar Adaletinin Ayrıştırılması: Kredi Tahsis Kararları Üzerine Bir İnceleme 265

381 – Online Yemek Teslimat Platformlarında Faaliyet Gösteren Bulut Mutfaklar ve Benzeri İşletmeler İçin Veri Odaklı Dinamik İndirim Optimizasyonuna Yönelik Pekiştirmeli Öğrenme Çerçevesi..... 266

382 – Hidrojen Enerjisi Santrali Yer Seçimi Problemlerinde Kullanılan Model Yaklaşımlarının İncelenmesi ve Bir Optimizasyon Çerçevesi Önerisi..... 267

383 – Şehir İçi Kargo Dağıtımında Elektrikli Araç Dönüşümü ve Şarj İstasyonu Entegreli Rota Optimizasyonu: Dizel Filo ile Karşılaştırmalı Bir Ön Çalışma 268

384 – İstanbul'da Trafik Hızının Sensör Tabanlı Uzamsal-Zamansal Tahmini: Zaman Serisi ve Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırmalı Analizi 269

385 – Büyük Dil Modelleri Risk Alır Mı? Yapay Zekâ Finansal Karar Desteğinde Yanlılık ve Risk Tercihleri..... 270

386 – Talep ve Randıman Belirsizliği Altında Veri Odaklı Tek Dönemli Envanter Problemi için Karar Analitiği 271

387 – Orman Yangını Afetlerine Müdahalede Kaynak Tahsisinin Optimizasyonu: Muğla Orman Bölge Müdürlüğü Uygulaması..... 272

388 – Lojistik Operasyonlarında Müşteri Kayıp Davranışlarının Makine Öğrenmesi Tabanlı Analizi ve Anomali Tespiti İçin Bir Çerçeve Önerisi..... 274

389 – Büyük Dil Modeli Temelli Yaklaşımlarla Sertifika Programlarına Öğrenci Seçiminin Öngörülmesi 275

390 – Hastane İçi Taşıma Problemi: İki Aşamalı bir Bayesyen Derin Pekiştirmeli Öğrenme Yaklaşımı 276

391 – Dış Cephe Yalıtım Malzemelerinin Seçiminde Sürdürülebilirlik ve Teknik Performans Odaklı Karar Verme: Hibrit BWM-VIKOR ve Senaryo Analizi Yaklaşımı 277

392 – Fotodinamik Terapi İçin Yüksek Tekli Oksijen Üreten Fotosensitizer Yapılarının Tahminine Yönelik Makine Öğrenmesi Temelli Bir Çalışma..... 279

393 – Depolama Yeri Atama Problemi İçin Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli ve Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırmalı Analizi..... 280

394 – Ulaştırma Altyapı Yatırımlarının Bölgesel Lojistik ve Refah Üzerindeki Etkilerinin Analizi: TBA Tabanlı Bir Karar Destek Yaklaşımı..... 281

395 – Türkiye'de Orman Yangını Dayanıklılığının Optimizasyonu: Entegre Makine Öğrenmesi ve Konum-Tahsis Yaklaşımı..... 283

396 – İş Güvenliği Uzmanlarının Risk Kontrol Önlemlerini Önceliklendirmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı..... 284

398 – Perakende Kategori Yönetiminde Ürün Seçim ve Listeleme Kararları İçin Analitik Bir Uygulama..... 285

400 – Hub-Merkezli Hava Kargo Ağlarının Entegre Çok Düzeyli Optimizasyonu: Stratejik Tasarım, Taktik Planlama ve Operasyonel Kurtarma 286

401 – Makroekonomik Kırılganlıktan Kurumsal Dayanıklılığa: Sistem Dinamikleri ile Senaryo Tabanlı Strateji Modellemesi..... 287

402 – NSGA-II Tabanlı Çok Amaçlı Kalıp-Makine Atama ve Proses Parametre Optimizasyonu Plastik Enjeksiyon Uygulaması..... 288

403 – Otonom Sistemler Entegreli Bütünleşik Karar Destek ve Depo Optimizasyonu..... 289

404 – Elektrikli Araçların Yaygınlaşmasının Elektrik Üretim Planlamalarına Ektileri: Şarj Altyapısı Gelişimini Dikkate Alan Çok Amaçlı Optimizasyon 290

405 – A Triangular Fuzzy Koczkodaj-Based Consistency Diagnosis for Natural Hazard Risk Management 292

406 – Dijital Ürün Yönetim Süreçlerinin Analiz Edilmesi ve İyileştirilmesine Geleneksel Süreç Yönetimi İyileştirme ve Kalite Kontrol Yöntemlerinin Entegre Edilmesi 293

408 – Tedavi Sürelerindeki Belirsizlik Altında Kemoterapi Planlaması 295

409 – Elektrikli Araç Entegre Enerji Sistemlerinde Temsili Gün Seçiminin Uzun Dönem Üretim Genişletme Planlamasına Etkileri 296

412 – Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının Etkileşiminin Çevresel Perspektiften Analizi 297

413 – Ateşli Silahlarda Karşılaşılan İç Mekanizma Kaynaklı Tutukluluklar için Karar Alma Çerçevesi ve Sürdürülebilir Bakım Yönetimi Kapsamında Prototip Önerisi 298

415 – Şehir İçi Lojistikte Dinamik Sipariş Gruplama ve Zaman Pencereli Rotalama için Simülasyon Tabanlı Bir Yaklaşım 300

416 – Endüstriyel Fırın Üretiminde Çok İşçili Montaj Hattı için İşçi ve İstasyon Sayısının Enküçüklenmesine Yönelik Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Tavlama Benzerim Algoritması ve COMSOAL Algoritması 301

417 – Hızlı Kargo Taşımacılığında Yapay Zeka ve Yöneylem Araştırması Uygulamaları: Sistematik Bir Literatür Taraması 302

418 – Cam Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmede İmalat Değişimi Çalışmalarının Çizelgelenmesi 303

419 – Uzun Dönem Ekip Planlama Optimizasyonu 304

420 – Afet Sonrası Ulaşım Ağının Bağlılığının Etkin Şekilde Belirlenmesi 305

424 – Şehirlerarası Yolcu Ulaştırmasında Modal Rekabet, Altyapı ve Enerji Etkileşimlerinin Bütünleşik Optimizasyonu 306

427 – İstanbul Havalimanı Kalkış Pisti Çizelgeleme Problemi İçin MILP ve Komşuluk Arama Yaklaşımı 307

428 – Zamansal Önceliklendirilmiş Radyoterapi Planlaması 308

429 – Kronik Hepatit B Hastalarında Sağlık Okuryazarlığı Ölçeği Geliştirilmesi ve Düzeyinin İstatistiksel ve Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Modellenmesi 309

430 – Uçak Ağırlık ve Denge Optimizasyon Modeli 311

431 – İşbirliği Yapan Sağlık Hizmeti Sağlayıcılarla Çok Amaçlı, Öncelikli Evde Sağlık Hizmeti Rotalama ve Çizelgeleme 312

432 – Beklenen İstanbul Depremi Sonrası Mobil ve Sahra Hastanelerinin Yerleşimi ve Yaralı Tahsisi için İki Aşamalı Stokastik Optimizasyon Modeli 313

433 – Depo Yönetiminde Operasyonel Cihaz Yönetimi İçin Simülasyon Tabanlı Analiz ve Takip Otomasyonu Sistemi 315

434 – Stokastik Hedef Tespiti için İHA Yol Planlamasında Zaman Pencereli Yaklaşım 316

436 – Otomotiv Yan Sanayisinde Ürün Ağacı (BOM) Yapılandırılması ve Optimizasyonu 317

438 – Eklemeli İmalat için Toplam Gecikmeyi Enküçükleme Amaçlı Üretim Planlama ve Çizelgeleme Problemi 319

440 – Plastik Enjeksiyon Sektöründeki Kalite Hatalarının İstatiksel Analizi Ve İyileştime Önerileri 320

441 – Avrupa Birliği'nde Döngüsel Ekonominin Yapısal Bağımlılıkları, Yakınsama Eğilimleri ve Ülke Heterojenliği: Bir Bayes Ağları Analizi 321

442 – Çatı Üstü Güneş Enerji Sistemlerinin Kuruluş Yeri Seçimi İçin Bir Karar Modeli 322

444 – Çok Paydaşlı Dron Rotalama Probleminde Federe Öğrenme Tabanlı Sipariş Önceliklendirme Sistemi . 323

448 – Gezgin Satıcı Probleminin Yelken Balığı Optimizasyon Algoritması ile Çözümünde Farklı Kodlama Tekniklerinin Etkisi 324

449 – Sepsisle İlişkili Akut Böbrek Hasarının Erken Tahmininde Makine Öğrenmesi Yaklaşımı 325

450 –Aktarmalı Envanter Rotalama Problemleri için ALNS Tabanlı Hibrit Bir Sezgisel Çözüm Önerisi 326

452 – Futbolda Forvet Oyuncusu Seçimine Çok Amaçlı Karar Destek Yaklaşımı 327

453 – Afet Müdahale Planlamasında Entegre Yer Seçimi ve Atama için Stokastik Optimizasyon Modeli 329

454 – Metin Madenciliğine Dayalı Kansei Mühendisliği Yaklaşımı: Otel Hizmetlerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Uygulama 330

461 – Endüstri Mühendisliği Alanında Sonuçlanan TÜBİTAK ARDEB Projelerinin Tematik ve Zamansal Analizi 331

462 – Deprem Sonrası İHA Bazlı Baz İstasyonlarının Yerleşim ve Kullanım Optimizasyonu 332

463 – Çevrim İçi Sağlık Sektöründe RFM Analizi ve K-Means Algoritması ile Müşteri Segmentasyonu ve Makine Öğrenmesi ile Yüksek Terk Etme Riskine Sahip Müşterilerin Tahmini..... 333

464 – Merkezi Kompozit Tasarım ile Atık Su Gideriminde Biyosorpsiyon Süreci Optimizasyonu 334

465 – Bir Tohum Temizleme Tesisinde Ürün Özelliklerine Duyarlı Dinamik Fiyatlandırma Modeli Geliştirilmesi 335

466 – Türkiye'de Havaalanı Bağlantısallığının Bölgesel Kalkınma Açısından Analizi: Tüm Sivil Havalimanlarına Yönelik Endeks Tabanlı Bir İnceleme 336

467 – İstatiksel Dağılım Parametrelerinin Nokta Tahminlerinin Elde Edilmesi Sürecinde Metasezgiseller İle Çok Kriterli Karar Verme 337

470 – IMU Verileri ile Transformer Tabanlı İnsan Aktivite Tanıma 338

471 – Açıklanabilir Yapay Zekâ Destekli Dijital Ergonomi Risk Analizi: Akademik Personel Üzerine Bir Araştırma 339

472 – Araç İçi Klima Arayüz Tasarımında Hibrit Etkileşim Modeli: Sürüş Güvenliği ve Bilişsel Yük Odaklı Bir HMI Yaklaşımı..... 340

1 – A Four-Level QFD/House-of-Quality Decision Framework for Logistics Centre Location and Logistics Service Platform Design Based on Voice of Customer

Rıza Gürhan Korkut, PhD *Piri Reis University*

This paper develops a four-level QFD/ House of Quality (HOQ) decision framework for logistics centre location and logistics service platform design based on Voice of Customer. Derived from the author's doctoral dissertation, it reworks the model into an article-level design artefact. Its argument is that logistics centre planning should not be reduced to location optimisation, land availability, or an infrastructure checklist. Before any final site or investment decision, customer requirements must be elicited, translated into design requirements, and deployed into service processes, activities, operating standards, and platform modules.

The paper treats logistics centres as multi-service business ecosystems rather than simple geographical nodes. Their competitiveness depends not only on proximity to transport infrastructure, but also on reliable, visible, integrated, multimodal, and adaptable logistics services. This creates a decision problem in which facility-location reasoning remains useful but insufficient when used alone. Many ranking or optimisation models assume that criteria and weights are already available. This framework asks where those criteria and weights come from, and how they remain traceably connected to customer expectations afterwards.

The study follows a design-science and decision-support orientation. Its foundation consists of literature review, European freight-village benchmarking observations, expert discussions, structured interviews, and HOQ-based QFD iterations. Six senior executives or managers from third-party logistics, air cargo, port management, and automotive logistics were interviewed, with emphasis on desired service outcomes rather than ready-made technical prescriptions.

The operationalisation begins with 18 customer requirements as the WHATs of the first HOQ and 44 design requirements and technical constraints as the HOWs. A 9-3-1-0 relationship scale is used, and relative importance is calculated by multiplying relationship values by customer-priority weights. The HOQ roof captures correlations among technical requirements, so operational cost, intermodal capability, customs availability, shared-service cost, workforce competence, ICT infrastructure, and global logistics integration appear as mutually dependent concerns.

The distinctive contribution is the four-level deployment chain. At Level 1, customer expectations are translated into prioritised design requirements and technical constraints. At Level 2, high-priority HOWs become design-development WHATs and are converted into service processes, quality descriptions, constraints, and target indicators. At Level 3, these processes become critical activities, process steps, teams, and resource modules. At Level 4, critical process attributes become operating standards, quality targets, and platform parameters. Thus, the Voice of Customer is propagated from expectation to implementation.

In the illustrative air-cargo HOQ extraction, "Integration with Global Logistics" and "Cost of Shared Services" produced the highest composite importance scores, each with 369. They were followed by "Level of Logistical Development", "Operational Costs", and "Intermodal Operations and Management". These outputs imply a logistics service platform capable of global connectivity, cost transparency, operational maturity, intermodal execution, customs integration, and added-value service provision.

The framework also incorporates 15 benchmark-derived quality conformance levels, making candidate logistics centres comparable and translating HOQ priorities into service-platform elements. The final artefact is the Logistics Service Platform, constructed by clustering these levels into five service packets: basic characteristics; management services; growth opportunities and abilities; intermodal service capability; and material-handling capacity.

The fourth-iteration comparison shows that "Financial Model for Revenues" emerged as the first-ranked quality characteristic across air cargo, third-party logistics, automotive logistics, and seaport management respondent

contexts. Handling capacity and terminal services also appeared consistently among leading characteristics. These results confirm that logistics centre competitiveness depends on financial architecture, service governance, handling capability, terminal design, and diversification potential as well as on geographical location.

The framework has two principal use cases. In a selection context, customers, investors, operators, and public decision-makers can compare existing logistics centres against a desired service "shopping list" and evaluate how well each centre's service packets satisfy required conformance levels. In a greenfield design context, investors can elicit stakeholder requirements, develop WHATs and HOWs, execute HOQ scoring, and define the service platform before committing to irreversible infrastructure decisions. Thus, the model does not reject optimisation, GIS, mathematical programming, or multi-criteria decision-making; it prepares the decision structure on which such methods may later operate more meaningfully. Many existing ranking and optimisation models assume criteria and weights are already given; this framework addresses the prior question of where those criteria originate and how they remain traceable to customer expectations.

The main contribution is a traceable decision-support artefact that bridges operations research and industrial engineering location reasoning with customer-centric service design. It shows how stakeholder expectations can be transformed into prioritised technical/design requirements, then into service processes, activities, operating standards, and service packets. The central conclusion is that location remains fundamental but insufficient. A logistics centre becomes competitive when what customers require is aligned with what the centre is designed, governed, financed, equipped, and operationally capable of providing.

3 – Predictive Modeling of Asset Price Dynamics via Mean-Reverting OU Processes and Statistical Scenario Filtering

Çağrı Latifoğlu *Consultkitapp LTD.*

We present a robust framework for the short-term prediction of financial asset prices by integrating mean-reverting stochastic processes with empirical statistical filtering. Recognizing that short-term price dynamics often gravitate toward an equilibrium, we employ the Ornstein-Uhlenbeck (OU) process calibrated via Ordinary Least Squares (OLS). To mitigate the risk of over-simulation, where Monte Carlo methods produce mathematically valid but empirically improbable trajectories, we introduce a filtering layer based on the Kolmogorov-Smirnov (KS) two-sample test. By comparing simulated paths against recent empirical price distributions and rejecting those that diverge significantly, we refine the probability space to include only statistically plausible scenarios. This filtered ensemble is then used to quantify tail-risk through Value at Risk (VaR) and Conditional Value at Risk (CVaR), while identifying “worst-case” adverse paths for call and short positions. The resulting pipeline provides a conservative and realistic mechanism for risk management in high-frequency trading environments.

5 – Otoklav Kürleme İşlemi İçin Kompozit Parçaların Gruplandırılması ve Yerleşimi

Tuğçe EFEOĞLU Hacettepe Üniversitesi
Diclehan Tezcaner ÖZTÜRK Hacettepe Üniversitesi
Murat Caner TESTİK Hacettepe Üniversitesi

Havacılık endüstrisinde kompozit parçaların kullanımı; esneklik, hafiflik gibi birçok fiziksel özellikleri nedeniyle yaygınlaşmaktadır. Bu parçalar, yüksek basınç ve sıcaklıkta çalışan fırınlara (otoklavlara) gruplar halinde konularak kürlenir ve nihai formları elde edilir. Kürleme süreci ısıtma, kürleme ve soğutma olmak üzere üç ana aşamadan oluşmaktadır. Isıtma aşamasında tüm bileşenler kürleme sıcaklığına ulaşana kadar kademeli olarak ısıtılmaktadır. Her parçanın ısınma süresi; parçanın fiziksel özellikleri, otoklav içindeki konumu gibi nedenlerle farklılık göstermektedir. Kürleme sıcaklığına diğer parçalardan erken ulaşan parçalar bu sıcaklıkta fazla süre bekletilmekte, bu da kalite kaybına yol açmaktadır. Ayrıca, otoklavların işletme maliyetleri düşünülerek kürleme işleminin en kısa zamanda bitmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışma, TUSAŞ bünyesindeki kompozit üretim süreçlerini ele almaktadır. Yaklaşımımızda iki aşama bulunmaktadır. İlk aşamada, Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemi ile parça yerleşim yeri ve parça özelliklerine bağlı olarak parçaların ısınma süreleri tahmin edilmektedir. İkinci aşamada ise, bu ısınma süreleri gözetilerek, haftalık kürleme yapılacak ürünlerin gruplanması ve otoklava yerleşimi planlanmaktadır. Bu aşama için iki amaçlı doğrusal olmayan karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model, bileşenleri yük ağırlıklarına göre dengeli bir şekilde gruplarken aynı zamanda grupların kürleme sürelerinin toplamını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. İki çelişen amaç ve doğrusal olmayan zaman tahmin modeli nedeniyle belirli bir problem boyutu ötesinde makul hesaplama süreleri içinde optimal çözümler bulunamamaktadır. Bu nedenle, çok amaçlı bir genetik algoritma olan NSGA-II alternatif bir yaklaşım olarak kullanılmıştır. Her iki yaklaşım da gerçek hayat verileri kullanılarak test edilmiş, NSGA-II algoritmasının daha kısa sürede gerçek çözümlere yeteri ölçüde yakınsadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Otoklav, NSGA-II, Çok Amaçlı Optimizasyon, Doğrusal Olmayan Karma Tamsayılı Model, Yapay Sinir Ağı

6 – Belirsiz Arz ve Operasyonel Kapasite Altında Gıda Bankalarında Çok Dönemli Dağıtım

Irem Sengul Orgut *Loyola University Chicago*
Julie Ivy *University of Michigan*
Reha Uzsoy *North Carolina State University*
James Wilson *North Carolina State University*

Dünya genelindeki gıda bankaları, sınırlı ve belirsiz gıda bağışlarını artan gıda güvensizliği yaşayan nüfuslara adil bir şekilde dağıtma konusunda karmaşık ve acil bir zorlukla karşı karşıyadır. Yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde, Feeding America her yıl milyonlarca hanenin hayır amaçlı gıda yardımlarına güvendiğini rapor etmektedir. Buna karşılık gıda bankaları; ciddi arz belirsizliği, sınırlı depolama kapasitesi ve kronik fazla talep koşulları altında faaliyet göstermektedir. Bu operasyonların ölçeğine ve toplumsal önemine rağmen, birçok tahsis kararı hâlâ biçimsel karar destek araçları yerine deneyime dayalı sezgisel yöntemlerle yönlendirilmektedir. Bu araştırma, bölgesel gıda bankalarının karşı karşıya olduğu temel operasyonel problemi ele almaktadır: belirsiz ve zamana bağlı olarak değişen gıda bağışlarını, depolama ve gıda israfıyla ilişkili beklenen çok dönemli işletme maliyetlerini en aza indirirken ve coğrafi olarak dağılmış nüfuslar arasında adil erişimi sağlayarak, ilçeler arasında dinamik olarak nasıl tahsis etmek gerekir? Central and Eastern North Carolina Gıda Bankası ile uzun süredir devam eden iş birliğinden ilham alarak, üç temel karmaşıklığı bütünleştiren stokastik dinamik bir optimizasyon çerçevesi geliştiriyoruz: (1) yüksek derecede belirsiz ve zamana bağlı değişen bağış arzı, (2) ajans düzeyinde belirsiz dağıtım kapasiteleri ve (3) tahsiste açık adalet (hakkaniyet) kriterleri. Klasik üretim planlama ve envanter kontrol modelleriyle yapısal paralellikler kurarak, altta yatan stokastik dinamik programın teorik özelliklerini türetiyor ve bu içgörüleri kullanarak hesaplama açısından verimli ileriye dönük (look-ahead) sezgisel yöntemler tasarlıyoruz. Kapsamlı sayısal deneyler, önerilen sezgisel yaklaşımın, tam dinamik programlama çözümlerine kıyasla optimale yakın performans sağladığını ve aynı zamanda gıda bankası yöneticileri tarafından pratikte uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

8 – Kamyon Yükleme ve Tedarikçi Seçimi Problemi için Bir Ayrıştırma Modeli

Onur Ozturk *Ottawan Universitesi*
Najat Bara *Kedge Business School*
Laurent Alfandari *ESSEC Business School*
Can Akkan *Sabanci Universitesi*

Kısmi parti teslimat stratejisi, stok seviyelerini en aza indirmek ve tam zamanında teslimat gereksinimlerini karşılamak için teslimat sıklığını artırmayı amaçlamaktadır. Farklı siparişlerin, tedarikçilere bağlı olarak değişen teslim süreleri ve üretim maliyetlerinin yanı sıra farklı nakliye maliyetlerine sahip olduğu göz önüne alındığında, bu çalışma, kapasite kısıtlamalarına uyarak aynı kamyona yüklenen farkli boyuttaki ürünleri birleştirmek ve uygun tedarikçileri seçmek için matematiksel modeller sunmaktadır. Problemin çözümü icin, karma tamsayılı doğrusal programlama modelleri geliştirildikten sonra, kısa hesaplama sürelerinde yüksek kaliteli sonuçlar veren bir sütun üretme yaklaşımı geliştirdik.

9 – A Multi-Objective Model Approach for Flexible Green Warehouse Location Selection: A Geospatial Approach for the Istanbul Metropolitan Logistics Network

Zehra Hilal KARAKÖY *Altınbaş University*
Gülnihal ÇÖZEL *Gelişim University*
Fatih YİĞİT *Altınbaş University*

The global acceleration of e-commerce volume and the concentration of consumer expectations on "fast delivery" have made the design of urban logistics networks one of the most complex and strategic decision problems for the Industrial Engineering discipline. Especially in metropolises like Istanbul, which stand out with both a multi-continental, fragmented geographical structure and intense socioeconomic heterogeneity; warehouse location selection and network design decisions play a direct determining role on logistics costs, environmental sustainability targets, and operational efficiency. This study presents a highly spatially realistic and integrated decision support framework that combines two mainstreams frequently encountered in the literature—Multi-Criteria Decision Making (MCDM) based ranking methods and mathematical optimization models.

Representing a strong vein in the warehouse location selection literature, MCDM approaches using AHP, TOPSIS, ANP, SWARA, WASPAS, and their fuzzy/heuristic extensions serve as an important bridge in incorporating qualitative factors into the process by systematizing expert opinions. However, the fundamental limitation of these approaches is that the results are overly sensitive to subjective weighting, and they handle structural elements at the network design level (demand-assignment-capacity-distance constraints) with a relative ranking rather than an exact optimization solution. On the other hand, while mathematical programming-based optimization studies quantitatively solve structural network design, they struggle to integrate urban geospatial constraints at the metropolitan scale (sea areas, irregular coastal geometry, etc.) into the modeling mechanism. This study constructs the e-commerce logistics network through the case of Istanbul within a multi-objective Mixed Integer Linear Programming (MILP) framework that simultaneously minimizes cost and CO_2 emission targets.

The ε-constraint (epsilon-constraint) method was used as the algorithmic solution process, thereby presenting decision-makers with a Pareto front illustrating the trade-off between cost and environmental objectives. As a result of solving the model, two non-dominated solutions were obtained. According to the obtained Pareto solutions, the total cost of the logistics network ranges between 254,438 USD and 254,471 USD, while the total CO_2 emission resulting from operational activities is realized between 672 kg and 712.9 kg. These findings prove that an approximately 5.7% reduction in carbon emissions can be achieved by accepting a very low cost increase of only around 0.01%.

Furthermore, all efficient solutions converge to a three-warehouse network structure that minimizes the total cost. While the Çatalca and Pendik locations are jointly selected in all solutions to emphasize the strategic importance of a continental facility distribution due to Istanbul's geographical structure, the location of the third warehouse (Bağcılar or Kağıthane) varies depending on the cost or emission focus. When operational capacity planning is examined, it was determined that the allocation of a fleet of 40 units of the 3rd class vehicle type is dominant in terms of both economic and emission performance across all Pareto points.
In conclusion, the study combines the qualitative perspective offered by traditional candidate ranking methods with a precise and reproducible optimization model. This developed framework provides a unique contribution to researchers and industry practitioners who need strategic decision support tools with high operational realism in sustainable urban logistics network planning.

Keywords: Warehouse Location Selection, Multi-Objective Optimization, E-Commerce Logistics, Geospatial Analysis, Sustainability, Pareto Analysis, Synthetic Data, Flexible Warehousing.

10 – Tekstüre İp Üretimi İç Lojistik Süreçleri için AMR Sistemlerinin Devreye Alma Öncesi Analizlerinin Doğrulanması ve Süreç Yalınlaştırması: SASA Polyester DTY Tesisi Örneği

Yeter GÖREN *Tarsus Üniversitesi*
Adem ERİK *Tarsus Üniversitesi*
Akın DAŞCI *SASA Polyester A.Ş.*

İşletmelerin dijitalleşmesi dünya genelinde öncelikli hale gelen konular arasında yer almaktadır. Özellikle Endüstri 4.0 devriminden sonra gelişen robotik ve sensör teknolojisi birçok işlemi karmaşık yapılarda gerçekleştiren sistemlere olanak sağlamıştır. Bu anlamda nesnelerin interneti ve gelişmiş sensör teknolojilerine sahip taşıma araçları da uygulamada yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışmada SASA Polyester A.Ş. bünyesinde tekstüre ip üretimi yapılan DTY tesisinde devreye alınması planlanan AMR (Otonom Mobil Robot) sisteminin ön analizlerinin doğrulanması ve süreçlerin yalın üretim prensipleriyle uyumlaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada kısıtlı şekilde yapılan ön analizler genişletilerek işletme ortamında toplanan gerçek operasyonel verilerle yeniden analiz edilmiş ve sistemin saha koşullarına uygunluğu değerlendirilmiştir. Bu doğrulama süreci, üretim ve paketleme alanlarında yapılan zaman etütleri, değer akış haritalama, spagetti diyagramı, Yamazumi dengelemesi, Kaizen ve 5S uygulamalarıyla desteklenmiştir. Araştırmanın temel hedefi olan AMR devreye alınmadan önce DTY tesisinde malzeme akışının ve iş istasyonlarının yalınlaştırılması sağlanmış ve otonom taşıma sistemine hazır hale getirilmiştir. Çalışmada yalın üretim araçlarının otonom mobil robot sistemleriyle entegrasyonunun gerçek sanayi ortamında test edilmesi bilimsel olarak değerli olarak görülmektedir. Ayrıca çalışma, enerji verimliliği, iş güvenliği ve süreç optimizasyonu açısından somut kazanımlar sunmuştur. Uygulama kapsamında AMR cihazlarının görev sıklıkları ve taşıma rotaları, sahadan toplanan verilerle modellenmiş ve optimum cihaz sayısı ile görev atama algoritmaları doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: AMR sistemleri, Yalın Üretim, Değer Akış Haritalama, İç Lojistik Optimizasyonu

11 – A Data-Driven Variable Neighborhood Search for Specimen Collection and Delivery: An Istanbul Anatolian Side Case Study

İhsan Sadati *Sabanci University*
F. Sibel Salman *Koç University*
Eda Yücel *TOBB University of Economics and Technology*

We study the specimen-collection and delivery problem in clinical laboratory logistics. Specimen batches accumulate at healthcare facilities (e.g., clinics) throughout the day. Collected specimens must be transported to processing facilities for testing. Some facilities may need to be visited more than once due to varying collection volumes and to avoid delays in test results. The planning entails establishing daily vehicle routes to collect all specimens and deliver them to the processing facilities as efficiently as possible. We address this multi-depot and multi-trip vehicle routing problem using a Variable Neighborhood Search (VNS) metaheuristic. For each working day, VNS generates a routing plan by iteratively improving an initial solution through a sequence of neighborhood moves (such as relocating a visit, exchanging visits between routes, and reordering visits within routes). This approach is well-suited for complex routing problems because it can produce high-quality solutions within practical computing times. We consider a real case study from the Anatolian side of Istanbul, where specimen collection and delivery operations are carried out during the working days. We first generate a routing plan for each day using the proposed VNS algorithm. We then repeat this daily planning process over consecutive weeks. This creates an operational dataset of daily demands, visits, and high-quality routing plans. Since daily demand patterns exhibit moderate variability but maintain similar structures, we analyze the solutions obtained over this period to identify recurring patterns, such as groups of facilities that are often served together, typical route backbones, and common assignments to processing facilities. Based on these patterns, we build a data-driven weekly routing template that guides the VNS search for the upcoming week. In this way, the approach not only optimizes daily operations but also learns from recent historical data to improve consistency and overall performance over time.

12 – An Adaptive Online Learning Framework for Real-Time Hospital Readmission Prediction under Concept Drift

Fatma Pakdil *Eastern Connecticut State University*
Maling Ebrahimpour *University of Rhode Island*
Zhu (Drew) Zhang *University of Rhode Island*
Yuehwern Yih *Purdue University*
Benjavan Viravan *UMass Memorial Health*
Mahtab Kouhizadeh *University of Rhode Island*

Hospital readmissions represent a persistent source of operational disruption in the healthcare service supply chain. Increasing readmission rates signal potential breakdowns in care coordination, discharge planning, or post-discharge support, generating instability across clinical and administrative workflows. Although personalized readmission prediction is critical for improving service quality and resource planning, progress has been constrained by reliance on batch learning models. These static learning models cannot adapt to dynamic healthcare environments in readmission prediction. This study develops a real-time predictive framework built upon online learning, an adaptive paradigm in which model parameters update incrementally with each new observation. The framework continuously processes patient records and recalibrates predictions using online logistic regression and Hoeffding trees, enabling persistent learning from high-velocity healthcare data streams. The framework integrates concept drift detection and quantifies evolving feature relevance through dynamic feature evaluation using Prequential Permutation Importance (PPI). The proposed framework is empirically evaluated using the Nationwide Readmissions Database (NRD), focusing on pneumonia admissions. The resulting architecture delivers personalized, continuously updated readmission probabilities that reflect real-time changes in patient characteristics, care processes, and operational conditions.

13 – Hibrit Çalışma Sistemi Altında Uzun Dönemli Çok Amaçlı Araç Paylaşım Modeli

Banu İçmen Erdem *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Merve Mestan *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Zeynep İdil Erzurum Çiçek *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Zeliha Ergül Aydın *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Paylaşım ekonomisi, özellikle ulaşım alanında maliyetleri ve çevresel etkileri azaltmaya yönelik etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Araç paylaşımı, trafik yoğunluğunu ve karbon emisyonlarını azaltma potansiyeli nedeniyle bu yaklaşımın en yaygın uygulamalarından biridir. Bununla birlikte, pandemi sonrasında yaygınlaşan hibrit çalışma modeli, çalışanların bazı günlerde ofisten, bazı günlerde ise uzaktan çalışmasına olanak tanımış ve işe gidiş-geliş alışkanlıklarını önemli ölçüde değiştirmiştir.

Bu çalışmada, hibrit çalışma sistemine sahip bir şirkette çalışanlar için uzun dönemli çok amaçlı bir araç paylaşım modeli geliştirilmektedir. Literatürde araç paylaşım problemi günlük ve uzun dönemli olmak üzere iki grupta incelenmekte, uzun dönemli araç paylaşım problemi üzerine yapılan çalışmaların ise sınırlı olduğu görülmektedir. Ayrıca mevcut çalışmaların büyük bölümünde hibrit çalışma çizelgesinin dikkate alınmadığı görülmektedir. Bu çalışma, söz konusu eksikliğe katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Model, çalışanların haftalık hibrit çalışma çizelgesini dikkate alarak günlük araç paylaşım planlarını oluşturmaktadır. Model üç amaç fonksiyonu içermektedir. İlk amaç, haftalık planlama boyunca toplam mesafeyi en küçüklemektir. İkinci amaç ise, araçlarda yolculuk eden çalışanların sosyal uyum puanlarını ele almaktadır. Literatürde genellikle toplam uyum puanının en büyüklenmesi ele alınırken, bu çalışmada araçlar arasındaki dengesizlikleri azaltmak amacıyla tüm çalışanlar içindeki en düşük uyum skorunun en büyüklenmesi hedeflenmektedir. Üçüncü amaç ise sürücüler arasındaki araç kullanım yükünü dengelemektir.

Sosyal uyum puanlarını hesaplamak için kullanılan kriter ağırlıkları Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemi ile elde edilmektedir. AHP yerine ANP'nin tercih edilmesinin nedeni, kriterler arasındaki bağımlılıkların dikkate alınmasıdır. Örneğin, yaş ile müzik tercihi ya da eğitim seviyesi ile çalışan pozisyonu arasında bir etkileşim bulunabilmektedir. Elde edilen uyum puanları, geliştirilen karma tamsayılı programa parametre olarak aktarılmakta ve model Gurobi çözücü kullanılarak çözülmektedir. Bu sayede hem toplam ulaşım maliyetinin ve emisyonların azaltılması hem de çalışan memnuniyetinin artırılması hedeflenmektedir.

14 – Alacak Tahsilatı Varsayımlarının Yeniden Değerlendirilmesi: Geleneksel Skorkartların Ötesinde Birliktelik Kuralı Madenciliğinden Elde Edilen Bulgular

Çağrı Çakır *Özyeğin Üniversitesi / PwC Türkiye Danışmanlık*

Bankacılıkta alacak tahsilatı stratejileri, genellikle artan aksiyon sıklığı ve sertleşen iletişim tonunun, müşteri elde tutma açısından katlanılabilir bir maliyetle gecikmeyi azalttığı varsayımına dayanır. Ancak bu varsayım ampirik olarak nadiren sınanmıştır. Bu çalışma, söz konusu varsayımları geleneksel bir lojistik regresyon tahsilat skorkartı ile birlikte Association Rule Mining (ARM) kullanarak incelemektedir.

8.965 müşteriye ait 14.802 gecikme dönemini kapsayan 64.016 tahsilat işlemi kaydı kullanılarak, gecikme dönemi geçmişleri; (i) aksiyon yoğunluğu, iletişim tonu ve gecikme evresi bileşiminin uygulanan politika yapısını, (ii) müşteri etkileşimine göre ayarlanmış davranışsal rejimleri ve (iii) risklilik, kârlılık ve gecikmiş bakiye ile daha da zenginleştirilmiş rejimleri yansıtan işlemsel "sepetlere" dönüştürülmüştür.

ARM analizi, güçlü biçimde yapılandırılmış ve politika güdümlü tahsilat tırmanma patikalarını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, post-ARM sonuç değerlendirmesi, aynı rejim içinde müşteri etkileşiminin—uygulanan işlem şiddetinden ziyade—müşteri terk riskini en güçlü biçimde ayıran unsur olduğunu göstermektedir.

Sınıf bazlı analiz ayrıca, müşteri terk oranının etkileşim sürmesine rağmen tırmanma örüntüsünde yoğunlaştığını ve bu mekanizmanın müşteri karlılığına göre sistematik biçimde değiştiğini ortaya koymaktadır. Karşılaştırma amacıyla kurulan lojistik regresyon tahsilat skorkartı yalnızca orta düzeyde ayırt etme başarısı sağlamaktadır (AUC ≈ 0.63).

Bu durum, etkileşim odaklı müşteri terk mekanizmalarını yakalamada klasik, toplamsal modellerin sınırlılıklarını vurgulamaktadır. Aksiyonlar politika güdümlü olduğu ve temel değişkenler gecikme dönemi düzeyinde özetler içerdiği için, bulgular işlem tercihlerinin nedensel etkileri olarak değil, ilişkisel ve sonradan değerlendirilmiş örüntüler olarak yorumlanmaktadır.

Sonuçlar, tırmanma odaklı yaklaşımın tek başına yeterli olmadığını göstermekte ve ARM'nin tahsilat skorkartlarını nasıl tamamladığını ortaya koymaktadır. Skorkart hangi müşterilerin risk altında olduğunu sıralarken, rejim analizi bu riskin neden ortaya çıktığını ve geleneksel tahsilat mantığının hangi noktalarda müşteri elde tutmayı zayıflatabildiğini görünür kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: alacak tahsilatı, müşteri terk oranı (churn), association rule mining, müşteriyi elde tutma, tahsilat skorkartı

16 – A Network Design Model with Demand-Dependent Flow Routing

Emine Gündoğdu *Former Researcher at CIRRELT and GERAD, Indep. Researcher*

This study proposes an integrated optimization framework for public transportation network design that jointly considers node activation, arc activation, demand selection, and passenger flow routing decisions. Unlike classical network design models that assume exogenous and fully satisfied demand, the proposed formulation incorporates demand as an endogenous decision through revenue-dependent demand selection variables. This allows the system to determine which origin-destination pairs should be served based on a trade-off between operational costs and generated revenue.

The model is formulated as a large-scale mixed-integer linear programming (MILP) problem. Fixed costs are associated with node and arc activation decisions, while routing decisions determine passenger flows over the selected network. A key feature of the model is the inclusion of binary demand activation variables, which enable selective service of demand pairs depending on network feasibility and economic attractiveness.

To analyze the behavior of the proposed system, computational experiments are conducted under multiple demand scaling scenarios. The results reveal that the model exhibits distinct operational regimes depending on demand intensity. Under low demand conditions, the system operates in a selective service regime where only a subset of demand is served. As demand increases, the model transitions into a full-service regime in which all demand is satisfied.

Despite variations in demand levels, the network structure remains highly stable in terms of activated nodes, while only minor variations are observed in arc activation. Furthermore, routing patterns converge to a stable configuration as demand increases, indicating a saturation effect in the system behavior.

These findings highlight the robustness of the proposed formulation and emphasize the role of revenue-driven demand selection in shaping system performance. The results demonstrate that demand variations primarily affect demand allocation and flow magnitude, rather than network topology. This provides useful insights for designing cost-efficient and demand-adaptive transportation systems.

Future research directions include the development of exact decomposition algorithms such as Benders decomposition, as well as extensions to stochastic demand environments and dynamic multi-period network design settings.

17 – Gaziantep Merkez İlçelerinde Tıbbi Atık Toplanmasının Araç Rotalama Problemi ile Optimizasyonu

Bensu Nur Türk *Gaziantep Üniversitesi*
Ayşe KARA *Gaziantep Üniversitesi*
Saadet COŞKUN *Gaziantep Üniversitesi*
Zülal KENGER *Gaziantep Üniversitesi*

Tıbbi atıklar, sağlık kuruluşlarında oluşan ve insan sağlığı, çalışan güvenliği ile çevre açısından yüksek risk taşıyan atıklar olarak tanımlanmaktadır. Gaziantep ilinde artan nüfus ve sağlık kuruluşu sayısına bağlı olarak üretilen tıbbi atık miktarında önemli bir artış gözlemlenmektedir. Bu durum, söz konusu atıkların toplanması, taşınması ve uygun tesislerde bertaraf edilmesi süreçlerinin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, Gaziantep'in merkez ilçeleri olan Şehitkamil ve Şahinbey'de faaliyet gösteren hastanelerden toplanan tıbbi atıkların, sterilizasyon amacıyla Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Entegre Tesisi bünyesinde yer alan Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi 'ne taşınmasına yönelik bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Hastanelerin yatak kapasitelerine ilişkin veriler kullanılarak, günlük tıbbi atık miktarları tahmin edilmekte; elde edilen bu veriler doğrultusunda problem, kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çerçevesinde modellenmektedir. Önerilen model ile toplam kat edilen mesafenin, taşıma maliyetlerinin ve çevresel etkilerin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, belediyelere uygulanabilir bir rota planı sunularak karar verme süreçlerine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Elde edilen bulguların, yüksek risk içeren tıbbi atık toplama süreçlerinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik daha güvenli ve daha etkin bir toplama ve taşıma planının geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tıbbı Atık Toplanması ,GAMS kullanımı ,Araç Rotalama Problemi

19 – Atıksu Arıtma Tesisi Yer Seçim Problemi: Gaziantep İçin Uygulama

Bilal KARAKAŞ *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*
Hazal ÇEKİÇ *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*
Ezgi Gül BAYSÖZ *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*
Aliye Gizem DOĞAN *Kara Holding, Gaziantep*
Betül ŞAŞMAZTÜRK *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*

Dünya nüfusundaki sürekli artışla birlikte sanayileşmenin de yaygınlaşması ve endüstriyel amaçlı tüketimlerin sonucunda mevcut kullanılabilir su rezervlerinde hızlı bir azalma mevcuttur. Ayrıca insan faaliyetleri sonucunda kullanılamaz hale gelen suların çevreye bırakılması halihazırda azalmakta olan kullanılabilir su rezervlerinin daha da azalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle atıksuların arıtılması; su kaynaklarının korunması ve su kirliliğinin azaltılması için önemli bir husustur. Atıksu arıtımı, çevre koruma ve halk sağlığı gibi etkileri olan sürdürülebilir toplumlar ve şehirler için hayati bir konudur. Bu nedenle, atıksu arıtma tesislerinin önemi özellikle gelişmekte olan ülkeler için giderek artmaktadır. Ayrıca, Gaziantep gibi su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımı hem çevresel hem de toplumsal açıdan önemli bir hale gelmiştir. Bu çalışma, Gaziantep ili atıksu arıtma tesisi için en uygun yeri belirlemek üzere yeni bir hibrit çok kriterli karar verme yöntemi sunmaktadır. Çalışmada, Endüstri mühendisi, Çevre mühendisi ve belediye temsilcileri gibi farklı bilgi birikimlerine sahip konuyla ilgili uzman görüşleri ve detaylı literatür taraması ile bu problem için kritik faktörler belirlenecek ve bu faktörler göz önüne alınarak alternatif lokasyonlar arasından optimum olanı seçilecektir. Böylece bu tesis yer seçim süreci ekonomik, çevresel, sosyal, coğrafi boyutlar da göz önüne alınıp sistematik şekilde de değerlendirilecektir. Belirlenen bu kriterlerin ağırlıkları En iyi-En kötü Yöntem (BWM) ile hesaplanacak sonrasında, bu ağırlıklar kullanılarak İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (TOPSIS) ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VIKOR) ile Gaziantep ili için alternatif lokasyonlar sıralanacaktır. Böylece BWM-TOPSIS ve BWM-VIKOR entegrasyonu ile sistematik ve sağlam bir yöntem sunulacaktır. Ayrıca duyarlılık analizi yapılarak sonuçların güvenilirliği teste tabi tutularak modelin kararlılığı değerlendirilecektir. Bu çalışma, yalnızca Gaziantep ili için değil benzer çevresel ve sosyoekonomik özelliklere sahip diğer iller için de uygulanabilir bir karar destek aracı sunacaktır.

22 – Farklı Koridor Yapılarına Sahip Konveyör Destekli Depo Tasarımlarının Sipariş Toplama Performansına Etkisi

Mahmut TUTAM *Erzurum Teknik Üniversitesi*

Mobil teknolojilerin son yıllarda hızla yaygınlaşması ve sunduğu gelişmiş erişim, filtreleme ve karşılaştırma imkânları sayesinde bireyler, farklı ürün ve hizmetleri çok daha hızlı ve kolay bir şekilde karşılaştırabilir hale gelmiştir. Bu durum, online alışverişe olan yönelimi önemli ölçüde artırmış ve e-ticaretin perakende sektörü içerisindeki payının dikkate değer biçimde artmasına sebep olmuştur. Öte yandan, toplumsal alışveriş tercihlerindeki değişimle birlikte bireyselleştirilmiş ürün taleplerinin artması, sipariş hacimlerinin küçülmesine karşın sipariş sayısında ciddi bir artışa yol açmıştır. Bu gelişmeler, depolarda bulunan binlerce farklı üründen her gün verilen çok sayıda siparişin hızlı ve verimli bir biçimde toplanmasını ve müşteri memnuniyeti açısından mümkün olan en kısa sürede müşterilere ulaştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Sipariş toplama problemi literatürde geniş bir şekilde ele alınmakta ve bu alanda çok sayıda farklı tasarım ve yöntem önerilmektedir. Ancak, depo tasarımları ve sipariş toplama politikaları coğrafi ve sektörel faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, söz konusu tasarım ve politikaların dikkatli ve sistematik bir biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir depo için önerilen konveyör destekli iki farklı tasarım incelenmektedir. İlk tasarımda, toplanan siparişlerin bırakıldığı konveyör sistemine dikey koridor yapısı ile erişim sağlanmakta ve yalnızca bir adet çapraz koridor bulunmaktadır. İkinci tasarımda ise yatay koridor yapısı tercih edilmekte ve birden fazla çapraz koridor yer almaktadır. Ayrıca, geleneksel sipariş toplama problemlerinden farklı olarak önerilen tasarımlarda koridor ve raf genişlikleri sabit değildir. Bu doğrultuda, farklı sipariş toplama politikaları çerçevesinde önerilen tasarımlar değerlendirilmiş ve sipariş toplama süresini minimize etmeye yönelik politika önerilerinde bulunulmuştur.

24 – Best-Worst ve CoCoSo Yöntemleri ile Endüstri 5.0 Çerçevesinde Ülkelerin Beşerî Sermaye ve Teknolojik Hazırbulunuşluk Performanslarının İncelenmesi

Ceren Coşar *Bahçeşehir Üniversitesi*
Dr. Öğr.Üyesi Tuğba Kıral Özkan *Bahçeşehir Üniversitesi*

Henüz gelişim sürecini sürdüren Endüstri 5.0 kavramı, Endüstri 4.0'dan farklı olarak, bu dönemde öne çıkan işsizlik kaygıları, sürdürülebilirlik gereksinimi ve teknolojik dayanıklılık ihtiyacına yanıt verme amacıyla ortaya çıkmıştır. Bu dönüşümün temel amacı, insan-makine dengesini korurken yeşil üretim odaklı bir anlayış çerçevesinde verimliliği sağlamaktır. Söz konusu hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için, ülkelerin teknolojiyi etkin biçimde yönetebilecek beşerî sermaye yetkinliklerine ve güçlü inovasyon kapasitelerine sahip olması stratejik bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada seçilen; Almanya, Japonya, Güney Kore, ABD, Türkiye, Hollanda, Fransa, İngiltere, İsveç ve Norveç'ten oluşan 10 ülkenin Endüstri 5.0 dönüşümüne yönelik hazırbulunuşluk performansı hibrit bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (ÇKKV) ile analiz edilmiştir. Araştırmanın kapsamında 7 temel kriter (İnovasyon, Dijital Kapasite, Eğitim, İnsan Kaynağı, Üretim, Ekonomi, Sürdürülebilirlik) belirlenmiştir. Çalışmanın metodolojik çerçevesinde; kriter ağırlıkların belirlenmesinde BWM (Best-Worst Method) kullanılmıştır. Elde edilen ağırlıklar ile ülkelerin performans sıralamaları ise farklı toplama stratejilerini entegre ederek uzlaşık bir çözüm sunan CoCoSo (Combined Compromise Solution) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, Endüstri 5.0 kavramının temel bileşeni olan "insan-makine" iş birliği çerçevesinde ülkelerin rekabet avantajları gözlenmiştir. Türkiye'nin bu gruptaki konumu, beşerî sermaye odaklı teknoloji performansı diğer ülkeler ile karşılaştırılıp analiz edilerek, politika yapıcılara teknolojik yatırım ve eğitim reformları özelinde stratejik bir yol haritası sunması hedeflenmiştir. BWM yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıklarında; Endüstri 5.0'ın insan odağını yansıtan İnsan Kaynağı (%29,82), Eğitim (%16,97) ve İnovasyon (%16,97) en öncelikli kriterler olurken, salt finansal büyüklüğü temsil eden Ekonomi (%5,14) en düşük ağırlığa sahip kriter olarak tespit edilmiştir. CoCoSo yöntemiyle elde edilen nihai hazırbulunuşluk sıralamasında Güney Kore ilk sırada yer alırken, onu sırasıyla İsveç ve Japonya takip etmiştir. İncelenen 10 ülke arasında 10. sırada yer alan Türkiye'nin bu gruptaki konumu, beşerî sermaye odaklı teknoloji performansı açısından değerlendirildiğinde; özellikle İnovasyon, Eğitim ve İnsan Kaynağı bileşenlerinde stratejik bir gelişim ihtiyacı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bu uzlaşık sıralama, politika yapıcılara teknolojik yatırım öncelikleri ve eğitim reformları özelinde nesnel ve stratejik bir yol haritası sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 5.0, Beşerî Sermaye, BWM, CoCoSo, ÇKKV, Teknolojik Hazırbulunuşluk

25 – Alt Yüklenici Üretiminde Teslimat Gecikmesi Tahmini: Doğrulama Stratejisinin Model Performansına Etkisi

Zeynep Akkaya *Hacettepe Üniversitesi*
Diyar Akay *Hacettepe Üniversitesi*
Çağrı Koç *Hacettepe Üniversitesi*

Savunma elektroniği ve havacılık sektöründe alt yüklenicilerden kaynaklanan teslimat gecikmeleri, üretim planlarını doğrudan etkileyen önemli sorunlardan biridir. Elektronik kartlar, kablo demetleri ve kontrol modülleri gibi kritik bileşenlerin zamanında teslim edilememesi montaj planlarının bozulmasına, test süreçlerinin aksamasına ve üretim önceliklerinin sürekli yeniden düzenlenmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, alt yüklenici siparişlerindeki teslimat gecikmesi, geç/zamanında sınıflandırması yerine sürekli bir değişken olarak ele alınmış ve gecikme süresini tahmin etmeye yönelik makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Savunma sanayindeki gizlilik kısıtları nedeniyle gerçek üretim verileri kullanılamadığından, gecikmeyi etkileyen temel mekanizmaları temsil eden sentetik bir veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde ürün karmaşıklığı, malzeme kritiklik seviyesi, iş yükü, aciliyet, test gereksinimi ve atölye performansı gibi değişkenlere yer verilmiştir. Ridge Regression, Decision Tree, SVR ve Gradient Boosting modelleri değerlendirilmiş; klasik KFold ile alt yüklenici bazlı ayrım yapan GroupKFold doğrulama yaklaşımları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, klasik KFold doğrulamasında daha yüksek performans elde edilmesine rağmen GroupKFold kullanıldığında hem tahmin başarısının düştüğünü hem de model sıralamasının değiştiğini göstermektedir. KFold senaryosunda en başarılı model doğrusal olmayan Gradient Boosting olurken, yeni tedarikçilere genellemeyi temsil eden GroupKFold senaryosunda daha basit ve kararlı bir model olan Ridge Regression öne çıkmıştır. SHAP analizleri, bu değişimin temel nedeninin modelin tedarikçiye özgü örüntülerden daha az yararlanabilmesi olduğunu göstermektedir. Bulgular, alt yüklenici bazlı veri ayrımının daha gerçekçi ancak daha zor bir tahmin problemi oluşturduğunu ve uygun model seçiminin kullanım senaryosuna bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Sentetik veri kullanılması nedeniyle sonuçlar yöntemsel bir değerlendirme niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte çalışma, veri gizliliğinin söz konusu olduğu ortamlarda uygulanabilecek grup farkında ve gerçekçi bir doğrulama yaklaşımı sunmaktadır.

26 – Sakarya'daki Eğitim Kurumlarının Depreme Dayanıklılık Analizinde Denetimsiz Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırılması

Zeynep GÜNDÜZ *Sakarya Üniversitesi*
Ahmet Emir AKDOĞAN *Sakarya Üniversitesi*
Dilara SERT *Sakarya Üniversitesi*
Serap ERCAN CÖMERT *Sakarya Üniversitesi*

Türkiye'nin aktif fay hatları üzerindeki konumu, mevcut yapıların deprem riski açısından hızlı ve sistematik biçimde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında bu gereklilik daha görünür hale gelmiş; özellikle yüksek kullanıcı yoğunluğuna sahip eğitim yapılarının afet risk yönetimi kapsamında öncelikli olarak ele alınması önem kazanmıştır. Beklenen Marmara Depremi açısından riskli bölgelerden biri olan Sakarya'da, okul binalarının yapısal ve konumsal özelliklerine göre veri temelli biçimde sınıflandırılması karar vericiler için önemli bir ihtiyaçtır. Bu çalışmada, Sakarya ilinin Adapazarı, Serdivan ve Erenler ilçelerinde bulunan 324 okul binasının deprem riski açısından ön değerlendirilmesi ve benzer özellik gösteren yapıların denetimsiz makine öğrenmesi yöntemleriyle gruplandırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada kullanılan veri seti, ilgili kurumlarla yapılan görüşmeler ve literatür incelemesi doğrultusunda belirlenen yedi öznitelikten oluşturulmuştur. Bu öznitelikler; yapı türü, afetten zarar görme durumu, yapım yılı, kat sayısı, faya olan uzaklık, bina alanı ve yapısal düzensizlik durumudur. Veri ön işleme aşamasında eksik değerler medyan ile tamamlanmış, kategorik değişkenler One-Hot Encoding yöntemiyle sayısallaştırılmış ve sayısal değişkenler Robust Scaler ile ölçeklendirilmiştir. Modelleme sürecinde K-Means, Hiyerarşik Kümeleme, Gaussian Mixture Model (GMM) ve Self-Organizing Maps (SOM) algoritmaları uygulanmıştır. Algoritmaların performansları Silhouette katsayısı, Davies–Bouldin indeksi ve Calinski–Harabasz indeksi ile değerlendirilmiş; bu ölçütlerin göreli önemleri SWARA yöntemiyle belirlenerek çok kriterli bir model karşılaştırması yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre K-Means algoritması, incelenen veri seti için en uygun kümeleme yapısını üretmiştir. K-Means modeli Calinski–Harabasz indeksinde 198,267 değerine ulaşmış ve SWARA ile ağırlıklandırılmış değerlendirmede 1,688 skoru ile en başarılı model olarak belirlenmiştir. Bu model sonucunda okul binaları üç kümeye ayrılmıştır. Birinci küme 21 binadan oluşmakta ve görece daha yeni, büyük ölçekli yapıları temsil etmektedir. İkinci küme 265 bina ile veri setinin büyük bölümünü kapsamakta ve orta düzey yapısal özellikler göstermektedir. Üçüncü küme ise 38 binadan oluşmakta; daha eski, yığma yapı oranı yüksek ve afet geçmişi bulunan binaları içermektedir.

Bu bulgular, denetimsiz öğrenme temelli kümeleme yaklaşımlarının eğitim yapılarının sahip olduğu yapısal ve konumsal özelliklere göre anlamlı gruplar oluşturabildiğini göstermektedir. Özellikle eski yapım yılına sahip, yığma yapı oranı yüksek ve afet geçmişi bulunan binaların ayrı bir kümede toplanması, önerilen yaklaşımın risk önceliklendirmesi açısından karar vericilere destek sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, yalnızca model performanslarının karşılaştırılmasına değil, aynı zamanda elde edilen küme yapılarının afet risk yönetimi bağlamında yorumlanmasına da odaklanmaktadır.

Sonuç olarak, denetimsiz makine öğrenmesi algoritmalarının eğitim yapılarının deprem riski açısından ön değerlendirilmesinde kullanılabilir olduğu görülmektedir. Önerilen yaklaşım, çok sayıda okul binasının kısa sürede karşılaştırılmasına ve ayrıntılı mühendislik incelemesi, güçlendirme ya da yeniden yapım gibi müdahalelerin önceliklendirilmesine katkı sağlayabilecek bir karar destek çerçevesi sunmaktadır. Bu kapsamda çalışma, deprem riski yüksek bölgelerde kamu kaynaklarının daha etkin kullanılmasına ve eğitim yapılarının afetlere hazırlık süreçlerinin veri temelli olarak yönetilmesine katkı sağlamaktadır.

27 – Kapalı Tehlikeli Kimyasal Depolarda Risk-Kapasite Dengesi için Genetik Algoritma Tabanlı Yerleşim Modeli

Fatma Banu BEKMAN İstanbul Topkapı Üniversitesi
Selçuk ALP Yıldız Teknik Üniversitesi

Tehlikeli kimyasalların kapalı depo ortamlarında güvenli ve verimli biçimde depolanması, işletmeler açısından kritik bir karar problemidir. Depo kapasitesinin artırılması ile güvenlik risklerinin azaltılması arasında çoğu zaman çelişkili bir ilişki bulunmaktadır. Bu çalışmada, kapalı tehlikeli kimyasal depolarda risk-kapasite dengesini sağlamak amacıyla genetik algoritma tabanlı bir yerleşim optimizasyon modeli önerilmiştir.

Önerilen modelde depo alanı hücre tabanlı olarak ele alınmış ve her hücre potansiyel yerleşim noktası olarak tanımlanmıştır. Kimyasallar; tehlike grupları, uyumsuzluk ilişkileri, minimum ayırma mesafeleri, havalandırma gereksinimleri ve erişilebilirlik kısıtları dikkate alınarak depoya atanmıştır. Minimum ayırma mesafeleri ve uyumsuzluk kısıtları, NFPA tabanlı güvenlik prensipleri doğrultusunda modellenmiştir. Modelin temel amacı, kabul edilebilir toplam risk seviyesi altında maksimum palet kapasitesini belirlemektir.

Çözüm yöntemi olarak genetik algoritma kullanılmış; algoritma belirli popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon parametreleri altında maksimum nesil sayısı ile iyileşme durma kriterine göre çalıştırılmıştır. Farklı risk eşiği senaryoları altında deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Örnek uygulamada 40 × 60 m boyutlarında bir depo alanı 2 × 2 m hücrelere ayrılmış ve toplam 600 potansiyel yerleşim noktası oluşturulmuştur. Sekiz farklı tehlike grubuna ait toplam 24 kimyasal ürün model kapsamında değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, risk eşiği arttıkça depo kapasitesinin genel olarak yükseldiğini, ancak bu ilişkinin doğrusal olmadığını göstermektedir. Risk eşiğinin 300'den 750'ye yükseltilmesiyle maksimum kapasite 197 paletten 249 palete çıkmıştır. Düşük risk seviyelerinde kapasite artışı sınırlı kalırken, orta seviyelerde daha belirgin kazanımlar elde edilmiş, yüksek risk seviyelerinde ise sistemin doygunluk davranışı sergilediği gözlenmiştir.

Sonuç olarak geliştirilen modelin, tehlikeli kimyasal depolarda güvenlik ile kapasite arasında denge kurmak isteyen işletmeler için etkili bir karar destek aracı olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tehlikeli madde depolama, genetik algoritma, depo yerleşim problemi, risk optimizasyonu, karar destek sistemi

28 – Hastane Randevu Sistemlerinde Hasta Gelmeme (No-Show) Davranışının Tahmini için Makine Öğrenmesi Tabanlı Karşılaştırmalı Bir Analiz

Ahmet Anıl Kaya *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Yasin Göçgün *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Hasta randevularına gelmeme (“no-show”) problemi, modern sağlık sistemlerinde hem operasyonel verimliliği düşüren hem de önemli ekonomik kayıplara yol açan kritik bir sorundur. Gerçekleşmeyen randevular, sağlık hizmet sunumunda kapasite kaybına neden olurken, aynı zamanda bekleme sürelerini artırmakta ve hasta memnuniyetini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, no-show davranışının önceden tahmin edilmesi, sağlık hizmetlerinde veri odaklı karar destek sistemlerinin geliştirilmesi açısından stratejik bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada, hastane randevu sistemlerinde no-show davranışının tahmin edilmesine yönelik kapsamlı bir makine öğrenmesi çerçevesi önerilmektedir. Çalışma, Türkiye’de bir sağlık kuruluşundan elde edilen ve 2021–2025 yıllarını kapsayan geniş ölçekli gerçek randevu verilerine dayanmaktadır. Kullanılan veri seti, hasta demografik bilgileri, randevu zamanlaması ve randevuya katılım durumunu içeren çeşitli değişkenleri kapsamaktadır. Çalışmanın temel katkısı, yalnızca model performansını artırmak değil, aynı zamanda sağlık hizmetlerinde uygulanabilir ve yorumlanabilir bir tahmin sistemi geliştirmektir. Bu doğrultuda, özellikle no-show vakalarının doğru yakalanmasına odaklanılarak, sağlık kurumlarının kapasite planlama süreçlerine doğrudan katkı sağlayabilecek sonuçlar hedeflenmektedir. Elde edilmesi beklenen bulguların, randevu yönetiminde proaktif müdahale stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanıması ve Türkiye sağlık sistemi bağlamında veri temelli karar verme süreçlerine katkı sunması öngörülmektedir.

30 – Modelden Ürüne: Üniversite Arasınav Çizelgeleme İçin Excel Tabanlı Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirme Süreci

Hakan Gultekin *Sultan Qaboos University*
Sayyad Zahid Qamar *Sultan Qaboos University*
Hassan Al-Lawati *Sultan Qaboos University*

Bu çalışma, üniversite arasınav çizelgeleme problemine yönelik geliştirilen bir karar destek sisteminin, matematiksel modelden son kullanıcıya yönelik bir yazılıma dönüşüm sürecini ele almaktadır. Problem kapsamında, sınavların uygun zaman dilimlerine atanmasına yönelik bir matematiksel model geliştirilmiş ve IBM ILOG CPLEX OPL ortamında çözülmüştür. Büyük ölçekli ve esnek çözüm gereksinimlerini karşılamak amacıyla ayrıca, Microsoft Excel VBA tabanlı, çizge boyama temelli bir inşa algoritması ve ALNS (Adaptive Large Neighborhood Search) tabanlı bir iyileştirme yaklaşımı içeren bir metasezgisel algoritma tasarlanmıştır.

Ele alınan problem, gerçek hayat uygulamalarını yansıtacak şekilde çeşitli operasyonel ve akademik kısıtları içermektedir. Tek şubeli derslerin sınavlarının ders saatlerinde yapılması zorunluluğu bulunurken, çok şubeli derslerin sınavları akşam saatlerine, perşembe günü öğleden sonraki zaman dilimlerine veya cumartesi günü iki saatlik zaman aralıklarına atanabilmektedir. Ayrıca, aynı öğretim üyesine ait sınavların mümkün olduğunca farklı günlere dağıtılması ve ortak öğrencisi bulunan derslerin, önem derecelerine bağlı olarak ardışık saatlere, aynı güne veya ardışık günlere atanmasının engellenmesi gibi yumuşak kısıtlar da model kapsamında ele alınmaktadır.

Sunumda, bu optimizasyon araçlarının son kullanıcı tarafından etkin şekilde kullanılabilecek bir Excel tabanlı karar destek sistemine dönüştürülme süreci ele alınacaktır. Bu kapsamda, Sultan Qaboos Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Bahar 2024 döneminden itibaren yürütülen uygulama deneyimi paylaşılacaktır. Başlangıçta sınırlı sayıda kısıt ve gereksinimle geliştirilen sistemin, kullanıcı geri bildirimleri doğrultusunda nasıl genişletildiği, yeni kuralların nasıl entegre edildiği ve sistemin zamanla daha esnek ve kullanıcı dostu bir yapıya nasıl dönüştüğü tartışılacaktır.

Sezgisel algoritmanın inşa aşamasında, en fazla sayıda dersle bağlantılı olan ders seçilerek çizelgede en uygun zaman dilimine atanmakta, ardından kalan dersler arasından hem atanan derslerle en fazla çakışma potansiyeline sahip hem de yüksek öğrenci sayısına sahip dersler seçilerek aynı işlem tekrarlanmaktadır. Bu süreç, tüm dersler atanana kadar devam etmektedir. İyileştirme aşamasında ise ALNS yaklaşımı kapsamında tanımlanan "destroy" ve "repair" operatörleri kullanılarak yeni çözümler üretilmekte, bu çözümler Tavlama Benzetimi tabanlı kabul kriteri ile değerlendirilerek çözüm uzayında etkin bir arama gerçekleştirilmektedir. Sezgisel algoritmanın performansı, geçmiş beş döneme ait gerçek veri setleri üzerinde matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmış ve makul sürelerde yüksek kaliteli çözümler üretebildiği gösterilmiştir.

Sunumda ayrıca, geliştirme sürecinde karşılaşılan başlıca zorluklar üzerinde durulacaktır. Bunlar arasında, optimizasyon sonrası manuel çizelge değişikliklerinin fizibilitesinin ve performans göstergeleri üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi, veri formatı ve kalitesindeki değişkenliklerin yönetilmesi, hafta sonlarının sınav programından çıkarılması, Ramazan dönemi nedeniyle sınav saatlerinin yeniden düzenlenmesi ve beklenmeyen resmî tatillerin sisteme entegrasyonu yer almaktadır. Bunun yanı sıra, müfredatı düzenli takip eden öğrencilere öncelik verilmesi gibi sonradan eklenen kuralların sisteme entegrasyon süreci de ele alınacaktır.

Bu çalışma, yöneylem araştırması yöntemlerinin yalnızca model geliştirme aşamasıyla sınırlı kalmaması gerektiğini, kullanıcı dostu arayüzler ve esnek analiz yetenekleri ile desteklenmesinin kritik önem taşıdığını vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, akademik modellerin gerçek hayat uygulamalarına dönüştürülmesinde karşılaşılan zorluklar tartışılmakta ve benzer karar destek sistemi geliştirme süreçleri için pratik çıkarımlar sunulmaktadır.

31 – Market Kasa Kuyruklarının Modellenmesi ve Optimizasyonu: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü Üzerine Bir Uygulama

İlayda Köylü *Sakarya Üniversitesi*
Berk Çelik *Sakarya Üniversitesi*
Serap Ercan Cömert *Sakarya Üniversitesi*

Günümüzde hizmet sektöründe artan rekabet koşulları, işletmeleri yalnızca maliyet odaklı değil aynı zamanda müşteri deneyimini merkeze alan stratejiler geliştirmeye zorlamaktadır. Bu doğrultuda müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen en önemli unsurlardan biri bekleme süreleridir. Özellikle süpermarketler gibi müşteri giriş-çıkışlarının yoğun olduğu sistemlerde kasa önlerinde oluşan kuyruklar, hizmet kalitesinin algılanmasını olumsuz etkilemekte ve müşteri kaybı riskini artırmaktadır. Uzun bekleme süreleri, müşterilerin alışveriş deneyimini doğrudan etkileyerek tekrar tercih edilme olasılığını azaltmaktadır. Bu nedenle bekleme sürelerinin minimize edilmesi ve hizmet kapasitesinin talep yapısına uygun şekilde dengelenmesi, işletmeler açısından kritik bir performans göstergesi hâline gelmiştir.

Bu tür problemlerin analizinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri kuyruk teorisidir. Kuyruk teorisi, müşteri geliş süreçleri ile hizmet sürelerini olasılıksal dağılımlar çerçevesinde ele alarak sistem performansını analitik olarak inceleme imkânı sunmaktadır. Ancak gerçek hayattaki hizmet sistemleri çoğu zaman dinamik, zamanla değişen ve rastlantısal unsurlar içeren karmaşık yapılara sahiptir. Bu durum, klasik analitik modellerin bazı varsayımlar nedeniyle gerçek sistemi tam anlamıyla temsil edememesine yol açabilmektedir. Bu noktada ayrık olay simülasyonu, sistem davranışını zaman boyutunda daha gerçekçi bir şekilde modelleyebilme ve farklı senaryoları test edebilme imkânı sunan güçlü bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde faaliyet gösteren bir marketin kasa sistemi ele alınmış ve müşteri bekleme sürelerinin azaltılmasına yönelik analitik ve simülasyon tabanlı bütünleşik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında saha gözlemleri gerçekleştirilmiş, belirli zaman aralıklarında müşterilerin sisteme giriş zamanları ile hizmet başlangıç ve bitiş anları kaydedilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda müşteri gelişler arası süreler ve hizmet süreleri hesaplanmış, sistemin temel parametreleri ortalama müşteri geliş hızı (λ) ve ortalama hizmet hızı (μ) belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda $\lambda = 0{,}042$ kişi/saniye ve $\mu = 0{,}043$ kişi/saniye değerleri elde edilmiştir.

Belirlenen bu parametreler kullanılarak mevcut sistem, tek sunuculu ve sınırlı kapasiteli bir kuyruk modeli olan M/M/1/L modeli çerçevesinde analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, özellikle yoğun saat dilimlerinde sistem yoğunluğunun arttığını ve buna bağlı olarak bekleme sürelerinin müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyecek seviyelere ulaştığını göstermiştir. Bu durum, mevcut sistemin kapasite ve hizmet yapısı açısından iyileştirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca sistemdeki dalgalanmaların, hizmet performansı üzerinde önemli etkiler yarattığı gözlemlenmiştir.

Bu kapsamda mevcut sisteme alternatif olarak iki farklı hizmet senaryosu geliştirilmiştir. İlk senaryoda, az sayıda ürünle alışveriş yapan müşterilere hızlı hizmet sunmayı amaçlayan hızlı kasa sistemi önerilmiştir. İkinci senaryoda ise hizmet kapasitesi, geleneksel kasiyerli bir kasa eklenerek artırılmıştır. Bunun yanı sıra müşteri davranışlarını daha gerçekçi şekilde modellemek amacıyla balking (kuyruğa katılmama) olasılığı da modele dahil edilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde sistem performansı yalnızca teknik açıdan değil, aynı zamanda davranışsal boyutlarıyla da değerlendirilmiştir.

Model çözümleme süreci Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sistemin denge durumuna ait performans ölçütleri detaylı şekilde hesaplanmıştır. Bu ölçütler arasında ortalama bekleme süresi, kuyruk uzunluğu, sistemde bulunan müşteri sayısı ve etkin müşteri geliş hızı yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, her iki alternatif senaryonun da mevcut sisteme kıyasla önemli iyileştirmeler sağladığını göstermektedir. Özellikle ek kasiyerli sistemin bekleme süresi ve kuyruk performansı açısından en başarılı sonuçları verdiği belirlenirken, hızlı

kasa uygulamasının da düşük işlem süreli müşterileri sistemden ayrıştırarak mevcut sisteme göre performansın iyileştirilmesine katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca balking davranışının azaldığı da gözlemlenmiştir.

Analitik model sonuçlarının doğrulanması amacıyla ayrık olay simülasyonu yöntemi de çalışmaya entegre edilmiştir. Bu kapsamda ProModel yazılımı kullanılarak mevcut sistem ve önerilen senaryolar için simülasyon modelleri oluşturulmuş ve farklı müşteri yoğunluğu seviyelerinde sistem performansı analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları analitik model ile büyük ölçüde uyum göstermiş, ayrıca sistemin zaman içerisindeki davranışına ilişkin daha detaylı bilgiler sunmuştur. Bunun yanı sıra yapılan analizler, kapasite planlaması ve kaynak tahsisi açısından önemli çıkarımlar yapılmasına olanak sağlamıştır.

Sonuç olarak bu çalışma, kuyruk teorisi ve ayrık olay simülasyonu yöntemlerini birlikte kullanarak gerçek bir hizmet sisteminin kapsamlı analizini sunmaktadır. Hızlı kasa uygulamasının modele entegre edilmesi ve müşteri davranışlarının dikkate alınması, çalışmanın literatüre sağladığı önemli katkılar arasında yer almaktadır. Elde edilen bulgular, yalnızca incelenen kampüs marketi için değil, benzer hizmet yapısına sahip perakende işletmeleri için de yol gösterici niteliktedir. Bu yönüyle çalışma, hizmet sistemi tasarımı, kapasite planlaması ve müşteri memnuniyetinin artırılması konularında hem teorik hem de uygulamalı katkılar sunmaktadır.

32 – Belirsiz Gelecek Dönem Talebi Altında Önceden Tanımlı Yükleme Konfigürasyonlarıyla Araç Taşımacılığı Lojistiği Optimizasyonu

Mustafa Erdi Canan *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Onur Demiray *EPFL*
Doç. Dr. Eda Yücel *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*

Bu çalışma, belirsiz talep altında tamamlanmış otomotiv lojistiği operasyonlarının dinamik ve bütünleşik biçimde optimize edilmesini amaçlamaktadır. Ele alınan problem; yükleme konfigürasyonu seçimi, araçların taşıyıcılara atanması ve çok duraklı rotalama kararlarının, gerçek hayat operasyonel kısıtları altında eş zamanlı olarak belirlenmesini içermektedir. Uygulamada araç taşıyıcılar yalnızca önceden tanımlanmış ve uygulanabilirliği doğrulanmış yükleme konfigürasyonlarına göre yüklenebilmekte, kısmi yüklemeler ise operasyonel verimsizlikler nedeniyle genellikle tercih edilmemektedir. Bu durum, yükleme, atama ve sevkiyat kararları arasında güçlü bir bağımlılık yaratarak problemin kombinatoryal karmaşıklığını önemli ölçüde artırmaktadır.

Çok dönemli planlama ufkunda siparişler zaman içerisinde stokastik olarak sisteme dahil olmakta; her bir sipariş destinasyon, araç tipi ve zamanlama açısından belirsizlik içermektedir. Siparişlerin belirli ölçüde ertelenebilmesi mümkün olmakla birlikte, bu esneklik gecikme ve erken teslim maliyetlerine neden olmaktadır. Dolayısıyla, mevcut dönemde verilen kararların yalnızca anlık maliyetleri değil, aynı zamanda gelecekte ortaya çıkması beklenen talep yapısı üzerindeki etkileri de dikkate alınmalıdır. Bu özellikler, problemi yüksek boyutlu durum uzayına sahip stokastik dinamik bir yapıya dönüştürmekte ve çözüm sürecini hesaplama açısından önemli ölçüde zorlaştırmaktadır.

Bu çalışma kapsamında problem, toplam taşıma, gecikme ve erken teslim maliyetlerini minimize eden bir Markov Karar Süreci (Markov Decision Process – MDP) çerçevesinde modellenmiştir. Ancak MDP tabanlı modelin doğrudan çözümü, durum ve eylem uzaylarının büyüklüğü nedeniyle hesaplama açısından uygulanabilir değildir. Bu nedenle, öncelikle tüm talebin planlama başlangıcında bilindiği varsayımı altında, Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama (Mixed Integer Linear Programming – MILP) tabanlı deterministik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Söz konusu deterministik model, problemin yapısal özelliklerinin analiz edilmesine olanak sağlamış ve stokastik model için alt sınır niteliğinde bir referans çözüm üretmiştir. Ayrıca, bu model MDP tabanlı yaklaşımın yaklaşık çözümünde kullanılacak değer fonksiyonu kestirimleri için bir temel teşkil etmiştir.

Stokastik yapının neden olduğu hesaplama güçlüklerini aşmak amacıyla, problemin yapısal özelliklerinden yararlanan Yaklaşık Dinamik Programlama (Approximate Dynamic Programming – ADP) temelli bir çözüm algoritması önerilmiştir. Geliştirilen yöntem, yükleme konfigürasyonlarının sınırlı yapısını ve talep belirsizliğinin istatistiksel özelliklerini dikkate alarak durum uzayını etkin biçimde temsil etmekte ve karar sürecini yönetilebilir alt problemlere ayırmaktadır. Bu çerçevede, değer fonksiyonu yaklaşımları kullanılarak gelecekte beklenen maliyetler tahmin edilmekte ve her dönemde verilen sevkiyat kararları bu tahminler doğrultusunda optimize edilmektedir.

Önerilen yaklaşım, mevcut sevkiyat kararları ile gelecekte ortaya çıkabilecek talep arasında denge kurarak, uygulanabilir ve maliyet etkin taşıma planlarının elde edilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen model ve çözüm yöntemi, otomotiv lojistiğinde karşılaşılan belirsizlik ve operasyonel kısıtları birlikte ele alan bütünleşik bir karar destek çerçevesi sunmakta hem teorik hem de uygulamaya yönelik önemli katkılar sağlamaktadır.

33 – Sıvılaştırılmış Petrol Gazı ile Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesiyle Karşılaştırmalı Çevresel Analizi ve Dağıtım Lojistiğinin Araç Rotalama Problemiyle Optimizasyonu

İrem Nur Günel *İstanbul Gelişim Üniversitesi*
Binnur Akıf *İstanbul Gelişim Üniversitesi*

Enerji sektöründe fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara yönelik geçiş hız kazanırken, alternatif sistemlerin çevresel performansının üretim aşamasından kullanım ömrünün sonuna kadar bütüncül biçimde değerlendirilmesi giderek önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, geleneksel bir fosil yakıt olan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ile temiz bir alternatif olarak öne çıkan fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemlerinin çevresel etkileri, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) yaklaşımıyla karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Bununla birlikte, LPG tedarik zincirinde çoğu zaman göz ardı edilen gizli bir karbon sıcak noktası olan dağıtım lojistiği incelenerek, endüstri mühendisliği optimizasyon tekniklerinin çevresel sürdürülebilirlik analizleriyle bütünleştirilmesi hedeflenmiştir.

LCA analizleri ISO 14040 ve ISO 14044 standartları doğrultusunda yürütülmüş, çevresel etki kategorileri ReCiPe 2016 metodolojisiyle hesaplanmıştır. Envanter verileri Ecoinvent 3.9, IPCC 2006 ve NREL kaynaklarından derlenmiş; PV sistemleri için Karbon Geri Ödeme Süresi (CPBT) ve Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) göstergeleri, Türkiye'nin güncel şebeke emisyon faktörü (0,398 kg CO_2/kWh) esas alınarak değerlendirilmiştir. Lojistik kaynaklı Kapsam 3 emisyonlarını azaltmak amacıyla, bir LPG dağıtım firmasının on altı terminaline ait gerçek operasyonel veri kullanılarak Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (CVRP) modellenmiş ve Google OR-Tools çözücüsüyle her sefer Gezgin Satıcı Problemi mantığında optimize edilmiştir; noktalar arası mesafeler Haversine formülüyle hesaplanmıştır.

Elde edilen bulgular, PV sistemlerinin monokristal panel üretimindeki yüksek enerji yoğunluğuna karşın 2,16 yıllık kısa bir CPBT ile yaşam döngüsü genelinde LPG'ye kıyasla temel senaryoda yaklaşık %85, döngüsel ekonomi senaryosunda ise %88,8 daha düşük GWP sunduğunu ortaya koymaktadır. Araç rotalama optimizasyonu ise LPG dağıtımından kaynaklanan Kapsam 3 emisyonlarında %5,56 oranında, yıllık 51.640 kg CO_2-eşdeğeri tasarruf sağlamıştır. Bulgular, çevresel etki değerlendirmesi ile yöneylem araştırması temelli rota optimizasyonunun bütünleşik kullanımının, enerji sektöründe karbon ayak izinin azaltılmasında stratejik bir kaldıraç işlevi gördüğünü göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Araç Rotalama Problemi, Sürdürülebilir Lojistik, Fotovoltaik Güneş Enerjisi, Karbon Ayak İzi

34 – Evaluating Post-Graduate Career Alternatives Using the Analytical Hierarchy Process: An Application on Industrial Engineering Students

Fatih Yiğit *Altınbaş Üniversitesi*
Sude Kara *Altınbaş Üniversitesi*
Nur Damla Meci *Altınbaş Üniversitesi*

Career selection after undergraduate education is a complex decision-making problem that involves multiple conflicting criteria such as salary expectations, career development opportunities, professional reputation, working conditions, personal satisfaction, and international prospects. Due to the presence of multiple qualitative and quantitative factors, making a rational and structured decision is often challenging for students and graduates.

This study aims to evaluate and prioritize post-graduation career alternatives using a Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) approach. Specifically, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is applied to structure the decision problem and derive priority weights for both criteria and alternatives. The main career alternatives considered in this study include academic career, working abroad, entrepreneurship, and pursuing graduate education in public or private universities.

A survey-based approach was used to collect pairwise comparison data from 50 participants. The collected data were analyzed using the AHP methodology to determine the relative importance of each criterion and to rank the career alternatives accordingly. The results indicate that academic career is the most preferred alternative, followed by working abroad and entrepreneurship. Graduate education alternatives ranked lower in comparison.

The findings suggest that career decision-making is not solely driven by financial considerations but is also significantly influenced by non-monetary factors such as personal satisfaction and professional growth. The study demonstrates that AHP provides a systematic and effective framework for handling complex career selection problems and transforming subjective judgments into quantitative priorities.

In conclusion, the proposed approach can serve as a decision-support tool for students facing career choice problems after graduation. Future studies may extend the sample size, include different academic disciplines, and compare AHP with other MCDM methods such as TOPSIS or PROMETHEE.

35 – Enerji Üretim Planlamasında Veri Tabanlı Senaryo Analizi: Makine Öğrenmesi ve Optimizasyon Entegrasyonu

M. Mücahit Denk *Koç Üniversitesi, Migros Ticaret A.Ş.*
Ceyda Oğuz *Koç Üniversitesi*

Bu çalışma, elektrik üretim tahmini ve enerji karışımı planlamasını geliştirmek amacıyla makine öğrenmesi ve optimizasyon tekniklerini entegre eden veri odaklı bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada, geleneksel zaman serisi yöntemleri ile gelişmiş makine öğrenmesi algoritmaları karşılaştırılmış; tek çıktılı ve çok çıktılı modelleme yaklaşımları kullanılarak elektrik üretim tahminleri gerçekleştirilmiştir. Tahmin performansını artırmak amacıyla, farklı enerji kaynaklarının en uygun kombinasyonlarını belirleyen bir küme kapsama (set covering) tabanlı optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir.

Ayrıca, karbon nötr gelecek, yerli kaynak önceliği ve karbon azaltım senaryoları gibi farklı politika senaryoları oluşturularak, kapasite planlama kararları grid search tabanlı bir optimizasyon yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yenilenebilir enerji kapasitesinde önemli artışlar öngörülmesine rağmen, fosil yakıt bağımlılığı nedeniyle karbon emisyonlarının yüksek seviyelerde kalmaya devam ettiğini göstermektedir. Özellikle talep zirve dönemlerinde emisyonların belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Sonuçlar, makine öğrenmesi ve optimizasyon yöntemlerinin birlikte kullanımının enerji planlamasında daha doğru tahminler ve daha etkili karar destek mekanizmaları sağladığını ortaya koymaktadır. Geliştirilen yaklaşım, sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulması ve karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır.

36 – İlaç Endüstrisinde Blister Ambalaj Tasarımının ve Üç Boyutlu Ambalaj Düzenleme Kararlarının Entegre Optimizasyonu

Seray Çakırgil *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Eda Yücel *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*

Bu çalışma, Türkiye'nin önde gelen bir ilaç şirketinin karşılaştığı operasyonel süreçlerden ilham alan, ilaç tedarik zincirindeki kapsamlı ve bütünleşmiş bir optimizasyon zorluğunu ele almaktadır. Çalışma, iki ayrı ancak birbirine bağlı optimizasyon problemini birleştirmektedir: (1) tablet formundaki ilaçlar için bütünleşmiş blister ambalaj tasarımı ve uzun vadeli üretim planlaması ve (2) sevkiyat sürecinde karton-kutu-palet ataması ve kullanımı. Her iki problemdeki genel amaç, toplam operasyonel maliyetleri en aza indirirken aynı anda alan kullanımını en üst düzeye çıkarmak ve hammadde kullanımını azaltarak ve dolayısıyla hem ambalaj tasarımında hem de sevkiyat süreçlerinde karbon emisyonlarını düşürerek sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektir. Tez kapsamında, ilk tanımlanan problem için; bir önişleme algoritması ardından problem-özgü bir karma tam sayılı matematiksel model ve yerel arama ile geliştirilmiş Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Araması'na (ALNS) dayalı özel bir meta-sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. İkinci problem olan sevkiyat optimizasyonu için ise, ön işleme algoritmasıyla tamamlanan karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Gerçekçi veriler kullanılarak yapılan hesaplamalı deneyler, önerilen modellerin ve çözüm metodolojilerinin çeşitli planlama ufukları ve talep/sevkiyat senaryoları genelinde yüksek kaliteli çözümler üretmedeki etkinliğini göstermektedir.

37 – Kalan Ömür Sürecinin Momentleri için Yeni Yaklaşık Formüller

Aynura Poladova *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Tülay Yazır *Karadeniz Teknik Üniversitesi*
Zülfiye Hanalioğlu *Karabük Üniversitesi*
Tahir Khaniyev *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*

Bu çalışmada, yenileme teorisinin temel yapı taşlarından biri olan kalan ömür sürecinin momentleri için yenileme fonksiyonundan bağımsız ve yüksek doğruluk oranına sahip yeni yaklaşık formüller önerilmiştir. Kalan ömür süreci başta güvenilirlik analizi, bakım-onarım optimizasyonu, kuyruk sistemleri ve sigorta modelleri olmak üzere pek çok uygulama alanında sistem performansının değerlendirilmesi için kritik bir stokastik araçtır. Literatürde kalan ömür sürecinin sayısal karakteristikleri için yer alan kesin formüllerin, çoğu dağılım için kapalı formu bulunmayan yenileme fonksiyonuna bağımlı olması, bu ifadelerin pratik sistem analizlerinde ve dinamik modellerde kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu çalışmanın literatüre temel katkısı, söz konusu bağımlılığı ortadan kaldırarak kalan ömür sürecinin momentleri için sadece talepler arası geçen sürelerin sayısal karakteristiklerine dayalı yüksek hassasiyetli yaklaşık ifadeler önermesidir. Çalışma kapsamında öncelikle kalan ömür süreci matematiksel olarak inşa edilmiş, ardından yenileme teorisinin temel teoremleri ve Laplace dönüşümü teknikleri uygulanarak sürecin momentlerine ilişkin kesin ifadeler türetilmiştir. Elde edilen kesin formüllerde yer alan yenileme fonksiyonunu ortadan kaldırmak amacıyla Kambo' nun moment-bazlı yaklaşımı kullanılarak kalan ömür sürecinin sayısal karakteristikleri için iki terimli yaklaşık ifadeler geliştirilmiştir. Önerilen formüllerin performansı, güvenilirlik teorisinde yaygın olarak kullanılan ikinci derece Erlang dağılımı üzerinden test edilmiştir. Analiz sonuçları birinci ve ikinci derece başlangıç momentleri için geliştirilen yaklaşık formüllerin kesin ifadelerle birebir örtüştüğünü, üçüncü ve dördüncü momentlerin ise —özellikle zaman parametresi t'nin küçük değerleri için— oldukça yüksek bir doğruluk sergilediğini kanıtlamıştır.

38 – Çok Modlu ve Üç Amaçlı Proje Çizelgeleme Yaklaşımı ve Uygulaması

Özge Özusta *Hacettepe Üniversitesi*
Ceren Tuncer Şakar *Hacettepe Üniversitesi*
Gülşah Karakaya *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*

Savunma sanayii, ürünlerin sınırlı bütçeler ve belirli süre içinde geliştirilmesini gerektiren, stratejik açıdan öneme sahip bir sektördür. Bu sektör içinde yürütülen projelerde zaman, maliyet ve kalite kriterlerinin birbirleriyle uyumlu bir şekilde yönetilmesi kritiktir. Bu kriterler arasındaki ödünleşimler, savunma sanayii projelerinde karar alma süreçlerini karmaşık hale getirmektedir. Bu durum, etkili bir proje çizelgeleme yöntemine olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu çalışmada, savunma sanayii projeleri için zaman-maliyet-kalite ödünleşimleri üzerine üç amaçlı bir proje çizelgeleme modeli geliştirilmiştir. Projedeki faaliyetler için farklı modlar tanımlanmış olup bu modlar farklı zaman, maliyet ve kalite değerleri içermektedir. Literatürde kalite ölçümleri genellikle sübjektif değerlendirmelere ve uzman görüşlerine dayandırılmakla birlikte bu çalışmada kaliteyi daha somut ölçmek için kapsamlı bir değerlendirme geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, savunma sanayii Ar-Ge projelerinden bir örnek proje üzerinde uygulanmıştır. Problemin çözümü, Genişletilmiş Epsilon-Kısıt yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olup bu yöntem ile zaman, maliyet ve kalite kriterlerini gözeten tüm etkin çözümler üretilmiştir. Sonrasında karar vericinin tercihleri doğrultusunda çözüm uzayı daraltılarak elde edilen çözümler, karar uzayındaki yapıları da gözetilerek detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışma, zaman-maliyet-kalite ödünleşimlerini aynı anda ele alan proje çizelgeleme çalışmalarının bulunmadığı savunma sanayii alanında daha etkin proje yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

39 – Bölgesel Ürün Planlamasında Çok Amaçlı Sürdürülebilir Optimizasyon Modeli

M. Mücahit Denk *Koç Üniversitesi, Migros Ticaret A.Ş.*
Peral Toktaş Palut *Mef Üniversitesi*
Zeynep Z. Turgay *Migros Ticaret A.Ş.*
Nida Altınkaya *Mef Üniversitesi*

Bu çalışma, bakliyat ürünleri için bölgesel ürün planlamasını, geleneksel ve akıllı tarım gibi farklı teknolojiler arasından seçim yapılmasına olanak tanıyan çok amaçlı bir optimizasyon modelini ele almaktadır. Önerilen model; ekim alanı tahsisi, teknoloji seçimi, hasat zamanlaması, arazi kullanım sürekliliği, lojistik akış yönetimi ile bölgesel ve ulusal düzeyde talep karşılama ve arz fazlası yönetimi kararlarını bütünleşik bir yapıda değerlendirmektedir.

Model kapsamında ekonomik performans, toplam kar maksimizasyonu ile temsil edilmektedir. Gelir yapısı; normal satış, indirimli satış ve alternatif dış pazara yönlendirme seçeneklerini içermektedir. Çevresel performans; net karbon dengesi, yeşil ve mavi su kullanımı ile çiftçi ve pazar seviyesinde oluşan atık miktarları üzerinden modele dahil edilmektedir. Net karbon dengesi; ekim, gübreleme, hasat ve taşıma kaynaklı emisyonlar ile ürünlerin büyüme sürecindeki karbon tutumunu birlikte dikkate almaktadır.

Model ayrıca ürün rotasyonu, geri dönüş süresi, toprak uygunluğu, kuraklık kaynaklı verim kaybı, işgücü, makine ve sulama suyu kapasitesi ile araç doluluk oranı gibi üretim ve lojistik gerçeklerini dikkate almaktadır. Bölgesel ürün planlaması model çıktılarının sistem performans değerlendirilmesi için farklı sürdürülebilirlik göstergeleri tasarlanmıştır.

40 – Stochastic Generation Expansion Planning with Multi-Tier Demand Representation in Sub-Saharan Africa

Hilal Aydın *Bilkent Üniversitesi*
Ayşe Selin Kocaman *Bilkent Üniversitesi*
Gözde Yazıcı *Bilkent Üniversitesi*

Elektriğe erişim, dünya genelinde kritik bir kalkınma sorunu olmayı sürdürmekte; küresel ölçekte elektriksiz nüfusun %85'i Sahra Altı Afrika'da yaşamaktadır. Geleneksel enerji sistemi genişleme planlaması (ESGP) modelleri elektriğe erişimi 0-1 değerli bir durum olarak kurgulamakta; toplulukların elektrifikasyon süreci boyunca ilerledikçe ortaya çıkan heterojen talep büyüme dinamiklerini göz ardı etmektedir. Bu çalışma, Çok Katmanlı Çerçeve (ÇKÇ) talep düzeylerini senaryo ağırlıklı şans kısıtları aracılığıyla modele doğrudan dahil eden, kırsal elektrifikasyon planlamasına yönelik iki aşamalı stokastik karma tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) modeli önermektedir. Model; talep belirsizliği altında merkezi üretim teknolojilerinin, merkezi olmayan güneş ev sistemlerinin (GES) ve iletim altyapısının genişlemesini eşzamanlı olarak eniyilemektedir. Ruanda'da yürütülen veritabanlı örnek olay çalışmasından elde edilen sonuçlar, ÇKÇ'ye dayalı farklılaştırılmış talep modellemesinin ikili erişim referans senaryosuna kıyasla sistem kaynaklarının yeniden tahsisine yol açtığını ortaya koymaktadır.

Bu yaklaşım, birbirinden ayrışan planlama çıktıları üretmekte ve optimal sistem konfigürasyonunu yeniden tanımlamakta; böylece politika yapıcılara altyapı yatırımlarını gerçek tüketim katmanlarıyla uyumlu hâle getirmeleri için daha ayrıntılı bir yol haritası sunmaktadır.

41 – Yapay Zekâ Tabanlı Dijital Uygulamaların Kurum İçi Entegrasyonunu Şekillendiren Koşulların FSQCA Yöntemi ile Analizi

Ahmet Yusuf Bilhan *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Çiğdem Kadaifçi *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Yapay zekâ tabanlı dijital uygulamalar, telekomünikasyon sektöründe karar verme, raporlama ve operasyonel süreç yönetimi gibi birçok işlevde giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak bu uygulamaların sektörde giderek yaygınlaşması, çalışanların bu araçları günlük iş pratiklerine aynı düzeyde dâhil ettiği anlamına gelmemektedir. Aynı teknolojik altyapıya ve benzer uygulamalara erişimi olan çalışanlar arasında entegrasyon düzeyi belirgin biçimde farklılaşabilmektedir. Bazı çalışanlar bu araçları iş faaliyetlerinin doğal ve düzenli bir parçası hâline getirirken, bazılarında kullanım yüzeysel ya da düzensiz kalmaktadır. Bu gözlem, araştırmanın temel problemini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda araştırma sorusu, yapay zekâ tabanlı dijital uygulamaların iş süreçlerinde rutinleşmesinin hangi koşul kombinasyonlarına bağlı olarak gerçekleştiğidir. Mevcut literatürde yapay zekâ tabanlı dijital uygulamaların benimsenmesi ve kullanımı çoğunlukla tekil değişkenlerin doğrusal etkileri üzerinden incelenmektedir. Oysa bu uygulamaların iş süreçlerinde rutinleşmesi, tekil değişkenlerin bağımsız etkilerinden çok, bireysel algılar, kurumsal destek mekanizmaları ve kullanım deneyimine ilişkin koşulların birlikte oluşturduğu kombinasyonlarla açıklanabilecek çok boyutlu bir süreçtir. Bu çalışma, yapay zekâ tabanlı dijital uygulamaların iş süreçlerinde rutinleşmesini koşul kombinasyonları üzerinden ele alarak, literatüre konfigürasyonel bir bakış açısıyla katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Bu kapsamda araştırma, Türkiye'de telekomünikasyon sektörü çalışanlarından elde edilen veriler üzerinden yürütülmüştür. Rutinleşme, bu çalışmada teknolojinin yalnızca kullanılması değil, zaman içinde çalışanın günlük iş faaliyetlerinin olağan ve yerleşik bir parçası hâline gelmesi olarak ele alınmaktadır. Bu yaklaşım, rutinleşmeyi benimseme niyetinden ve ilk kabul aşamasından ayıran benimseme sonrası kullanım literatürü ile uyumludur. Araştırma modeli; algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, kolaylaştırıcı koşullar, üst yönetim desteği, uyumluluk ve kaygı yokluğu olmak üzere altı koşul seti ile rutinleşme sonuç seti üzerine kurulmuştur. Bu koşullar, Teknoloji Kabul Modeli (TAM), Birleşik Teknoloji Kabul ve Kullanım Kuramı (UTAUT), uyumluluk, örgütsel destek ve teknoloji kaygısı literatüründeki yerleşik çalışmalara dayandırılmıştır. Rutinleşme sonuç seti ise benimseme sonrası kullanım literatürü çerçevesinde ele alınmıştır. Modele ilişkin soru formu hazırlandıktan sonra değerlendirmeler, telekomünikasyon sektöründe aktif olarak çalışan bireylerden çevrim içi anket yöntemiyle toplanmıştır. Veri temizleme ve kontrol sorularının incelenmesi süreçlerinin ardından 103 katılımcıya ait yanıtlar analize dâhil edilmiştir. Değerlendirme puanları doğrudan kalibrasyon yöntemiyle bulanık küme üyelik skorlarına dönüştürülmüş ve analizler fsQCA 3.0 yazılımı kullanılarak yürütülmüştür. Yöntemin tercih edilmesinin temel gerekçesi, rutinleşmenin tek bir koşulun sonucu olmaktan çok, birden fazla koşulun birlikte oluşturduğu konfigürasyonlar üzerinden açıklanabilecek bir süreç olarak değerlendirilmesidir.

Kullanılan yöntemin ilk aşaması olan gerekli koşul analizi, algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığının rutinleşme açısından gerekli koşullar olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, çalışanların bu uygulamaları iş süreçlerine yerleştirebilmeleri için öncelikle onları işlevsel ve kullanımı kolay araçlar olarak değerlendirmelerinin önemli olduğunu göstermektedir. Gerekli koşulların varlığı tek başına rutinleşmeyi açıklamak için yeterli değildir. Rutinleşme, bu koşulların diğer örgütsel ve bireysel unsurlarla birlikte nasıl bir yapı oluşturduğuna bağlı olarak şekillenmektedir. Konfigürasyonel çözüm iki alternatif yol üretmiştir. Birinci konfigürasyon; algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, kolaylaştırıcı koşullar, üst yönetim desteği ve uyumluluk koşullarının birlikte varlığında rutinleşmenin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu yapı, rehberlik, eğitim ve teknik destek gibi kurumsal imkânların yönetsel teşvik, sahiplenme ve iş süreçleriyle uyumla birlikte rutinleşmeyi desteklediğini göstermektedir. İkinci konfigürasyon ise birinci konfigürasyonda var olan dört ortak koşula ek olarak kaygı yokluğunun tamamlayıcı rol üstlendiği alternatif bir yolu temsil etmektedir. Bu sonuç, uyumluluk algısının belirgin olmadığı durumlarda dahi düşük teknoloji kaygısının rutinleşmeyi destekleyebildiğini göstermektedir. Çözüm tutarlılığı 0,844, çözüm kapsamı ise 0,592 olarak hesaplanmıştır.

Bulgular, yapay zekâ tabanlı dijital uygulamaların iş süreçlerinde rutinleşmesinin tek bir mekanizmayla açıklanamayacağını göstermektedir. Farklı koşul bileşimleri aynı sonuca ulaşabilmekte, bu da rutinleşmenin konfigürasyonel bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, fsQCA'nın eşsonuçluluk ilkesiyle uyumlu olup konfigürasyonel analiz yaklaşımının bu araştırma bağlamı için uygunluğunu desteklemektedir. Bu yönüyle çalışma, yapay zekâ benimseme ve benimseme sonrası kullanım literatürüne konfigürasyonel bir bakış açısıyla katkı sunmaktadır. Ayrıca telekomünikasyon sektöründe bireysel algı düzeyinde teknoloji entegrasyonunun anlaşılmasına yönelik ampirik bir katkı sağlamaktadır.

42 – Mobile Service Unit Deployment for Periodic Demand in Post-Disaster Logistics

Çağla F. Dursunoğlu
Okan Arslan *HEC Montréal*
Bahar Y. Kara *Bilkent Üniversitesi*
Oya Karaşan *Bilkent Üniversitesi*

Afet müdahale operasyonlarının farklı aşamalarında talebin sıklığı ve yoğunluğu değişmektedir. Mevcut insani lojistik literatürü talep türlerini ayırt etmekte, ancak bunların sıklık örüntülerini açıkça ele almamaktadır. Ayrıca, tıbbi tedaviler, ruh sağlığı desteği ve bakım hizmetleri gibi periyodik taleplerin karmaşık çizelgeleme gereksinimleri yeterince incelenmemiştir. Bu çalışmada, talebi sıklığına göre tek seferlik, sürekli ve periyodik olmak üzere sınıflandırıyor ve afet döngüsü boyunca değişen ihtiyaçları karşılamak amacıyla Mobil Hizmet Birimlerinin çizelgelenmesini inceliyoruz. Afetten etkilenen bölgelerde yinelenen hizmet gereksinimlerini karşılamak üzere Mobil Hizmet Birimlerinin çizelgelenmesi için Periyodik Talep Hizmetleri Problemini (Periodic Demand Services Problem) tanıtıyoruz. Zaman içinde talepte meydana gelen değişimi yansıtan doğrusal olmayan talep fonksiyonlarını içeren ve farklı karmaşıklık düzeylerine sahip üç matematiksel model geliştiriyoruz. Modellerimizden biri kompakt yapıda olmakla birlikte dört indeksli değişkenler içermektedir. Buna karşılık, üstel sayıda kısıta sahip üç indeksli değişkenler kullanan iki model daha sunuyoruz. Bu iki modeli, geçerli eşitsizliklerle güçlendirilmiş bir branch-and-cut algoritması ile çözüyoruz. Modellerimizin etkinliğini 25 ile 1.000 düğüm arasında değişen veri setleri üzerinde değerlendiriyoruz. Ayrıca, Türkiye'de meydana gelen 2023 Kahramanmaraş depremlerine ait gerçek veriler kullanılarak bir vaka çalışması gerçekleştiriyoruz. Sonuçlarımız, önerilen yöntemin karmaşık periyodik talep senaryolarını ele almada etkili olduğunu göstermektedir.

43 – Deprem Sonrası Telekomünikasyon Ağı Restorasyonu için Çok Teknolojili Kaynakların Afet Öncesi Tahsisi ve Afet Sonrası Konuşlandırılması: Stokastik ve Gürbüz Optimizasyon Yaklaşımları

Alpaslan Kurt *Koç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*
Sibel Salman *Koç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*
Ali Hassanzadeh *Manchester Üniversitesi, Manchester, Birleşik Krallık*
İbrahim Yazıcı *Türk Telekom, İstanbul, Türkiye*

Depremlerden sonra, binaların çökmesi sonucu çatıdaki iletişim ekipmanlarının hasar görmesi, elektrik sistemlerinin zarar görmesi ve iletişim talebindeki ani artışlar nedeniyle telekomünikasyon hizmetleri aksayabilir. İHA'lar, Mobil Baz İstasyonları (CoW'lar), Yüksek Erişimli Sistemler (HAPS) ve uydular gibi çeşitli teknolojiler telekomünikasyon ağlarının restorasyonunu destekleyebilir. Bildiğimiz kadarıyla, acil durum iletişimine ilişkin çalışmaların çoğu, afet sonrası aşamada bir veya iki teknolojinin nasıl kullanılacağına odaklanmakta ve çok azı sorunu stokastik bir perspektiften ele almaktadır. Bu proje, bir depremden sonra iletişim kesintisini en aza indirmek için afet öncesinde sınırlı bir bütçenin teknolojiler arasında nasıl dağıtılacağını araştırmaktadır. Bu afet öncesi yatırımlar göz önüne alındığında, çalışma daha sonra farklı acil durum iletişim teknolojileri için afet sonrası konuşlandırma, konum ve yönlendirme kararlarını ele almaktadır. İletişim talebindeki belirsizliği ve yol aksamalarını modellemek için iki ayrı optimizasyon yaklaşımı ele alınmaktadır: senaryo tabanlı simülasyon ile birlikte iki aşamalı stokastik programlama (two-stage stochastic programming) ve gürbüz (robust) optimizasyon yaklaşımı. Önerilen metodolojiler İstanbul'un bir bölgesini ele alan vaka çalışmasıyla test edilmektedir.

44 – Enerji Hasadı Tabanlı Su Altı Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma: Bir Modelleme ve Optimizasyon Yaklaşımı Geliştirmesi

Mehmet Subaşı *TOBB ETÜ*

Sualtı kablosuz sensör ağları (UWSN), okyanus tabanı izlemeden tsunami erken uyarı sistemlerine, sualtı boru hattı kontrolünden deniz ekosistemi gözlemine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Ne var ki bu ağların tasarımı, kara tabanlı sensör ağlarına kıyasla çok daha zorlu mühendislik kısıtları barındırır. Sualtında batarya değişimi pratik olmadığından, sensör düğümleri enerji yenilemesi için yüzeye çıkıp güneş enerjisiyle şarj olmak zorundadır. Bu süre boyunca sensör görevini yapamaz ve kapsadığı bölge izlenemez hale gelir. Derin konumlardaki sensörler için yüzeye çıkış ve geri dalış hareketi de ayrıca enerji tüketir; dolayısıyla şarj döngüsünün kendisi batarya bütçesinden pay almaktadır. Bu koşullar altında temel soru şudur: sınırlı sayıda sensörle, belirli bir izleme alanında yeterli kapsama nasıl sürdürülür ve hangi sensör hangi zaman diliminde aktif tutulur?

Bu çalışmada, söz konusu problemi bütünleşik biçimde ele alan bir karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modeli geliştirilmiştir. Modelin ayırt edici özelliği, literatürde çoğunlukla birbirinden bağımsız problemler olarak çalışılan üç karar boyutunun — sensör konumlandırma, aktif/şarj zaman çizelgeleme ve çok atlamalı veri iletimi — tek bir optimizasyon modelinde birleştirilmesidir.

Matematiksel model, sensörlerin hangi lokasyonlara yerleştirileceğine, ne zaman şarj olması gerektiğine ve verinin hangi yol ile ana toplayıcı düğüme (“base stationa”) ulaşacağı kararını vermektedir. Bu kararı verirken sensör düğümlerinin yaşam döngüsünün devamını, belirli bir kapsama oranının altına düşmemeyi ve verinin her zaman ana toplayıcı düğüme aktarılmasını garanti etmektedir. Model bunun için “kısıtlı hareketli” bir sensör düğümü yapısı kullanır ve sensör düğümlerinin yer yer dikey hareket ile yüzeye çıkarak güneş enerjisi ile şarj olmasına izin verir. Kapsama oranı garantisi sebebiyle de hangi sensör düğümünün ne zaman aktif olacağına hangi sensör düğümünün ne zaman şarja çıkacağına karar verir. Tüm bunları sensör sayısını minimize edecek bir amaç fonksiyonuyla gerçekleştirir (Modelde birden fazla farklı amaç fonksiyonu da incelenmektedir.). Model Gurobi çözücüsü ile Python ortamında çözülmektedir.

Çalışmanın başlıca katkıları şöyle özetlenebilir: Konumlandırma, çizelgeleme ve yönlendirmenin tek bir optimizasyon formülasyonunda bütünleştirilmesi, enerji hasadı tabanlı dikey hareket döngüsünün derinlikle orantılı maliyetiyle birlikte modele dahil edilmesi, yatay koridor bazlı izleme sürekliliği sağlanması ve minimum kapsama oranının hem konumlandırma hem çizelgeleme aşamasında tutarlı biçimde uygulanması.

Anahtar Kelimeler: Sualtı kablosuz sensör ağları, karma tamsayılı doğrusal programlama, sensör konumlandırma, zaman çizelgeleme, enerji hasadı, çok atlamalı veri iletimi.

45 – Data-Driven Learning and Stochastic Search: A Decade-Long Systematic Review of Machine Learning-Assisted Metaheuristic Optimization (2015-2025)

Seda nur Bozkurt Erciyes *Üniversitesi*
Saltuk Buğra Selçuklu Erciyes *Üniversitesi*

The escalating complexity and high-dimensionality of modern optimization problems have exposed the structural limitations of traditional nature-inspired metaheuristic algorithms. While these stochastic mechanisms are celebrated for their flexibility and derivative-free operation, they frequently suffer from premature convergence, inadequate initial population diversity, and a tenuous balance between exploration and exploitation. To address these chronic bottlenecks, the integration of Machine Learning (ML) techniques into metaheuristic frameworks has emerged as a strategic necessity, transforming stochastic search into an intelligent optimization paradigm. This systematic review provides a comprehensive analysis of the literature published between 2015 and 2025, synthesizing insights from 144 peer-reviewed articles to map the evolution of ML-assisted metaheuristics. The study adopts a structured classification based on the standard operational cycle of optimization algorithms, examining how ML enhances five critical stages: parameter control and tuning, population initialization, fitness evaluation, solution generation, and selection mechanisms. Key findings reveal that research is predominantly concentrated on Parameter Tuning (41%), where Reinforcement Learning (RL) and Q-Learning variants are utilized to calibrate algorithmic momentum and operator rates dynamically (Figure 1). Population Initialization (19%) and Generation of New Solutions (17%) follow, largely driven by Opposition-Based Learning (OBL) to minimize search blind spots and facilitate escape from local optima (Figure 2). Despite the performance gains reported in engineering design, logistics, and path planning, the review identifies a significant research gap in Fitness Evaluation (3%) and Solution Selection (4%). These stages remain underutilized due to high computational overhead and the risk of approximation errors in surrogate models. The study concludes by proposing a future-oriented roadmap that pivots toward low-cost surrogate-assisted models and autonomous selection engines. By bridging these identified gaps, the synergy between data-driven generalization and flexible search mechanisms will pioneer more resilient and efficient optimization tools for complex industrial applications.

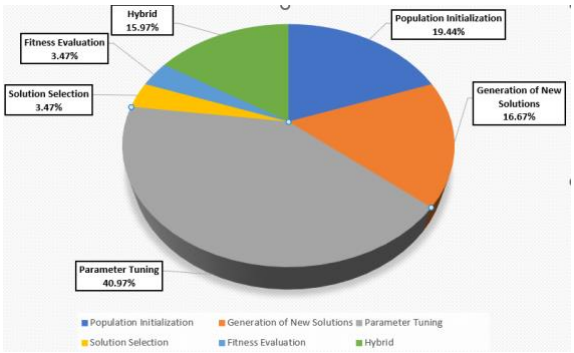

Figure 1. Distribution of ML integration across the operational stages of metaheuristics

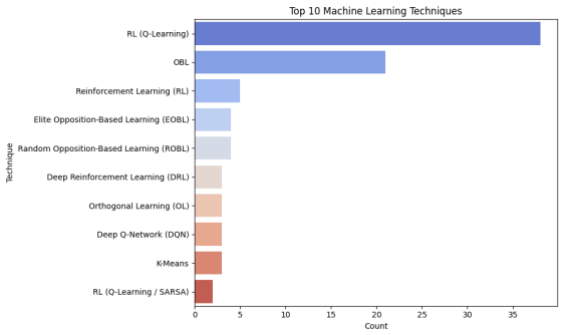

Figure 2. Top-10 machine-learning techniques used in metaheuristic hybrids

Acknowledgment: This study was funded by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TUBITAK) ARDEB 1001 Grant No: 225M497.

46 – Kanal Karar Sistemi

Arda Pesek *Turkcell*

Günümüzde hizmet sektörü firmaları; reklam, kampanya ve bilgilendirme süreçlerinde Kısa Mesaj (SMS), Mobil Uygulama Bildirimleri (Push Notification) ve Çağrı Merkezi Aramaları (IVR) gibi kanalları yoğun olarak kullanmaktadır. Ancak mevcut uygulamalarda, iletişim kurulurken genellikle önceden belirlenmiş statik tercihler veya rastgele seçimler yapılmaktadır. Bu geleneksel yaklaşımlar, iletişim anında müşterinin mesaja olumlu etkileşim göstermesini garanti edememektedir. Bu durum, hem pazarlama faaliyetlerinin yatırım getirisini (ROI) düşürmekte hem de müşteriler üzerinde istenmeyen bir "spam" (iletişim yorgunluğu) etkisi yaratarak memnuniyetsizliğe yol açmaktadır. Gelişmiş analitik karar mekanizmaları olmadan yürütülen bu operasyonlar, sonuç olarak kurumsal kaynak israfına neden olmaktadır

Bu çalışmanın temel amacı, Turkcell bünyesinde geliştirilen ve müşteri etkileşim verilerini ileri veri bilimi teknikleriyle analiz ederek, iletişim kurulacak en uygun kanalı tamamen otonom olarak belirleyen yenilikçi bir "İletişim Kanalı Karar Sistemi" sunmaktır. Sistemin odak noktası; sunulacak kampanyalar için müşteri bazında kişiselleştirilmiş veri analitiği uygulayarak kanal optimizasyonunu sağlamak ve sonrasında belirlenen bu ideal kanallar üzerinden müşterilerle insan müdahalesi olmadan, otomatik olarak iletişime geçmektir.

Geliştirilen entegre otonom sistem mimarisi temel olarak birbirleriyle kesintisiz haberleşen dört ana bileşenden oluşmaktadır: İletişim Bilgileri Veri Tabanı, Müşteri Bilgileri Veri Tabanı, İletişim Sunucusu ve Karar Sunucusu. Güncel Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) gereksinimleri, veri minimizasyonu ve "yalnızca amaca yönelik ilgili verinin kullanılması" ilkeleri doğrultusunda sistemin veri altyapısı özel olarak tasarlanmıştır. Müşteri Bilgileri Veri Tabanı içerisinde; gerçek adres, yaş veya meslek gibi spesifik hassas kişisel veriler yerine, müşteriyi sistem içerisinde anonimleştiren ve tekilleştiren eşsiz bir kimlik bilgisi (Unique ID) kullanılmaktadır. İletişim Bilgileri Veri Tabanı ise bu Unique ID'ler ile ilişkilendirilmiş şekilde geçmiş etkileşim loglarını tutar. Kurulan bir iletişim kısa mesaj veya bildirim üzerinden gerçekleşmiş ve müşteri tarafından açılmışsa sistem veri tabanına "okundu" etiketi işler; çağrı merkezi üzerinden yapılıp müşteri tarafından yanıtlanmışsa "çağrı cevaplandı" olarak kaydeder. Eğer müşteri iletilen mesajdaki bir bağlantıya (link) tıklamışsa sisteme "ilgilendi" etiketi basılır. Bu yapılandırılmış etiketleme mekanizması sayesinde, analitik tahmin modellerine doğrudan katma değer sağlayan davranışsal veriler analitik süreçlere dahil edilmektedir.

Sistemin tüm veri işleme ve karar verme yükünü üstlenen analitik beyni konumundaki Karar Sunucusu, optimize edilmiş iletişim kanalını belirlemek için süreci iki temel makine öğrenmesi aşamasında yönetir:

XGBoost ile Olasılıksal Kanal Tahminlemesi: Sistem, her bir iletişim kanalı (IVR, Push Notification, SMS) için müşterinin etkileşim kurma ihtimalini hesaplamak amacıyla yüksek doğruluk oranlarıyla bilinen XGBoost (Extreme Gradient Boosting) algoritmasını kullanır. Müşterinin Unique ID'si üzerinden çekilen geçmiş davranış kalıpları, reaksiyon sıklıkları ve "ilgilendi/okundu" gibi etkileşim tipleri bağımsız değişkenler olarak XGBClassifier modeline beslenir. Model, her bir kanal için o müşterinin ilgili kanala olan yatkınlığını matematiksel bir olasılık skoru (probability score) olarak üretir.

Kural Tabanlı Karar Ağacı Mekanizması: Saf istatistiksel tahminlerin kurumsal iş mantığıyla örtüşmesi için ikinci bir katman devreye girer. Olasılık skorları hesaplandıktan sonra, nihai seçimi yapmak üzere bir Karar Ağacı (Decision Tree) algoritması çalıştırılır. Bu aşama, makine öğrenmesi çıktılarını iş kurallarıyla harmanlayan kritik bir kontrol noktasıdır. Karar ağacı hiyerarşisi; XGBoost'tan gelen kanal olasılık skorlarını karşılaştırır, ilgili kanal için müşterinin iletişim izinlerini denetler ve sistemin operasyonel kısıtlarını (günlük iletişim kotası, yorgunluk kuralları vb.) kontrol eder. Son olarak, belirlenen eşik değerlerini (threshold) geçen ve iş kurallarına uyan en yüksek oranlı kanalı "Hedef Kanal" olarak işaretler.

Karar fazı tamamlandıktan sonra operasyonel aşamaya geçilir. Karar Sunucusu, belirlenen hedef kanal bilgisini uzak iletişim protokolleri aracılığıyla anlık olarak İletişim Sunucusuna iletir. İletişim sunucusu, web servis entegrasyonu üzerinden kendisine ulaşan bu işlenmiş analitik kararları devralır. Sistem, tespit edilen ideal kanalı

otonom bir şekilde tetikler ve hiçbir insan müdahalesine gereksinim duymadan o müşteriyle doğrudan temasa geçer.

Önerilen bu otonom sistem, müşteri ilişkileri operasyonlarını veri bilimi gücüyle dönüştürmektedir. Geliştirilen XGBoost tabanlı olasılık tahmini ve ardından çalışan Karar Ağacı mekanizması sayesinde iki temel endüstriyel kazanım elde edilmektedir: (1) Verimlilik ve Maliyet Optimizasyonu: İletişimin doğrudan en doğru kanaldan yapılmasıyla tanıtımlara olan geri dönüş (Conversion Rate) oranları maksimize edilmekte ve altyapı israfı önlenmektedir. (2) Müşteri Deneyimi: Müşterilere veri mahremiyeti korunarak, yalnızca kendi etkileşim yatkınlıklarına uygun olan ve tercih ettikleri kanallar üzerinden ulaşılması sayesinde "iletişim yorgunluğu" azaltılmakta, müşteri memnuniyeti artırılmaktadır. Gelecekte eklenecek zaman bazlı tahmin modelleriyle sistemin kişiselleştirme gücünün daha da artırılması hedeflenmektedir.

47 – Tekstil Endüstrisinde Tedarikçi Değerlendirmede Bütünleşik Yaklaşım: AHP, TOPSIS ve COPRAS Modelleriyle Bir Uygulama

Olcay Kalan *Çukurova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*

Günümüz koşullarında işletmelerin rekabet avantajı elde edebilmesi, doğru tedarikçi seçimi ile doğrudan ilişkilidir. Tedarikçi seçimi sürecinde maliyet, kalite, esneklik gibi birçok kriterin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu durum, tedarikçi seçimimi çok kriterli bir karar verme problemi haline getirmektedir.

Bu çalışmada, tekstil sektöründe faaliyetlerini sürdüren bir işletmenin tedarikçi seçimi problemi ele alınmış ve çözümünde Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, tedarikçi seçiminde dikkate alınan kriterlerin önem dereceleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, alternatif tedarikçiler TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve COPRAS (COmplex PRoportional ASsessment) yöntemleri ile değerlendirilmiş ve alternatif tedarikçiler sıralanmıştır.

Uygulama aşamasında, işletme yöneticilerinden elde edilen veriler kullanılarak dokuz kriter ve dört alternatif tedarikçi değerlendirilmiştir. TOPSIS ve COPRAS yöntemleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve her iki yöntemin de benzer sıralama sonuçları verdiği görülmüştür. Çalışma sonucunda, ilgili işletme için en uygun tedarikçi belirlenmiş ve karar verme sürecine bilimsel bir yaklaşım kazandırılmıştır.

Bu çalışmanın, tekstil sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için tedarikçi seçimi sürecinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermesi açısından literatüre ve uygulamaya katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

48 – Soğuk Zincir Lojistiğinde Rota Seçimi için Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı: Türkiye Örneği

Yasir Emre Kızıl *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Melissa Kır *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Ekin Özçelik *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Kaan Öndül *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Dr. Öğr. Üyesi Gökçen Bayram *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Dr. Öğr. Üyesi Vedat Zeki Yenen *İstanbul Beykent Üniversitesi*

Soğuk gıda zinciri deniz ürünleri, et ve süt ürünleri, dondurulmuş gıdalar gibi hassas ürünlerin güvenli ve besin değerlerini kaybetmeden son tüketiciye ulaşmasını sağlayan bir tedarik zinciri modelidir. Bu modelde güvenilir gıdanın tedarik sürecinde düşük sıcaklıkların sağlanması bütün faaliyetlerin temelini oluşturmaktadır. Soğuk zincir lojistiği geleneksel tedarik zincirlerinden farklı olarak, bozulma riski yüksek olan ürünlerin taşınma aşamasında maruz kaldığı süre ve taşıma sisteminin teknik özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Bu farklılıklar maliyet yapısında da değişikliklere yol açmaktadır. Özellikle zaman ve sıcaklık gibi faktörler toplam lojistik maliyetler üzerinde belirleyici bir etki oluşturmaktadır. Bununla birlikte gıda ve bozulabilir ürünlerin taşınmasında faaliyet gösteren işletmeler maliyetlerini azaltmak ve karlılıklarını artırmayı hedeflemektedirler. Maliyetlerini azaltmak amacıyla lojistik süreçlerindeki en önemli maliyet unsurlarından biri olan enerji tüketimini minimum seviyeye indirmeyi hedeflemektedirler. Bu kapsamda taşıma rotalarının yeniden düzenlenmesi ve optimize edilmesi, maliyetlerin düşürülmesi açısından önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada lojistik operasyonlarda alternatif güzergahların performansını değerlendirmek ve en uygun rotayı belirlemek amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) uygulanmıştır. Yedi temel kriter (risk, maliyet, süre, yakıt tüketimi, sıcaklık, mesafe ve CO_2 emisyonu) ve on alternatif güzergah üzerinden gerçekleştirilen analizler sonucunda, en kritik kriterin risk kriteri olduğu belirlenmiş bunu sırasıyla maliyet ve süre kriterleri izlemiştir. Bulgular karar sürecinde operasyonel güvenliğin maliyet ve hızdan daha öncelikli olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Soğuk zincir lojistiği, rota seçimi, analitik hiyerarşi süreci, ÇKKV

49 – Sürdürülebilir Ekonomik Büyüme ve Enerji Güvenliği için Elektrik Şebekesi Yatırım Planlanması: Kenya Örneği

Gül Çulhan Kumcu *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Mark Rodgers *Columbia University*
Wenbo Cai *Wenbo Cai*
Kwon Gi Mun *Dankook University*

Gelişmekte olan ülkelerde enerji politikalarının karşı karşıya olduğu başlıca zorluklardan biri, artan enerji talebi ile ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri arasında bir denge kurabilmektir. Geleneksel enerji planlama yaklaşımları çoğunlukla maliyet minimizasyonuna odaklanmakta, ancak bu yaklaşım ekonomik büyüme ve çevresel etkiler arasındaki karmaşık etkileşimleri yeterince yansıtamamaktadır. Bu çalışma, ekonomik büyüme, enerji güvenliği ve sürdürülebilirlik hedeflerini bütüncül bir çerçevede ele alan bir Üretim Genişleme Planlama (Generation Expansion Planning, GEP) modeli önermektedir. Çalışmanın temel katkısı, elektrik üretimi ile Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) arasındaki ilişkiyi temsil eden bir ekonometrik modelin doğrudan optimizasyon modeline entegre edilmesidir. Bu entegrasyon sayesinde enerji üretim kararları ile ekonomik büyüme arasındaki karşılıklı ve dinamik ilişki model içerisinde doğrudan temsil edilebilmektedir.

Önerilen yaklaşımda, kişi başına elektrik tüketimi ile kişi başına GSYİH arasındaki ilişki zaman serisi verileri kullanılarak ekonometrik yöntemlerle tahmin edilmiştir. Elde edilen model, elektrik üretimindeki değişimlerin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini doğrusal bir yapı ile ifade etmektedir. Bu ilişki, GEP modelinin kısıtları içerisine entegre edilerek enerji üretim planlaması ile ekonomik büyüme arasında doğrudan bir bağlantı kurulmasını sağlamaktadır. Böylece model, yalnızca teknik ve ekonomik kararları değil, aynı zamanda makroekonomik etkileri de dikkate alan bütünleşik bir karar destek yapısı sunmaktadır. Geliştirilen model, yatırım kararları, üretim seviyeleri ve ithalat miktarlarını içeren karar değişkenleri ile karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modeli olarak formüle edilmiştir. Amaç fonksiyonu, yatırım maliyetleri, sabit ve değişken işletme maliyetleri ile ithalat maliyetlerini kapsayan toplam sistem maliyetini minimize etmektedir. Modelde talep dengesi, kapasite sınırlamaları, minimum üretim gereksinimleri, yenilenebilir enerji payı, ithalat miktarına ilişkin üst limitler ve GSYİH büyüme oranı gibi çeşitli kısıtlar dikkate alınmaktadır.

Model, Kenya elektrik sistemi üzerinde 2018-2050 dönemini kapsayan uzun vadeli bir vaka çalışması kapsamında analiz edilmiştir. Analiz kapsamında, farklı politika önceliklerini temsil eden dört alternatif senaryo değerlendirilmiştir: mevcut plan, Kenya'nın öngördüğü gelecek senaryosu, çoklu performans kriterlerini içeren senaryo ve enerji güvenliği odaklı senaryo. Bu senaryolar, enerji sisteminin maliyet, çevresel etki ve ekonomik performans boyutlarında nasıl farklılaştığını ortaya koymak amacıyla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, enerji yatırımlarında maliyet, karbon emisyonları ve ekonomik büyüme arasında belirgin ve kaçınılmaz bir denge ilişkisi (tradeoff) bulunduğunu göstermektedir. Mevcut plan senaryosu en düşük maliyeti ve en yüksek GSYİH seviyesini sağlarken, dengeli bir ekonomik büyüme yapısı sunmamakta ve yüksek karbon emisyonları nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından zayıf bir performans sergilemektedir. Buna karşılık, yenilenebilir enerji ağırlıklı senaryolar karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmakta, ancak daha yüksek yatırım maliyetleri ve daha sınırlı ekonomik büyüme ile sonuçlanmaktadır.

Yapılan analizler, yenilenebilir enerjiye dayalı yatırım stratejileriyle karbon emisyonlarının %40'ın üzerinde azaltılabileceğini; ancak bunun toplam sistem maliyetlerinde artışa ve GSYİH büyüme hızında yavaşlamaya yol açabileceğini göstermektedir. Ayrıca enerji güvenliği odaklı senaryoların, ithalat bağımlılığını azaltarak sistemin dayanıklılığını artırdığı, ancak bu yaklaşımın maliyet ve ekonomik büyüme üzerinde belirli kısıtlara neden olduğu gözlemlenmiştir. Senaryoların karşılaştırmalı analizi, fosil yakıtlara dayalı sistemlerin kısa vadede ekonomik avantaj sağladığını ancak uzun vadede çevresel maliyetleri artırdığını; yenilenebilir enerji yatırımlarının ise yüksek başlangıç maliyetlerine rağmen sürdürülebilirlik açısından kritik kazanımlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, enerji geçiş süreçlerinde politika belirleyicilerin çok boyutlu performans ölçütlerini birlikte değerlendirmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Çalışmada ayrıca, talep belirsizliği altında modelin performansını değerlendirmek amacıyla gürbüz optimizasyon temelli bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı talep sapmaları altında elde edilen sonuçlar, modelin çözüm yapısının değişmediğini ve önerilen yaklaşımın belirsizlik koşullarında dahi istikrarlı ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, modelin gerçek yaşam uygulamalarında karar vericiler için kullanılabilirliğini desteklemektedir. Bununla birlikte, modelin esnek yapısı farklı ülke bağlamlarına uyarlanabilir olup, özellikle yerli üretim kapasitesinin enerji talebini karşılamakta yetersiz kaldığı ve bu nedenle enerji ithalatına bağımlılığın arttığı gelişmekte olan ülkeler için sistematik bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, enerji yatırımlarının ekonomik ve çevresel etkilerini entegre biçimde analiz eden bir model önererek literatüre katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, enerji planlamasında tek bir performans ölçütüne odaklanmanın yetersiz olduğunu ve maliyet, emisyon ve ekonomik büyüme hedeflerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Önerilen yaklaşım, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda enerji sistemlerinin daha dirençli, çevresel açıdan daha sürdürülebilir ve ekonomik açıdan dengeli şekilde planlanmasına katkı sağlamaktadır.

50 – Telekomünikasyon Pazarlama Uygulamalarında Çok Boyutlu Kota Kısıtlı Outbound Kampanya Planlaması: Çok Dönemli Yinelemeli Optimizasyon ve Gelecek Nesil Tahminleme Vizyonu

Nimet Aksoy Tekmeci *Turkcell Teknoloji Araştırma ve Geliştirme A.Ş.*

Telekomünikasyon sektörü, modern ekonominin en veri yoğun ve dinamik endüstrilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Milyonlarca abonenin ürettiği veriler, işletmeler için operasyonel süreçlerde ve pazarlama faaliyetlerinde rasyonel kararlar alınmasını sağlayan stratejik birer varlıktır. Geleneksel pazarlama yaklaşımlarının ötesine geçen modern stratejiler, teklif-müşteri eşleşmesini; operasyonel kısıtlar, yasal zorunluluklar ve uzun vadeli müşteri ilişkileri dengesi içerisinde yönetmeyi zorunlu kılmaktadır. Dış arama (outbound) kampanya yönetimi; SMS, etkileşimli sesli yanıt (IVR) ve çağrı merkezleri gibi kanalların sınırlı kapasitelerini ve yüksek birim maliyetlerini en verimli şekilde kullanmayı hedefleyen bir kaynak dağıtım problemidir.

Sektörel Dinamikler ve Çok Katmanlı Kısıt Yönetimi: Pazarlama faaliyetleri; abonelik sürekliliğini sağlamak (retention) ve ürün kullanımını teşvik etmek (upsell/cross-sell) gibi çok boyutlu amaçlara hizmet eder. Ancak kontrolsüz iletişim, "iletişim doygunluğu" (communication saturation) yaratarak markaya karşı duyarsızlaşma riskini artırır. Bu riskleri yönetmek adına kısıt yönetimi, matematiksel optimizasyonun temel girdisi olarak kurgulanmalıdır.
Sistemde yönetilen temel kısıt kategorileri şunlardır:

• Zaman Bazlı İletişim Kotaları: Günlük, haftalık (kayan pencere), aylık ve yıllık bazda abone başına tanımlanan limitler ile iletişim yükü kontrol edilir.

• Operasyonel Kapasite Limitleri: Çağrı merkezi temsilci sayıları ve kanal bant genişliği gibi fiziksel kaynakların aşırı yüklenmesi önlenerek hizmet kalitesi korunur.

• Kategori ve Ürün Bazlı Kısıtlar: Belirli ürün grupları için tanımlanan özel limitler ile portföy genelinde dengeli bir dağılım sağlanır.

• Kanal Tercih Kısıtları: Müşterilerin yasal izinleri ve tercihleri ile kanal eşleştirmesi yapılarak etkileşim oranları artırılır.

Statik planlama sistemlerinde görülen "ilk gelen ilk hizmeti alır" yaklaşımı, ayın başında kotaların tükenmesine ve ayın sonuna doğru ortaya çıkan stratejik değeri yüksek kampanyaların kitleye ulaşamamasına neden olmaktadır.

Mevcut Analitik Mimari: Çok Dönemli Yinelemeli Optimizasyon: Şu an kullanılan çözüm mimarisi, süreci bağımsız anlık işlemler yerine birbirine bağlı kararlar zinciri olarak ele alır. Bu yapı iki ana faza ayrılır:

Veri Hazırlama Fazı: Kampanya talepleri, "hedef etkileşim birimleri" bazında tekilleştirilir. Bu aşamada kampanya önceliği, kanal, süre ve bütçe gibi metadata bilgileri entegre edilirken; abonelerin demografik bilgileri ve kullanım alışkanlıkları modele girdi olarak sunulur.

Yinelemeli Planlama Mekanizması: Çok dönemli yinelemeli optimizasyon, zaman serisi bazlı bir iterasyon mantığına dayanır. Özellikle haftalık planlamada, 1. günün sonunda gerçekleşen kampanya gönderimleri, takip eden günlerin kota havuzunu doğrudan etkiler. Algoritma akışı; anlık kota kontrolü, operasyonel kapasite denetimi ve öncelik bazlı dağıtımı içeren özyinelemeli bir yapıdadır. Bu planlama mantığı matematiksel olarak $P_{t+1}=f(P_t,C,Q_t)$ fonksiyonuyla ifade edilebilir.

Gelecek Yol Haritası: Tahminleme ve Belirsizlik Yönetimi Entegrasyonu: Ürünün analitik derinliğini artırmak amacıyla ilerleyen dönemde sisteme entegre edilmesi planlanan gelişmiş özellikler, "Eğilim Skoru Modelleri" ve "Belirsizlik Yönetimi" üzerine odaklanmaktadır. Bu yetkinlikler halihazırda sistemde yer almamakla birlikte, gelecek nesil optimizasyon motoru için şu parametrelerin dahil edilmesi hedeflenmektedir:

1. Katılım İhtimali (p): Abonenin teklife yanıt verme olasılığının hesaplanarak tekliflerin değer bazlı sıralanması.

2. Eminlik Skoru (c): Yapılan tahminin istatistiksel güvenilirlik ölçüsüdür.

Gelecekte devreye alınacak "Maliyet Duyarlı Geçit" (cost-sensitive gating) mekanizması ile düşük eminlik üreten tahminler için kota harcanması engellenecek, böylece kısıtlı kaynakların geri dönüşü en kesin olan abonelere saklanması sağlanacaktır.

Sektörel Değer ve Kazanımlar: Mevcut özyinelemeli optimizasyon modelinin kullanılması, finansal ve operasyonel açıdan kritik kazanımlar sağlamıştır. Gerçekleştirilen uygulama sonuçlarına göre, statik yöntemlerden bu dinamik optimizasyon modeline geçişle birlikte müşteriye ulaşma oranında %18 oranında somut bir artış elde edilmiştir.

Bu temel verimlilik artışının yanı sıra sistem şu avantajları sunmaktadır:

• Maliyet Tasarrufu: Verimsiz gönderimlerin elenmesiyle kanal maliyetlerinde iyileşme sağlanabilir.

• İzin Yönetimi ve Uzun Vadeli Sadakat: İletişim yoğunluğunun rasyonel yönetimi, müşteri yorgunluğunu azaltarak öncelikle abonelerin tanıtım izinlerini iptal etmelerini (opt-out) engeller. Bu durum, uzun vadeli bir kazanım olarak marka bağlılığını güçlendirir ve dolaylı yoldan abonelik iptali (churn) risklerinin yönetilmesine katkı sağlar.

• Kurumsal Çeviklik: Pazar değişikliklerine veya yeni kısıtlara karşı strateji değişikliği, model parametrelerinin güncellenmesiyle hızlıca operasyona yansıtılabilir.

Sonuç olarak, çok boyutlu yinelemeli optimizasyon mimarisi, telekomünikasyon pazarlamasında kısıtlı kaynakların yönetimini bilimsel bir zemine oturtmaktadır. Gelecekte eklenecek tahminleme yetkinlikleriyle daha da güçlenecek olan bu yapı, operasyonel verimlilik ile müşteri memnuniyeti arasındaki dengeyi koruyan stratejik bir analitik varlıktır.

52 – Saha Operasyonlarında Verimlilik: Dağıtık Hizmet Sistemleri için Gereklilik-Görünürlük-Yönetilebilirlik Temelli Bir Sistem Tasarım Çerçevesi

Burak Günal *CK Enerji*

Saha operasyonları, coğrafi olarak dağılmış, belirsizlik içeren ve yüksek derecede insan inisiyatifine dayanan hizmet üretim sistemleridir. Bu çalışmada "saha operasyonları" kavramı, bir organizasyonun merkez ofis veya tesisleri dışında, müşteri veya hizmet noktalarında gerçekleştirilen teknik müdahale, bakım, onarım ve denetim faaliyetlerini ifade etmektedir. Bu operasyonların temel özelliği, ekiplerin farklı lokasyonlara fiziksel olarak hareket etmesini gerektirmesi ve planlama, ulaşım, ekipman ve bilgi akışının birlikte yönetilmesini zorunlu kılmasıdır.

Literatürde saha operasyonlarının verimliliği çoğunlukla rota optimizasyonu, iş gücü planlama veya hizmet kalitesi perspektifinden ele alınmaktadır. Ancak saha operasyonları yalnızca operasyonel optimizasyon problemi değil, aynı zamanda uçtan uca bir sistem tasarımı problemidir. Bu çalışma saha operasyonel verimliliğini üç temel tasarım ekseni üzerinden ele almaktadır: Gereklilik boyutu, operasyonel görünürlük boyutu ve yönetilebilirlik boyutu. Gereklilik mimarisi sayesinde engellenebilir saha ziyaretleri filtrelenebilir, operasyonel görünürlük sistemleri ile süreç daha etkin takip edilip, anlık kararlar alınabilir ve yönetilebilirlik mimarisi ile çalışan davranışları sistem hedefleri ile hizalanabilir. Bu çalışma, farklı sektörlerde benzer yapısal özellikler gösteren bu tür saha operasyonlarının verimliliğini artırmak amacıyla "Gereklilik–Görünürlük–Yönetilebilirlik" temelli bir sistem tasarım çerçevesi önermektedir.

53 – Bir Tekstil Firmasında Tedarikçi Seçim Sürecinin Dematel Yöntemi ile İncelenmesi

Nurcan Ercan *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Dilan Erboz *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Deniz Biricik *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Dr. Öğr. Üyesi Gökçen Bayram *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Dr. Öğr. Üyesi Vedat Zeki Yenen *İstanbul Beykent Üniversitesi*

Bu çalışmada, tekstil sektöründe tedarikçi seçimi sürecinde yer alan kriterler arasındaki etkileşimler DEMATEL yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Tekstil sektörü çok katmanlı tedarik zinciri yapısı, hızlı moda dinamikleri ve yüksek rekabet ortamı nedeniyle tedarikçi seçimini kritik bir karar problemi haline getirmektedir. Tekstil sektöründe müşteri algısını şekillendiren temel faktörlerden olan tedarikçi seçiminde ürün kalitesinin sürekliliği, teslimat zamanlamasının tutarlılığı, maliyet yapısının rekabetçiliği ve teknik yeterlilik gibi unsurlar kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda tedarikçi seçimi yalnızca maliyet odaklı değil kalite, teslimat performansı, teknik kapasite, sürdürülebilirlik, risk ve müşteri memnuniyeti gibi çok sayıda kriterin birlikte değerlendirildiği çok kriterli karar verme problemidir. Çalışmada söz konusu kriterler ve alt kriterler uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiş ve kriterler arasındaki neden-sonuç ilişkileri DEMATEL yöntemi ile ortaya konmuştur. Analiz sonucunda teknik kapasite, maliyet ve kalite kriterlerinin pozitif net etki (D−R) değerlerine sahip olduğu ve etkileyen kriterler grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Özellikle teknik kapasite kriteri en yüksek etki değerine sahip olup tedarikçi seçim sürecini yönlendiren en kritik faktör olarak öne çıkmıştır. Buna karşılık müşteri memnuniyeti ve risk-güvenilirlik kriterlerinin negatif net etki değerleri ile etkilenen kriterler olduğu tespit edilmiştir. Alt kriter analizlerinde ise maliyet boyutunda işleme maliyetlerinin, kalite boyutunda renk ve desen tutarlılığının, teknik kapasite boyutunda teknolojik donanım düzeyinin ve sürdürülebilirlik boyutunda kimyasal kullanım kontrolünün sistemde belirleyici rol oynadığı görülmüştür. Ayrıca müşteri memnuniyeti boyutunda teslimat doğruluğunun temel belirleyici unsur olduğu ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular tekstil sektöründe tedarikçi seçiminde teknik ve operasyonel kriterlerin karar sürecini yönlendirdiğini, müşteri memnuniyetinin ise bu kriterlerin bir çıktısı olarak şekillendiğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma müşteri memnuniyetini bağımsız bir kriter olarak ele alarak literatürdeki boşluğu doldurmakta ve karar vericilere daha bütüncül ve stratejik bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil sektörü, tedarikçi seçimi, ÇKKV, DEMATEL

54 – Alüminyum Üretim Süreçlerinde Geri Dönüşüm, Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzinin Entegre Yönetimi

Sanem Aydar *Zahit Alüminyum*
Serap Akcan Yetgin *Tarsus Üniversitesi*
Hilal Karamancıoğlu *Tarsus Üniversitesi*

Günümüzde sürdürülebilirlik, doğal kaynakların hızla tükenmesi nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Alüminyum, tamamen geri dönüştürülebilen sınırlı metallerden biri olması nedeniyle çevre dostu ve sürdürülebilir bir malzeme olarak öne çıkmaktadır. Ancak alüminyum üretim süreçlerinin her aşamasında farklı türde atıklar oluşmaktadır. Ana atık olan hatalı profiller tamamen geri dönüştürülebilirken, diğer atıkların büyük bir kısmı bertaraf edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, büyük ölçekli bir alüminyum üretim tesisinde gerçekleştirilen sürdürülebilirlik faaliyetlerini analiz etmek ve özellikle atık yönetimi süreçlerini detaylı şekilde değerlendirmektir. Bu kapsamda öncelikle üretim süreçleri analiz edilmiş ve oluşan atıklar belirlenmiştir. Belirlenen atıklar, miktar ve kapladıkları alan kriterlerine göre Pareto analizi ile önceliklendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yıl içerisinde en fazla bertaraf edilen atık belirlenmiş ve belirlenen atığın oluşum süreci değer akış haritalama yöntemi ile incelenerek mevcut durum ortaya konulmuştur. Mevcut durum değer akış haritalamada süreçte yer alan taşıma, bekleme ve ayıklama gibi değer yaratmayan faaliyetler belirlenmiş ve iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen iyileştirmeler sonucunda, ortalama 1 ton atıktan yaklaşık 200 kg alüminyum geri kazanımı sağlanmıştır. Bununla birlikte, bir çuval (1 ton) atık için yaklaşık 60 dakika süren ayrıştırma süresi ortalama 30 dakikaya düşürülmüştür. Sonuç olarak, süreçte yer alan değer yaratmayan ayıklama faaliyetleri iyileştirilmiş ve işlem sürelerinde önemli bir verimlilik artışı elde edilmiştir.

55 – Taco Çeşni Kaplamalı Piliç Pane Reçetesi Geliştirilmesi ve Reçete Optimizasyonu

Gülcan Avcıoğlu *Hastavuk Gıda Tarım Hayvancılık San. ve Tic. A.Ş.*
Ebrar Duman *Hastavuk Gıda Tarım Hayvancılık San. ve Tic. A.Ş.*
Kıvılcım Ateş Çakıroğlu *Hastavuk Gıda Tarım Hayvancılık San. ve Tic. A.Ş.*
Aslan Deniz Karaoğlan *Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*

Endüstriyel piliç pane üretiminde temel kuru kaplama materyali galeta unudur. Ancak son yıllarda tüketicilerin galeta unu kaplamalı ürünlerin yanında, farklı sos ve baharatları da birlikte tüketerek ürünleri lezzetlendirme alışkanlığı kazandığı gözlemlenmiştir. Değişen bu talebe karşılık verebilmek amacıyla bu çalışmada, piliç pane ürünleri için alternatif ve yenilikçi bir ürün olarak taco çeşni (cips baharatı) bazlı kaplama karışımlarının reçete optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. "Taco Çeşnisi", "Sarı Kaplama" ve "Galeta Unu" girdilerinin (faktörler) farklı karışım oranlarından oluşan 10 farklı deney kombinasyonu tasarlanarak alternatif reçeteler oluşturulmuştur. Denemelerde kullanılacak bonfile etleri deneme sonuçlarının güvenilirliğini arttırmak amacıyla 5x5 cm ebadında kuşbaşı olarak doğranmış ve sabit gramajlanmıştır. Kuru kaplamanın et yüzeyini tutunmasını sağlamak amacıyla kullanılan sıvı kaplama oranı tüm denemelerde eşit miktar ve sürede uygulanmıştır. Kaplanan ürünler 180ºC'de kızgın yağda 2,5 dk daldırma yöntemi ile pişirilmiştir. "Kaplama Tutunma Oranı (KTO)" hesaplaması için kaplama öncesi ve sonrası yapılan hassas tartım sonuçları kullanılarak; "Pişirme Verimi (PV)" pişirme öncesi ve sonrası yapılan hassas tartım sonuçları ilgili formüller kullanılarak yüzdesel olarak hesaplanmıştır. Taco baharatının tuzlu olması ve optimum/tüketilebilir tuz oranının hesaplanabilmesi için tüm denemelerde Mohr yöntemi ile "Tuz" analizi yapılarak sonuçları yüzdesel olarak kaydedilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan deney tasarımı ve optimizasyon yöntemlerinden biri olan yanıt yüzey yöntemi kullanılarak, deney tasarımında yer alan girdiler ile ölçülen çıktılar arasındaki ilişkiler 2. derece regresyon denklemleri ile modellenmiştir. Minitab istatistiksel analiz programı ile kaplama tutunma oranı, verim ve tuz için elde edilen modellerin R2 (belirleme katsayısı) değerleri sırasıyla %91,03, %85,69 ve %98,3 olarak bulunmuştur. Bu da modellemede kullanılan faktörlerin, çıktı değişkeni olarak ölçülen KTO, PV ve tuz miktarını modelleyebilmek için yeterli olduğunu göstermektedir. Elde edilen modellerin Minitab ile gerçekleştirilen ANOVA analizleri sonunda ise P-değerleri üç model için sırasıyla 0,002, 0,006 ve 0,000 olarak bulunmuştur. Bu da %95 güven düzeyinde P-değeri <%5 olması elde edilen matematiksel modellerin anlamlı olduğunu göstermektedir. Elde edilen matematiksel modellerin tahmin performansı, gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farklara göre hesaplanmıştır. Tahmin hataları incelendiğinde, tahmin hata yüzdelerinin %5'ten daha az olduğu görüldüğü için matematiksel modellerin iyi bir tahmin performansı olduğu kanaatine varılmıştır. Minitab'ta "Response Optimizer" modülü kullanılarak yapılan optimizasyon sonunda taco çeşni, sarı kaplama ve galeta için optimum karışım oranları sırasıyla %41, %59 ve %0 olarak bulunmuştur. Optimum reçete için yanıt değişkenleri olan KTO=0,1429, PV=0,9713 ve Tuz=2,2805 olarak bulunmuştur. Yapılan doğrulama deneylerinde tahmin hatasının %2'nin altında olduğu görülmüştür. Denemeler 22 panelistlik tadım panelinde servis edilmiştir. Koku, lezzet, renk, tekstür ve yağlılık kriterleri puanlandırılmıştır. Panelistlerin değerlendirmesinde 9 puanlı hedonik skala yönteminden yararlanılmış ve panelist grubunun 10'luk skala üzerinden yaptığı duyusal değerlendirme ortalamaları alınmıştır. Duyusal değerlendirme sonunda Koku=8,62, Lezzet= 8,77, Renk= 7,72, Tekstür=8,16 ve Yağlılık= 4,44 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar piliç pane ürünlerinde tüketicinin yanında ilave lezzetlendirici kullanmadan tüketebileceği taco çeşni bazlı yeni bir kaplama materyalinin başarıyla uygulanabileceğini göstermiştir.

56 – Afet Sonrası İletişim Talebinin Mekânsal-Zamansal Simülasyonu: Bir Küçükçekmece Vaka Çalışması

Güler Aydın *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Nevra Bengisu Özkan *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Betül Çoban Yelken *Abdullah Gül Üniversitesi*
Eda Yücel *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*

Bu çalışma, İstanbul'un Küçükçekmece ilçesine odaklanarak depremden etkilenen kentsel alanlarda afet sonrası iletişim talebi tahmini ve kaynak tahsisi problemini ele almaktadır. Bölge; Marmara fay hattına yakınlığı, zorlu zemin koşulları, yoğun nüfusu ve heterojen bina stoku tarafından tetiklenen doğasında var olan yüksek sismik kırılganlığı nedeniyle seçilmiştir. Marmara Denizi'nde beklenen yıkıcı bir deprem senaryosunu (Mw=7,5) dikkate alarak acil müdahale operasyonlarını desteklemek için başlangıç iletişim talebini ve bunun zaman içindeki mekânsal dağılımını tahmin etmeyi amaçlıyoruz.

Bu problemi çözmek için ilçe 10.000 m²lik hücrelere ayrılmış ve çalışma alanı için ızgara (grid) tabanlı bir model benimsenmiştir. Hücre bazında iletişim talebinin alt ve üst sınırları, mahalle seviyesindeki gece nüfus yoğunlukları ve mekânsal örtüşme oranları kullanılarak tahmin edilmektedir. Izgara hücreleri, İnsansız Hava Aracı (İHA) baz istasyonları için aday konumlar olarak ele alınmaktadır. Afet sonrası ortamların dinamik doğasını yakalamak için yaralı bireylerin zaman içindeki hareketliliğini modelleyen Etmen Tabanlı Simülasyon (Agent-Based Simulation) çerçevesi geliştirilmektedir. Model, enkaz ve çökmüş yapılar gibi mekânsal kısıtlamaların yanı sıra yaralı bireylerin kötüleşen sağlık durumları nedeniyle azalan hareketliliğini içermektedir. Bu yaklaşım, iletişim talebinin zamanla değişen mekânsal dağılımının karakterize edilmesini sağlamaktadır.

Önerilen yaklaşım, dinamik ve kısıtlı koşullar altında ayrık periyotlar için kritik İHA baz istasyonu konuşlandırma konumlarını ve iletişim talebini belirlemek için veri odaklı bir temel sunmaktadır.

58 – Afet ve İnsani Yardım Lojistiğinde Tesis Yer Seçimi, Stok Ön Konumlandırma ve Dağıtım Problemlerine Yönelik Bir Literatür İncelemesi

Erdener Özçetin *Hitit Üniversitesi*
İlknur Kaplan *Hitit Üniversitesi*

Doğal afetler, kısa sürede geniş coğrafi alanları etkileyerek yaşamsal kayıplara, altyapı hasarlarına ve karmaşık lojistik sorunlara yol açmaktadır. Afet sonrası müdahale sürecinin etkinliği; doğru tesis yeri seçimi, yeterli düzeyde envanter ön konumlandırması, kaynak tahsisi ve dağıtım rotalarının zamanında planlanması ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, afet ve insani yardım lojistiği literatüründe öne çıkan matematiksel programlama tabanlı çalışmalar sistematik bir biçimde incelenmiş; problem yapısı, model türü, belirsizlik altında karar verme yaklaşımları, amaç fonksiyonları ve çözüm yöntemleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İncelenen çalışmalar; karma tamsayılı doğrusal programlama, iki aşamalı stokastik programlama, dağılımsal olarak sağlam (distributionally robust) optimizasyon, çok amaçlı modelleme ve simülasyon yaklaşımlarını içermektedir. Ayrıca afet öncesi hazırlık aşamasında tesis yeri seçimi, depo ve barınak konumlandırması, stok ön konumlandırma; afet sonrası müdahale aşamasında ise yaralı tahsisi, sağlık personeli planlaması, yol açma operasyonları, yardım malzemesi dağıtımı, araç rotalama ve geçici depo yer seçimi gibi alt problemler ele alınmıştır. İnceleme kapsamında ulusal literatürde yer alan Türkiye odaklı uygulamalar ile uluslararası literatürdeki bütüncül modelleme çalışmaları birlikte değerlendirilmiş; mevcut yaklaşımların güçlü yönleri, kısıtları ve gelecekteki araştırma fırsatları tartışılmıştır. Çalışmanın, afet lojistiği alanında bütüncül model geliştirmeyi hedefleyen araştırmacılar için kapsamlı bir referans çerçevesi sunması amaçlanmaktadır.

59 – Kamu Sektörü Dijital Dönüşüm Olgunluk Seviyelerinin WENSLO-ARTASI Bütünleşik Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi: G20 Ülkeleri Uygulaması

Yeşim Kayabaş Alkan *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi*
Mehmet Kabak *Gazi Üniversitesi*

Kamu hizmetlerinde inovasyon ve dijital dönüşüm karar mekanizmalarının güçlendirilmesi ve toplumun kamu süreçlerine yönelik katılımının sağlanması devletler tarafından odak noktası haline gelmiştir. Devletlerin kamu hizmetlerinde dijitalleşme seviyelerinin ölçümünde web tabanlı servis sağlama, paydaş etkileşimi ve devlet kurumlarının inovasyon düzeyi gibi temel faktörler ele alınmaktadır. Bu çerçevede Kamu Teknolojileri (Government Technology – GovTech) stratejisi, kamu hizmetlerinde dijital olgunluk ve teknolojik çözümlerden faydalanma seviyesini hesaplamayı amaçlayan kritik bir karar perspektifi ortaya koymaktadır. Bu çalışmada Dünya Bankası tarafından sunulan 2025 GovTech Olgunluk Endeksi üzerinden G20 ülkelerinin kamu alanı dijital olgunluk seviyelerinin değerlendirilmesine yönelik olarak bir Çok Kriterli Karar Verme modeli sunulmuştur. Veri setinde yer alan 48 kriter incelenerek, analize etkisi olmayan sabit kriterler değerlendirilmeye alınmamıştır. Ele alınan kriterler üzerinden objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden olan Zarf ve Eğim ile Ağırlık Hesaplama (Weights by Envelope and Slope - WENSLO) yöntemiyle ağırlık hesaplaması yapılmıştır. Ülkelerin sıralamalarını bulmak amacıyla Uyarlanabilir Standartlaştırılmış Aralıklara Dayalı Alternatif Sıralama Tekniği (ARTASI - Alternative Ranking Technique based on Adaptive Standardized Intervals) kullanılmıştır. WENSLO yöntemi sonucunda elde edilen ağırlık değerleri ARTASI yöntemine entegre edilerek G20 ülkelerinin dijital olgunluk seviyelerinin değerlendirilmesi için yeni bir yaklaşım önerisi sunulmuştur. Çalışma sonucunda ülkeler arasında önemli ayrışmaların olduğu, Amerika Birleşik Devletleri'nin ilk sırada yer aldığı ve bu ülkeyi sırasıyla Endonezya, Hindistan, Brezilya ve Avustralya'nın izlediği gözlemlenmiştir.

60 – Hızlı Teslimat Operasyonları için Gerçek Zamanlı Optimizasyon ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Karar Destek Sistemi

Çağrı İyican *Trendyol Go by Uber Eats*

Hızlı teslimat sektörü; müşteriler, satıcılar ve kuryelerden oluşan dinamik bir operasyonel ekosistemi ifade etmektedir. Bu proje kapsamında, teslimat süreçlerini uçtan uca yöneten, makine öğrenmesi tabanlı tahminleme ve yöneylem araştırması odaklı en iyileme (optimizasyon) modellerini entegre eden bir karar destek sistemi kurgulanmıştır. Sistem mimarisi; sipariş hazırlama süresi, sipariş atama süresi ve beklenen teslim süresi tahminleme modellerinden elde edilen çıktıların, en iyileme motoruna girdi olarak aktarıldığı hibrit bir yapı üzerine inşa edilmiştir. Bu kurguda, tahminleme modellerinden gelen dinamik verilerin, en iyileme modellerinin stratejik ve operasyonel metrikleri iyileştirme hedefli aksiyonlarına doğrudan etki etmesi sağlanmıştır. Özellikle rotalama ve atama kararlarında, tahminleme modellerinden gelen anlık değişen koşulların sonuçlara yansıtıldığı reaktif ve esnek bir operasyonel dünya oluşturulmuştur.

61 – Yapay Zekâ Destekli Yangın Acil Durum Yönetim Sistemleri İçin Bütünleşik Değerlendirme Çerçevesi

Arş. Gör. Kübra Okta *Ege Üniversitesi*
Doç. Dr. Murat Oturakçı *İzmir Bakırçay Üniversitesi*

Doğal afetler, tahmin edilme güçlükleri ve barındırdıkları çok boyutlu belirsizlikler nedeniyle yönetilmesi güç, karmaşık problemlerdir. Bu belirsizliklerin en yoğun hissedildiği afet türlerinden biri olan yangın, ekosistemi her yıl ciddi tahribata uğratmaktadır. Yangın felaketlerinin yönetiminde, yapay zekâ (AI) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı stratejik çözümler giderek kritik bir önem kazanmaktadır. Müdahale sürecinde her saniyenin hayati değer taşıdığı göz önüne alındığında, sistemi bütüncül olarak destekleyen IoT tabanlı akıllı teknolojilere duyulan ihtiyaç artmaktadır. Yangın yönetiminde karşılaşılan temel zorluklar; erken tespit noktasında karar verme sistemlerinin karmaşıklığı ve kısıtlı zaman altında en uygun stratejinin doğru anda uygulanmasına dair operasyonel belirsizliklerdir. Bu çalışmanın temel amacı, akıllı yangın acil durum yönetimi yaşam döngüsünü tamamlayan kritik bileşenleri bütüncül bir perspektifle ortaya koymaktır. Bu çalışma kapsamında, yangın yönetiminde akıllı teknolojilerin uygulama biçimlerini ve etkinliğini belirlemek amacıyla sistematik literatür taraması (SLR) gerçekleştirilmiştir. Ele alınan çalışmalar tematik kümelere ayrılarak, her bir kümenin içsel dinamikleri ve diğer kümelerle olan tematik ve metodolojik etkileşimleri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, literatürdeki gerçek zamanlı tespit ve müdahale aşamalarında IoT altyapıları, derin öğrenme ve bilgisayar görme sistemlerine olan baskın eğilimleri ve mevcut araştırma boşluklarını ortaya koymaktadır. Bu değerlendirme çerçevesi, akıllı sistemlerin yangın yönetimi yaşam döngüsüne sağladığı katkıları analiz ederken; döngünün bütünleşik bir yapıya kavuşması için gereken stratejik karar destek entegrasyonu, çok kaynaklı veri füzyonu yetkinliği ve proaktif dirençlilik planlaması gibi kritik teknolojik gereksinimlere ve potansiyel iyileştirme alanlarına işaret etmektedir.

63 – Çukurova Bölgesinin Tarımsal Üretim Sistemlerinin İklim Değişikliğine Uyum Stratejileri Açısından Değerlendirilmesi

Mehmet Işık *Çukurova Üniversitesi*
Melek Işık *Çukurova Üniversitesi*

Çukurova Bölgesi'nde giderek artan yoğun girdili tarım uygulamaları, toprakta depolanan karbonun atmosfere salınmasına yol açarak önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu durum, özellikle tarıma dayalı ekonomiye sahip bölgelerde sosyal ve ekonomik riskleri de beraberinde getirmektedir. Türkiye'nin önde gelen tarım havzalarından biri olan Çukurova, artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimi ve kuraklık gibi iklim değişikliği etkilerinden giderek daha fazla etkilenmektedir. Bu çalışmada, bölgeye özgü iklim değişikliğine uyum stratejileri çok kriterli karar verme yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilmiştir. Farklı tarımsal üretim sistemleri karşılaştırılarak, mevcut üretim yapısının iklim değişikliğine karşı daha dirençli hale getirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulguların, Çukurova Bölgesi'nde sürdürülebilir ve iklim dostu tarım politikalarının geliştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

64 – Ambalaj Sektöründe Makine Öğrenmesi Tabanlı Sipariş Tahmini ve Belirsizlik Azaltma Yaklaşımı

Azra İpek Dede *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Elnur Eren *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Damla Yağlı *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Dilara Gökçe Karcıoğlu *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Yunus Ağcabay *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Duygun Fatih Demirel *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Ambalaj sektöründe sipariş miktarlarının doğru tahmin edilmesi; üretim planlama, hammadde tedariki, kapasite kullanımı ve müşteri hizmet seviyesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, bir ambalaj firmasının 2018-2025 dönemine ait günlük sipariş verileri kullanılarak üç stratejik ürün grubu için Ocak 2026 sipariş miktarlarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. İncelenen ürün grupları farklı talep karakteristikleri göstermektedir: birinci ürün grubunda mevsimsellik, hafta içi-hafta sonu farklılığı ve uç değerler öne çıkarken; ikinci ve üçüncü ürün gruplarında kesikli ve düzensiz talep yapısı nedeniyle sıfır siparişli günlerin yüksekliği tahmin sürecini zorlaştırmaktadır. Bunları göz önünde bulundurarak bu çalışmada Prophet, ARIMA, SARIMA, Croston, Random Forest ve XGBoost olmak üzere altı farklı tahmin yaklaşımı uygulanmış; modeller MAE, RMSE, MAPE ve tolerans-doğruluk temelli AUC ölçütleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca başlangıç parametreleri ve temel model ayarlarının tahmin başarısı üzerindeki etkisini değerlendirmek için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bulgular, ürün gruplarının talep yapısına bağlı olarak model performanslarının farklılaştığını göstermektedir. Bununla birlikte genel performans karşılaştırmasında XGBoost'un özellikle hata metrikleri ve tolerans-doğruluk eğrileri açısından en güçlü sonuçları verdiği; SARIMA'nın ise bazı ürün gruplarında Ocak 2026 nokta tahmininde rekabetçi sonuçlar ürettiği görülmüştür. Çalışmanın özgünlüğü, farklı talep tiplerine sahip ürün gruplarında klasik zaman serisi ve makine öğrenmesi yaklaşımlarını aynı veri seti üzerinde çok ölçütlü biçimde karşılaştırması ve parametre duyarlılığını dikkate almasıdır. Elde edilen sonuçlar, ambalaj firmalarında daha güvenilir talep tahminleriyle üretim çizelgeleme, stok yönetimi ve kapasite planlama kararlarının daha proaktif biçimde desteklenebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sipariş tahmini; makine öğrenmesi; talep belirsizliği; zaman serisi analizi; ambalaj sektörü

65 – Eğitim Hizmetlerinde Selenium Tabanlı Randevu Otomasyonu ve Merkezi Kurs Takip Platformu Tasarımı

Ceyda Sebile Kahveci *Sakarya Üniversitesi*
Bilge Duran *Sakarya Üniversitesi*
Meryem Nur Morgül Tumbaz *Sakarya Üniversitesi*

Yaygın eğitim hizmetlerinde; mesleki eğitim kursları, seminer programları ve randevu tabanlı eğitim süreçleri, dinamik ve anlık olarak değişen yüksek bir başvuru/kontenjan trafiğine sahiptir. Geleneksel yöntemlerle, harici platformların web arayüzleri üzerinden manuel olarak yürütülen kontenjan kontrolü, kayıt takibi ve iptal edilen kontenjanların yeniden değerlendirilmesi gibi operasyonel süreçler ciddi zaman kayıplarına ve insan kaynaklı senkronizasyon hatalarına neden olmaktadır. Ayrıca, kullanıcıların ve yöneticilerin güncel durumları yakalayabilmek adına farklı platformları ayrı ayrı ve sürekli manuel olarak takip etmek zorunda kalması, kontenjanların boş kalma oranını artırmakta, kayıt karmaşası yaratmakta ve zaman yönetimi süreçlerinde büyük bir verimsizlik doğurmaktadır. Bu çalışma kapsamında, söz konusu operasyonel darboğazları ortadan kaldırmak amacıyla; açık kaynak kodlu kurs merkezinin web altyapısına bağlanarak randevu alma ve iptal süreçlerini otonom şekilde gerçekleştiren, süreçleri uçtan uca otomatize eden, veri tutarlılığını ve zaman yönetimini optimize eden Full-Stack tabanlı ve bütünleşik bir "Merkezi Kurs Takip ve Randevu Otomasyon Platformu" geliştirilmiştir.

Sistem, yazılım mühendisliği pratikleri ile operasyonel süreç optimizasyonunu harmanlayan katmanlı ve modüler bir mimari üzerine inşa edilmiştir. Sistem omurgası Python dili ve Flask framework'ü kullanılarak kurgulanmıştır. Harici heterojen web altyapılarındaki anlık kurs verilerinin ve kontenjan durumlarının insan müdahalesi olmaksızın taranması, asenkron "threading.Thread" yapısı altında çalışan tarayıcı tabanlı Selenium WebDriver kütüphanesiyle otonom hale getirilmiştir. Kalıcı veri saklama, ilişkisel modelleme ve sorgu optimizasyonu süreçleri MySQL üzerinde flask-mysqldb sürücüsüyle yapılandırılmıştır. Yoğun veri yükü altında arama ve listeleme performansını kararlı tutmak için veritabanı indeksleme stratejileri uygulanmıştır. Kullanıcı ev adreslerinin koordinat dönüşümleri geocode sunucu tarafında Geopy (Nominatim) servisiyle çözümlenirken; istemci tarafında Leaflet.js ve Open Source Routing Machine (OSRM) API entegrasyonuyla kurs merkezleri ile ev arasındaki canlı sürüş rotası, mesafe ve süre hesaplamaları dinamik olarak haritalandırılmıştır.

Kullanıcı kimlik doğrulamaları Bcrypt kriptografik hashleme algoritması ile zırhlandırılmıştır. SQL Enjeksiyonu risklerine karşı parametreli sorgu yapıları standartlaştırılmıştır. Kullanıcıların harici platform şifreleri veritabanına veya çerezlere asla kaydedilmemekte, yalnızca arka plan thread ömrü boyunca geçici bir bellek taşıyıcıda (pw_holder) tutulup iş bitiminde RAM'den tamamen kazınarak Garbage Collector'a teslim edilmektedir.

Projenin temel özgünlüğü; piyasadaki hazır paket yazılımların harici heterojen web yapılarıyla otonom entegrasyon yeteneğinin bulunmaması problemini, tarayıcı otomasyonunu Selenium bir arka plan iş parçacığı olarak Flask ekosistemine entegre ederek aşmasıdır. Ayrıca şifre güvenliği politikasında kurgulanan "Ayrıştırılmış Çift Giriş Kapısı" (Klasik Giriş / Geçici OTP Giriş) ile tek kullanımlık kod invalidasyonu mantıksal açıkları tamamen kapatmaktadır. Harici sistemlerden gelen karmaşık metinsel eğitim bilgileri istemci tarafında geliştirilen JavaScript regex algoritmalarıyla ayıklanarak bağımsız takvim slotlarına dönüştürülür ve asenkron Google Calendar API deep-link standartlarına haritalandırılır.

Bot tespiti riskini ve harici sunucuya DDoS yükü bindirme ihtimalini ortadan kaldırmak için, .env dosyasında tanımlanan taban süre üzerine random.uniform(20.0, 120.0) saniye ekleyen Jitter Algoritması otonom döngüye entegre edilmiştir. Otomasyon motoru kontenjanı yakalayıp kaydı tamamladığında, Smtplib ve Gmail SMTP uygulama şifresi altyapısı kullanılarak kullanıcılara anlık olarak ekran görüntüsü ekli bildirim e-postaları iletilir. Kullanıcı panelinde Vanilla JS, Fetch API ve @media print CSS3 katmanı kullanılarak, sayfa yenilenmeden filtrelenmiş verileri dikey A4 formatına tam optimize dinamik PDF raporları halinde indirme imkanı sunulmuştur. Manuel takip süreçlerinde kullanıcıların saatlerce ekran başında periyodik kontrol yapması gerekirken; otonom motor, arka planda 4 saate kadar kesintisiz izleme yaparak kontenjan açıldığı anda saniye mertebesinde başvuru

gerçekleştirmekte ve kaynak/kontenjan israfını sıfıra indirmektedir. İndeksleme ve optimize edilmiş SQL birleştirmeleri (JOIN) sayesinde, 1000'in üzerinde gerçek veri seti içeren tablolarda sorgu yanıt süreleri 0.02 – 0.15 saniye aralığına düşürülmüştür. Platform; arayüze gömülü ekran içi sayısal keypad, büyük dokunma hedefleri ve serbest metin girişini elimine eden buton-odaklı akıllı FAQ asistanı sayesinde, düşük dijital okuryazarlık seviyesine sahip demografik kesimlerin de sistemi pürüzsüz kullanmasını sağlayarak dijital dönüşüme kapsayıcı bir katkı sunmaktadır.

66 – Sürekli Alanda Taşıma Maliyeti ve Maksimum İstenmeyen Etkiyi Gözeten Yarı-İstenen Tesis Yerleşim-Rotalama Problemi

Fatma Ersoy Duran *Tarsus Üniversitesi*
Diclehan Tezcaner Öztürk *Hacettepe Üniversitesi*

Bu çalışmada sürekli alanda istenen ve istenmeyen etkilerin birlikte gözetildiği iki amaçlı bir yarı-istenen tesis yerleşim-rotalama problemi ele alınmaktadır. Yerleşimi planlanan tesisin hizmet verdiği talep noktaları bulunmaktadır ve bu noktalardan tesise malzeme taşınmaktadır. Aynı zamanda, bu talep noktaları, tesisten dairesel olarak yayılan bir istenmeyen etkiye maruz kalmaktadır. Tesisin yeri seçilirken hem rotalama maliyeti, hem de tesisin talep noktalarında oluşturduğu maksimum istenmeyen etki minimize edilmek istenmektedir. İlk amaç fonksiyonu, tesis ile talep noktaları arasındaki toplam araç rotalama maliyetini minimize etmektedir. Rotalar oluşturulurken ardışık iki nokta arası doğrusal mesafe kullanılacağı varsayılmıştır. İstenmeyen etki hesabında ise tesisin talep noktaları üzerinde belli bir mesafeye kadar sabit bir istenmeyen etki oluşturduğu ve bu mesafeden sonra istenmeyen etkinin doğrusal bir şekilde azalarak yok olduğu varsayılmıştır.

Yerleşim-rotalama problemi, yerleşim yeri ve araç rotalarına birlikte karar veren bir NP-zor problemdir. Bu çalışmada, problemin çözümü için hem yerleşim yerine hem de araç rotalarına aynı anda karar veren çok amaçlı genetik algoritmalardan Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) kullanılmıştır. Tesisin yerleşim yeri, algoritma içinde karar değişkeni olarak tutulurken araçların rotaları Adaptive Learning Neighborhood Search (ALNS) yöntemi ile bulunmuştur. Geliştirilen çözüm yöntemi farklı boyutlara sahip dört veri seti üzerinde test edilmiş ve kısa zamanda etkin çözümlere yakın çözümlere ulaşıldığı görülmüştür.

67 – Havayolu Hizmet Alanlarının Önceliklendirilmesi için Makine Öğrenmesi Türevli Kriterlere Dayalı Bütünleşik Bir Entropi–TOPSIS Modeli

Canan Hazal Akarsu *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Tarık Küçükdeniz *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Havayolu işletmelerinde sınırlı yatırım kaynaklarının hangi hizmet alanlarına yönlendirileceği, müşteri memnuniyeti yönetiminin merkezî karar problemlerinden biridir. Bu çalışma, hizmet alanlarının yatırım önceliği bakımından sıralanması amacıyla makine öğrenmesi temelli açıklanabilir yapay zekâ (XAI), davranışsal ve bilgi-teorik kaynaklardan elde edilen önem ölçütlerini çok kriterli karar verme yöntemleriyle bütünleştiren hibrit bir karar destek modeli önermektedir. Önerilen model, kamuya açık ABD havayolu yolcu memnuniyeti veri seti üzerinde uygulanmıştır (n = 129.880). Karar probleminin alternatifleri olarak 14 hizmet alanı tanımlanmıştır: Uçak içi Wi-Fi hizmeti, Çevrim içi boarding hizmeti, Koltuk konforu, Uçak içi eğlence, Bacak mesafesi, Bagaj işlemleri, Temizlik, Check-in hizmeti, Kabin hizmeti, Uçuş esnası hizmet, Yiyecek ve içecek, Çevrim içi rezervasyon kolaylığı, Kapı konumu ve Kalkış/varış zamanı uygunluğu. İlk aşamada bir Rastgele Orman sınıflandırıcısı eğitilmiş (test doğruluğu = %95,57; ROC eğrisi altındaki alan = 0,992) ve her hizmet alanı için birbirini tamamlayan, üç farklı epistemik kaynaktan türetilmiş beş önem ölçütü kriter olarak hesaplanmıştır: açıklanabilir yapay zekâ temelli ölçütler [(C1) permütasyon önemi ve (C2) SHAP ortalama mutlak değeri]; davranışsal/deskriptif ölçütler [(C3) memnun ve memnun olmayan yolcular arasındaki ortalama puan farkı (memnuniyet açığı) ve (C4) iyileştirme potansiyeli]; ve bilgi-teorik ölçüt [(C5) hizmet puanı ile memnuniyet hedefi arasındaki karşılıklı bilgi]. Söz konusu beş ölçüt; tahmin gücü, model açıklanabilirliği, davranışsal farklılaşma, operasyonel boşluk ve istatistiksel bağımlılık olmak üzere beş bilgi katmanını tek bir karar matrisinde birleştirmektedir. Kriter ağırlıkları, uzman yargısından bağımsız kalmak amacıyla Shannon entropisi yöntemiyle hesaplanmış; hizmet alanları TOPSIS ile sıralanmıştır. Bulgular, “Uçak içi Wi-Fi hizmeti” (yakınlık katsayısı CC = 0,871) ve “Çevrim içi boarding hizmeti” (CC = 0,566) hizmet alanlarının yatırım önceliği bakımından açık biçimde ayrışarak ilk iki sırada konumlandığını; bunları “Uçak içi eğlence” (CC = 0,155), “Koltuk konforu” (0,139) ve “Bacak mesafesi” (0,121) alanlarının izlediğini göstermektedir. “Kalkış/varış zamanı uygunluğu” (0,002) ve “Kapı konumu” (0,016) en düşük öncelikli alanlar olarak belirlenmiştir. Sunulan model; havayolu yöneticilerine kıt yatırım kaynaklarını yolcu memnuniyeti üzerinde en yüksek marjinal etkiyi yaratacak hizmet alanlarına yönlendirmeleri için sübjektif yargıdan bağımsız, yeniden üretilebilir ve yorumlanabilir bir karar destek çerçevesi sunmakta; sağlık, perakende ve telekomünikasyon gibi diğer hizmet sektörlerine doğrudan genelleştirilebilir nitelik taşımaktadır.

68 – E-Ticaret Platformlarında Kişiselleştirilmiş Benzer Ürün Önerisi için Yeniden Sıralama Yaklaşımı

Sezin Biner *Trendyol/Özyeğin Üniversitesi*
Milad Elyasi *Özyeğin Üniversitesi*
Dilek Günneç *Özyeğin Üniversitesi*

E-ticaret platformlarında benzer ürün öneri sistemleri, kullanıcıların inceledikleri referans ürüne yapısal ve işlevsel alternatifler sunarak keşif sürecini kolaylaştırmaktadır. Ancak mevcut yaklaşımlar büyük ölçüde ürünler arası global benzerliğe dayanmakta ve her kullanıcıya aynı referans ürün için ortak sonuçlar sunmaktadır. Bu durum, marka tercihi, fiyat hassasiyeti ve geçmiş etkileşimler bakımından farklılık gösteren heterojen kullanıcı kitlelerinde öneri kalitesini sınırlandırmaktadır. Bu çalışmada, gerçek dünya sistem kısıtları dikkate alınarak, kişiselleştirilmiş benzer ürün öneri problemi sabit bir aday kümesi altında kullanıcıya bağlı bir "yeniden sıralama" (re-ranking) problemi olarak ele alınmaktadır. Yöntem kapsamında kullanıcı davranışlarını ve ürün özelliklerini entegre eden, tıklama odaklı keşif tercihlerini ve satın alma niyetini temsil eden iki ayrı sıralama modeli geliştirilmiştir. Yaklaşım, kullanıcı ilgisi ile ürün benzerliği arasında bir denge kurarak önerilerin anlamsal yakınlığını korumayı amaçlamaktadır. Önerilen modelin performansı, büyük ölçekli gerçek dünya verileri üzerinde çevrimdışı metrikler ve canlı A/B testleri ile değerlendirilmektedir. Çalışma kapsamında analizler ve test süreçleri halen devam etmekle birlikte, mevcut sonuçlar yöntemin gerçek sistemlerdeki etkinliğine dair güçlü bir temel sunmaktadır.

69 – Ortalama Uçuş Süresi Dikkate Alınarak Çok Amaçlı Kuyruk Atama Problemi

Çiya Aydoğan *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*
Sinan Gürel *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*

Kiralık uçakların ortalama uçuş süreleri, kira sözleşmelerinde belirtilen hedef değerlerden sapması, havayolu şirketleri için ek maliyetlere yol açmaktadır. Ayrıca, uçak motor bakım maliyetleri doğrudan ortalama uçuş süresinden etkilenmekte olup, bu değerin kontrolü operasyonel açıdan kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, ortalama uçuş süresi, Kuyruk Atama Problemi'ne (KAP) karar verme süreci içerisinde açık biçimde modellenerek entegre edilmiştir. Uçuş operasyon maliyetlerinin minimize edilmesine yönelik geleneksel amaca ek olarak, uçakların ortalama uçuş sürelerinin hedef değerlerinden toplam sapmasını minimize eden iki amaçlı bir KAP modeli önerilmektedir. Önerilen formülasyon, ε-kısıt yöntemi kullanılarak GUROBI çözücüsü ile çözülmüştür. Büyük ölçekli problemleri etkin bir şekilde ele alabilmek amacıyla, baskın olmayan çözüm kümelerini iteratif olarak iyileştiren açgözlü (greedy) ve benzetimli tavlama (simulated annealing) tabanlı algoritmalar geliştirilmiştir. Gerçek verilerinden türetilmiş, bir haftalık planlama ufkunu kapsayan, 100'e kadar uçak ve 2271 uçuş içeren büyük ölçekli test problemleri üzerinde gerçekleştirilen hesaplamalı deneyler, önerilen algoritmaların gerçekçi problem boyutlarını etkin biçimde çözebildiğini göstermektedir. Hesaplama sonuçları, önerilen sezgisel algoritmaların hem çözüm kalitesi hem de hesaplama süresi açısından kesin çözüm yaklaşımına kıyasla daha üstün performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Geliştirilen çok amaçlı çerçeve, karar vericilere farklı hesaplama süresi kısıtları altında operasyon maliyetleri ile ortalama uçuş süresinden sapmaları arasında esnek ödünleşimler sunmaktadır.

70 – Impact of Forecast Accuracy on Revenue Optimization: Evidence from Retail Data

Kerem Karvan *Kadir Has Üniversitesi*
Begüm Dedeoğlu *Kadir Has Üniversitesi*
İrem Binay *Kadir Has Üniversitesi*
Zeynep Bektaş *Kadir Has Üniversitesi*

This study aims to develop a forecast-driven operational optimization framework for retail decision-making. Using historical sales data from a retail company, future sales are predicted and subsequently utilized within a revenue optimization model. The study specifically investigates how different forecasting models influence optimization outcomes. The dataset includes information from a large store of the company, comprising date, daily sales, item, item category, and price variables. In the data preprocessing stage, the dataset is carefully examined and refined through filtering, removing invalid observations, and handling outliers and inconsistencies. Since individual item sales are discrete, with many zero-sales observations, and typically low in magnitude, sales data are aggregated at the item-category level to improve forecasting accuracy. In the forecasting stage, multiple linear regression is used to develop various predictive models. These models are extended by incorporating interaction effects as well as polynomial and logarithmic transformations of explanatory variables. The proposed models are tested and compared based on their explanatory power and predictive performance. In addition to in-sample measures, models are evaluated using out-of-sample performance metrics to ensure generalizability. A subset of well-performing models is then selected based on evaluation criteria such as R-squared and mean squared error. In the second stage, a linear programming revenue optimization model is formulated by incorporating the company's sales operations and policies. The selected forecasting models are then integrated into the optimization framework, enabling a data-driven decision support approach. This integrated structure allows for the analysis of how forecasting accuracy affects optimal decisions, particularly in pricing and sales strategies. The study investigates how variations in forecasting performance may influence optimization outcomes. By linking forecasting and optimization, it provides a structured framework to assess the impact of prediction accuracy on operational decisions under uncertainty. The results are expected to offer insights into how forecast errors propagate into decision models and to highlight the importance of model selection in forecast-driven optimization settings.

72 – Türkiye'deki KOBİ'ler İçin Yalın-Yeşil Performans Göstergelerinin Belirlenmesi: PRISMA ve ÇKKV Temelli Bir Yaklaşım

Hilal Karamancıoğlu *Tarsus Üniversitesi*
Serap Akcan Yetgin *Tarsus Üniversitesi*
Sanem Aydar *Tarsus Üniversitesi*

Küresel rekabet, kaynak kısıtları ve çevresel sürdürülebilirlik baskıları, küçük ve orta ölçekli işletmelerin üretim süreçlerinde hem yalın hem de yeşil yaklaşımları birlikte ele almasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışma, KOBİ'lerde yalın ve yeşil üretim performans göstergelerinin sistematik biçimde belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla çok aşamalı bir metodolojik yaklaşım önermektedir. Araştırmanın ilk aşamasında, Web of Science veri tabanında 1 Ocak 2020–26 Mart 2026 tarihleri arasında yayımlanan çalışmalar PRISMA 2020 yaklaşımı doğrultusunda sistematik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda KOBİ'lerde yalın ve yeşil üretim performans göstergeleriyle ilişkili yayınlar belirlenmiş; dahil etme ve hariç tutma kriterleri doğrultusunda eleme süreci gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmalar içerik analizi ile değerlendirilerek yalın ve yeşil üretim göstergelerinden oluşan kapsamlı bir gösterge havuzu oluşturulmuştur. Araştırmanın ikinci aşamasında, literatürden elde edilen gösterge havuzunun KOBİ'ler açısından uygulanabilirliğini ve önem düzeyini değerlendirmek amacıyla çok kriterli karar verme yaklaşımından yararlanılması planlanmaktadır. Bu aşamada, alanında uzman akademisyenler ve sektör temsilcilerinden alınacak görüşler doğrultusunda göstergelerin önceliklendirilmesi ve kritik göstergelerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Böylece, teorik olarak literatürde öne çıkan göstergelerin uygulama bağlamında değerlendirilmesi sağlanacaktır. Çalışmanın, KOBİ'lerde yalın ve yeşil üretim performansının ölçülmesine yönelik bütünleşik bir gösterge seti sunarak hem akademik literatüre hem de uygulayıcılara katkı sağlaması beklenmektedir.

73 – Farklı Raf Ömürlerine Sahip Bozulabilir Ürünler için Çok-Ürünlü Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi

Egecan Aktan *Özyeğin Üniversitesi*
Mehmet Önal *Özyeğin Üniversitesi*
Duru Balpınarlı *Özyeğin Üniversitesi*
Erhun Kundakcıoğlu *Sabancı Üniversitesi*

Gıda perakendesi, ilaç, süt ürünleri ve kan ürünleri gibi birçok sektör, ürünlerin bozulabilir olması nedeniyle ortak bir planlama zorluğuyla karşılaşır. Bu çalışmada, raf ömrü üretildiği döneme göre değişebilen (genel raf ömürlü) bozulabilir ürünler için, zamana göre değişen ortak bir üretim kapasitesinin paylaşıldığı çok ürünlü kapasiteli parti büyüklüğü belirleme problemini ele alıyoruz. Genel raf ömrü, geç bir dönemde üretilen bir birimin, erken bir dönemde üretilen bir birimden daha önce son kullanma tarihine ulaşabilmesi anlamına gelir. Tüketim, son kullanma tarihi en geç olan birimlerin önce kullanıldığı Last-Expired-First-Out (LEFO) politikasına göre yapılır; bu, müşterilerin raf ömrü daha uzun olan birimleri tercih ettiği perakende ortamlarını yansıtır. Amaç, hiçbir birim son kullanma tarihi geçtikten sonra kullanılmayacak biçimde tüm talebi tam karşılayan ve sabit (hazırlık), değişken üretim ile stok tutma maliyetlerinin toplamını en aza indiren üretim planını bulmaktır.

Problemi önce bir karma tamsayılı programlama (KTP) modeli olarak formüle ediyoruz. Modelde, t döneminde üretilip u döneminde tüketilen miktarı gösteren akış değişkenleri, her dönemdeki hazırlık kararları için ikili değişkenler ve üretim ile tüketim arasındaki bağı gösteren ikili ark değişkenleri yer alır. LEFO politikası, ark değişkenleri üzerinde tanımlanan bir LEFO kullanım kısıtıyla sağlanır; bu kısıt, geç bozulan bir birimin, erken bozulan bir birimin tüketiminden sonra kullanılmasını engeller. Kısıtın yapısı Önal vd. (2015) çalışmasından alınmış ve tek ürünlü kapasitesiz durumdan çok ürünlü kapasiteli duruma genişletilmiştir.

Doğrudan çözümde, KTP modeli raf ömrünün etkin olduğu örneklerde büyük optimallik boşlukları bırakır ve çözücü zamanının neredeyse tamamını alt sınırı iyileştirmeye harcar. Bu nedenle, ölçeklenebilir bir çözüm için Dantzig-Wolfe ayrıştırmasına dayanan bir dal-fiyat algoritması geliştiriyoruz. Kapasite kısıtlarını gevşeterek problemi, her biri tek bir ürünün kapasitesiz parti büyüklüğü alt problemi olan bağımsız parçalara ayırıyoruz. Ana problem, bu tek ürünlü planların (sütunların) dışbükey birleşimini alarak ortak kapasiteyi koordine eder; üretilen her sütun, sıfır-stok ile üretim (Zero-Inventory-Ordering, ZIO) özelliğini sağlayan bir plandır.

Tüketim temelli LEFO tahsis kısıtı, ayrıştırma altında fazla kısıtlayıcıdır ve ana problemin gereksinim duyduğu dışbükey birleşim elde edilemez. Bunu önlemek için ark değişkenini tüketim yerine erişilebilirlik olarak yorumlayan gevşetilmiş bir LEFO kısıtı kullanıyoruz. Gevşetmenin geçerliliği, Önal vd. (2015) tarafından kanıtlanan ZIO özelliğine (Teorem 4.7) dayanır: kapasitesiz tek ürünlü LEFO probleminde en iyi çözüm ZIO özelliğini sağladığından, üretilen her sütun ardışık ZIO bloklarından oluşur ve kendi blokları içinde LEFO koşulunu sağlar. Kapasiteli ana problem ise ZIO'ya uymak zorunda değildir; bu sütunları kesirli biçimde birleştirebilir ve gevşetme tam olarak bunu mümkün kılar. Bu sebeple gevşetilmiş model üzerinde dal-fiyat algoritmasını kuruyoruz. Dallandırma, erişim yorumlu Z ark değişkenleri üzerinde yapılır.

Üst sınırları hızlı iyileştirmek için bir dizi sezgisel yöntem kullanıyoruz. Bu yöntemler, sıkı örneklerde başlangıçta olurlu bir çözüm bulunamadığında devreye girer ve dal-fiyat aramasına erken bir başlangıç üst sınırı sağlar ve ilerleyen kısımlarında da üst sınırı iyileştirmede rol oynarlar.

Yöntemi, 240 test örneği üzerinde 15 dakikalık (900 saniye) zaman sınırı altında değerlendirdik. Dal-fiyat yöntemi, doğrudan çözülen KTP formülasyonuna kıyasla tüm örneklerde daha sıkı alt sınırlar üretmekte ve örneklerin %95,0'inde (240 örneğin 228'inde) daha düşük maliyetli çözümler bulmaktadır; ortalama optimallik boşluğu %48,67'den %13,11'e düşmektedir. Sonuçlar, genel raf ömürleri ve LEFO politikası altındaki çok ürünlü kapasiteli parti büyüklüğü belirleme problemleri için ayrıştırma temelli yaklaşımın etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bozulabilir envanter, üretim planlaması, eniyileme, ayrıştırma algoritmaları, parti büyüklüğü belirleme.

74 – Uluslararası Lojistikte Navlun Fiyat Dalgalanmalarının Operasyonel Karar Verme Süreçlerine Etkisi

Damla Gültekin *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Hatice Nida Civan *İstanbul Beykent Üniversitesi*

Uluslararası lojistik süreçlerinde navlun maliyetleri, ihracatçı firmaların operasyonel karar verme sürecini doğrudan etkileyen temel unsurlardan biridir. Fiyatların dönemsel olarak değişkenlik göstermesi, maliyet planlamasını ve sevkiyat yönetimini ciddi bir belirsizliğe sürüklemektedir. Lojistik kararların doğru şekilde yönetilmesi; teslim süreleri, müşteri memnuniyeti ve tedarik zinciri sürekliliği açısından kritik bir önem taşımaktadır. Bu çalışma, söz konusu belirsizlikler altında işletmelerin, değişken navlun fiyatlandırmaları karşısında daha sistematik ve veri temelli kararlar alabilmesine katkı sağlanmasını hedeflemektedir. Navlun fiyat dalgalanmalarının karar verme süreçleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımlarından TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Navlun bedeli düşük olan bir alternatif, daha uzun transit süreye, daha yüksek operasyonel riske veya daha düşük hizmet seviyesine sahip olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada karar süreci; maliyet, transit süresi, risk seviyesi-güvenilirlik ve hizmet düzeyi kriterleri üzerinden ele alınmıştır. TOPSIS yönteminin tercih edilme nedeni, farklı alternatifleri birden fazla kriter açısından karşılaştırmaya ve operasyonel açıdan en dengeli seçeneği, aksi halde en uygun ikinci alternatifi belirlemeye imkân sağlamasıdır. Bu yöntem sayesinde taşıma senaryoları işletmelerin gerçek karar verme koşullarına daha yakın bir çerçevede değerlendirilmiştir. Çalışma sürecinin ilk aşamasında uluslararası lojistik, navlun fiyatlandırma dinamikleri ve karar verme yöntemlerine ilişkin literatür incelemesi yapılmış ve çalışmanın teorik temeli oluşturulmuştur. İkinci aşamada, ihracat faaliyetleri gösteren bir gıda işletmesinin farklı koşullar altındaki deniz yolu navlun verileri incelenmiştir. Üçüncü aşamada, problemin yapısı netleştirilmiş ve değerlendirmede kullanılacak kriterler (maliyet, transit süresi, risk seviyesi ve hizmet düzeyi) tanımlanmıştır. Söz konusu kriterlerin işletmenin lojistik performansı üzerindeki etkisi dikkate alınarak karar modeli oluşturulmuştur. Son aşamada ise belirlenen kriterler ile karar matrisi oluşturulmuş ve alternatifler TOPSIS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları, işletmenin farklı koşullar altında hangi taşıma alternatifini tercih etmesi gerektiği açısından yorumlanmış ve operasyonel karar sürecine yönelik çıkarımlarda bulunulmuştur. Bu süreç sonucunda çalışma, lojistik karar süreçlerinde tek boyutlu maliyet yaklaşımının; jeopolitik gelişmeler, bölgesel riskler, transit süreleri ve hizmet güvenilirliği gibi güncel dinamikler karşısında yetersiz kaldığını ve daha bütüncül bir değerlendirme yapılması gerektiğini göstermektedir. Sektördeki benzer yapıya sahip işletmeler için de uygulanabilir bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

76 – Yerleşke Ölçekli Bütünleşik Enerji Sistemlerinde Temiz Enerji Dönüşümü Planlaması için Çok Aşamalı Rassal Programlama ve Benders Ayrıştırması

Ahmet Emir Şener *Boğaziçi Üniversitesi*
Burak Kocuk *Sabancı Üniversitesi*
Tuğçe Yüksel *Sabancı Üniversitesi*

Küresel net sıfır ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, büyük ölçekli ve yüksek enerji talebine sahip tesislerin karbonsuzlaştırılması giderek daha kritik bir rol oynamaktadır. Bu dönüşümün temel zorluklarından biri, ekonomik kısıtlar ve emisyon hedefleriyle uyumlu uzun vadeli temiz enerji geçişi kararları alınırken, yüksek zaman çözünürlüğüne sahip enerji talebinin kesintisiz biçimde karşılanmasıdır. Teknoloji maliyetleri ve performans gelişimlerindeki uzun dönemli belirsizlikler stratejik yatırım kararlarını etkilerken; talep, yenilenebilir enerji üretimi ve teknoloji performansındaki kısa vadeli belirsizlikler operasyonel enerji yönetimini şekillendirmektedir. Bu nedenle, yerleşke ölçeğindeki temiz enerji dönüşüm planlaması, stratejik belirsizlikleri ve yüksek çözünürlüklü operasyonel gereksinimleri birlikte değerlendiren bütünleşik bir karar verme yapısı gerektirmektedir.

Bu çalışmada, yerleşke ölçeğinde temiz enerji dönüşümü için çok aşamalı rassal programlama temelli bir eniyileme çerçevesi geliştirilmektedir. Önerilen model, elektrik ve ısı sistemlerini entegre biçimde ele almakta; enerji üretimi, depolama ve ısı transfer teknolojilerine ilişkin yatırım ve işletim kararlarını eşzamanlı olarak eniyilemeyi hedeflemektedir. Güneş panelleri, rüzgâr türbinleri, bataryalar, parabolik oluk sistemleri, ısı pompaları ve sıcak su tankları; yatırım ve işletim maliyetleri, bütçe ve alan kısıtları, emisyon sınırları, teknoloji ömürleri ve performans kayıpları dikkate alınarak modellenmiştir. Teknoloji maliyetleri ve verimliliklerindeki uzun dönemli belirsizlikler senaryo ağacı yapısı üzerinden modele dahil edilirken; enerji talebi, yenilenebilir üretim ve ısı pompası performansı gibi operasyonel belirsizlikler, zaman serisi kümelenmesiyle oluşturulan rassal profiller aracılığıyla çerçeveye dahil edilmiştir. Ayrıca model, operasyonel belirsizliklere karşı daha dayanıklı yatırım stratejileri geliştirebilmek amacıyla gürbüz eniyileme bileşenleriyle genişletilmiş; elde edilen çözümlerin performansı, rassal operasyonel zaman serileri altında Monte Carlo benzetimleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çok aşamalı rassal programlama, bu problem için doğal bir modelleme yapısı sunsa da yüksek zaman çözünürlüğü ve artan senaryo sayısı, problemin doğrudan çözümünü hesaplama açısından zorlaştırmaktadır. Bu nedenle çalışmada, problem yapısına özel bir Benders ayrıştırma algoritması geliştirilmiştir. Önerilen yöntemde, öngörülememe kısıtları operasyonel değişkenler için gevşetilirken yatırım kararları için korunmaktadır. Böylece yatırım kararlarının senaryo ağacı üzerindeki tutarlılığı sürdürülmekte; operasyonel alt problemler ise senaryo bazında ayrıştırılarak çözülebilmektedir. Operasyonel düzeyde gerçekleştirilen gevşetmeler, önerilen algoritmanın son aşamasında uygulanan düzeltme adımıyla giderilmekte; bu yapı, çözüm performansını artırırken olurluluk ve amaç fonksiyonu değerlerinin kontrol altında tutulmasını sağlamaktadır.

Çalışmanın temel yöntemsel katkılarından bir diğeri ise operasyonel kısıtları yatırım karar değişkenlerinin uzayına yansıtan, probleme özgü geçerli eşitsizliklerin elde edilmesidir. Bu eşitsizlikler, ana problemi güçlendirerek Benders algoritmasının daha hızlı biçimde yakınsamasına katkı sağlamaktadır. Tüm eşitsizliklerin modele başlangıçta eklenmesi pratik olmadığından, her Benders adımında yalnızca ihlal edilen eşitsizlikler belirlenmekte; bu ayrıştırma süreci, en küçük toplamlı bitişik alt dizi probleminin çözüm yöntemi kullanılarak doğrusal zamanda gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak bu çalışma, yerleşke ölçeğinde temiz enerji dönüşümü kapsamında uzun vadeli stratejik yatırım belirsizliklerini ve kısa vadeli operasyonel belirsizlikleri birlikte değerlendiren, hesaplama açısından uygulanabilir ve yöntemsel olarak özgün bir eniyileme çerçevesi sunmaktadır.

77 – Üretim Proses Maliyetinin Gerçek Zamanlı Optimizasyonu için Bir Dijital İkiz Çerçeve Yapısı

Uğur Uresin *Ford Otosan*

Bu proje, CNC tabanlı delik delme operasyonlarında üretim proses maliyetini gerçek zamanlı minimize etmek amacıyla dijital ikiz (Digital Twin) teknolojisi ve veri odaklı optimizasyon yaklaşımlarını birleştiren bütünleşik bir çerçeve sunmaktadır. Artan maliyet baskıları ve enerji verimliliği gereksinimleri altında, statik parametreler yerine karar değişkenlerinin (iş mili hızı ve ilerleme hızı) dinamik yönetildiği bu çalışma, süreci yöneylem araştırması perspektifiyle kısıtlı bir karar ve optimizasyon problemi olarak modellemektedir.

Proje kapsamında geliştirilen çerçeve üç temel katmandan oluşmaktadır: takım aşınması, chatter riski ve maliyet bileşenlerini tahmin eden LSTM tabanlı tahmin katmanı; maliyetleri minimize eden parametreleri belirlemek için Q-Learning ve SARSA algoritmalarını kullanan pekiştirmeli öğrenme tabanlı optimizasyon katmanı ve farklı üretim senaryolarını analiz eden Monte Carlo tabanlı simülasyon katmanı.

Yaklaşık dört yılda tamamlanan bu proje, Koç Üniversitesi MARC Lab iş birliğiyle bir otomotiv üreticisinin fren diski hattında devreye alınmıştır. Endüstriyel uygulama sonucunda takım kullanımında %30'a varan tasarruf sağlanmış ve potansiyel kalite problemleri önceden tespit edilmiştir. Simülasyon ortamındaki testler ise 100, 200 ve 500 günlük üretim senaryolarında maliyetlerde %6,64 ile %6,8 arasında iyileşme potansiyeli göstermiştir. Sonuç olarak bu proje, üretim sistemlerinin veri odaklı dönüşümü için ölçülebilir çıktılar sunan, yenilikçi ve endüstriyel olarak kanıtlanmış güçlü bir altyapı oluşturmaktadır.

78 – Kablosuz Sensör Ağlarında Enerji Dengeli ve Kapsama Tabanlı Sensör Yerleşim Optimizasyonu

Vuslat Erat *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Gül Çulhan Kumcu *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Ayşegül Altın Kayhan *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*

Kablosuz sensör ağları; çevresel izleme, akıllı şehirler, askeri sistemler ve endüstriyel otomasyon gibi birçok alanda kritik rol oynamaktadır. Bu ağların etkinliği, sensörlerin doğru yerleştirilmesine bağlıdır. Sensör yerleşimi, kapsama ile enerji tüketimi arasında denge kurmayı gerektiren zorlu bir optimizasyon problemidir. Bu çalışmada, kapsama oranını belirli bir seviyenin üzerinde tutarken enerji tüketimini dengeleyen bir yaklaşım önerilmektedir.

Önerilen yaklaşımda sensörler yalnızca kapsama sağlamakla kalmayıp, üretilen veriyi baz istasyonuna iletmek için çok aşamalı bir iletişim yapısı oluşturur. Bu sayede veri iletimi garanti altına alınırken enerji tüketimi daha gerçekçi bir biçimde modellenmektedir. Ayrıca hücre tabanlı kapsama ile alan ayrık hale getirilmiş, komşu hücre ilişkileri modele dahil edilerek kapsama sürekliliği sağlanmıştır.

Çalışmada sensörlerin algılama, veri iletimi ve veri alımı sırasında harcadıkları enerji birlikte ele alınmış ve sensörler arasındaki enerji dengesizliği minimize edilmeye çalışılmıştır. Böylece ağın belirli bölgelerinde erken tükenme riski azaltılarak daha dengeli ve uzun ömürlü bir yapı elde edilmiştir. Farklı ölçeklerde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, önerilen yaklaşımın hem kapsama hem de enerji verimliliği açısından etkili sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Kablosuz sensör ağları, fiziksel ortamdan veri toplayarak bu veriyi merkezi bir yapıya ileten dağıtık sistemlerdir. Düşük maliyetli ve enerji kısıtlı sensör düğümlerinden oluşan bu ağlarda, sensörlerin yerleşimi ve kullanımı ağın ömrünü doğrudan etkilemektedir. Sensör yerleşimi problemi, bir alanın etkin biçimde izlenmesi için sensörlerin konumlarını belirlemeyi amaçlar ve genellikle kapsama problemi olarak ele alınır. Ancak kapsama tek başına yeterli değildir; üretilen verinin baz istasyonuna ulaştırılması da gerekir. Bu durum, probleme ağ bağlantısı ve veri iletimi gibi ek boyutlar kazandırır.

Sensör yerleşimi probleminin temel zorluklarından biri, kapsama ile enerji tüketimi arasındaki dengedir. Daha fazla kapsama için daha fazla sensörün aktif olması gerekir; ancak bu durum enerji tüketimini artırarak ağ ömrünü kısaltır. Buna karşılık, daha az sensör kullanımı enerji tasarrufu sağlasa da kapsama kalitesini düşürür. Bu nedenle iki hedef arasında denge kurulmalıdır. Bu çalışmada problem yalnızca kapsama açısından değil, aynı zamanda enerji dengesi ve ağ bağlantısı açısından ele alınmaktadır. Sensör verisinin baz istasyonuna ulaşması zorunlu tutulmakta ve bu süreçteki enerji tüketimi ayrıntılı biçimde modellenmektedir. Ayrıca, daha dengeli bir kapsama için komşu hücre ilişkileri de dikkate alınmaktadır.

Bu çalışmada, hedef alan küçük hücrelere bölünerek izleme yapılacak alt bölgeler tanımlanmakta ve sensörler bu hücreleri kapsayacak şekilde köşe noktalara yerleştirilmektedir. Bir hücrenin kapsanmış sayılabilmesi için en az bir sensör tarafından izlenmesi gerekirken, toplam kapsama oranının da belirli bir eşiğin üzerinde olması zorunludur; ayrıca kapsamanın belirli bölgelerde yoğunlaşmaması, dengeli dağılması sağlanmaktadır. Sensörler yalnızca kapsama sağlamakla kalmayıp, ürettikleri veriyi baz istasyonuna iletmekle de yükümlüdür. Doğrudan erişimin mümkün olmadığı durumlarda ise sensörler arasında çok aşamalı iletişim yapısı kurularak veri iletimi gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada istenen minimum sayıda sensör kullanarak bağlı, enerji tüketimi dengeli ve hedef bölgenin istenilen seviyede kapsandığı bir kablosuz ağ tasarlayacak şekilde sensör yerleşimlerinin belirlenmesidir.

Önerilen yaklaşım, sensör yerleşimi problemini çok boyutlu bir optimizasyon problemi olarak ele almaktadır. Bu yaklaşımda sensörlerin aday konuma yerleştirilmesine karar verilmekte ve yalnızca gerekli sensörlerin kullanılması sağlanmaktadır.

Modelde sensörlerin ürettiği veri, ağ içerisinde taşınan bir akış olarak ele alınmaktadır. Her sensörün ürettiği veri ayrı ayrı takip edilmekte ve bu verinin baz istasyonuna nasıl ulaştığı belirlenmektedir. Bu sayede sensörlerin veri iletim sürecindeki rolleri açık bir şekilde ortaya konulmaktadır.

Enerji tüketimi, sensörlerin gerçekleştirdiği üç temel işlev olan algılama, veri iletimi ve veri alımı dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Bu üç bileşenin toplamı sensörün enerji tüketimini belirlemektedir. Sensörlerin başlangıç enerjileri sınırlı olduğu için bu tüketimin belirli bir seviyeyi aşmaması sağlanmaktadır.

Ayrıca modelde enerji dengesi sensörler arasındaki maksimum ve minimum enerji tüketimi arasındaki fark minimize edilerek sağlanmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmanın önemli katkılarından biri, komşu hücre kapsama yaklaşımının modele dahil edilmesidir. Bu yaklaşımda yalnızca bir hücrenin kapsanması yeterli görülmeyip, çevresindeki hücrelerin de belirli oranda kapsanması istenir. Böylece kapsama boşlukları azaltılarak daha homojen ve dengeli bir yapı elde edilir; bu da kapsama sürekliliğini ve ağın genel performansını iyileştirir.

Sonuç olarak bu çalışmada, kablosuz sensör ağlarında sensör yerleşimi problemi kapsama, enerji dengesi ve ağ bağlantısı birlikte ele alınarak incelenmiştir. Önerilen yaklaşım hem kapsama performansını artırmakta hem de enerji tüketimini dengeli hale getirmektedir. Gelecek çalışmalarda modelin daha büyük ölçekli problemlere uygulanması, belirsizliklerin modele dahil edilmesi ve sezgisel yöntemlerle çözüm sürelerinin iyileştirilmesi planlanmaktadır.

79 – Muya Firmasında Güvenlik Stoğu Optimizasyonu ve Enerji Tabanlı İşgücü Verimliliğinin Bütünleşik Bir Yaklaşımla Analizi

Sevdegül Okçu *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Zeynep Yumuşak *İstanbul Kültür Üniversitesi*
İlkem Sağ *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Sinem Kurt *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Miray Kandemir *İstanbul Kültür Üniversitesi*
İbrahim Ethem Tarhan *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Tülin Aktin *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Bu çalışmada, 1995 yılında kurulmuş ve ayakkabı ile terlik üretimi alanında faaliyet gösteren MUYA firmasının üretim ve tedarik zinciri süreçlerinde karşılaşılan verimlilik problemleri bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmıştır. Firma, toptan, perakende ve e-ticaret kanallarında faaliyet göstermektedir. Özellikle stok yönetimi ve enerji kullanımı kaynaklı operasyonel verimsizliklerin ön plana çıkması, bu çalışmanın motivasyonun oluşturmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında, firmada üretilen ürünler için farklı stok politikalarının geliştirilmesi ve stok yönetiminin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Öncelikle, firmanın mevcut envanter yönetim sistemi detaylı olarak analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, hatalı güvenlik stoğu hesaplamalarından kaynaklanan yüksek stok bulundurma maliyetleri ile talep karşılayamama durumlarından doğan satış kayıpları tespit edilmiştir. Ürünlerin göreli önem düzeylerine göre sınıflandırılması amacıyla Pareto Analizi gerçekleştirilmiş ve firmanın cirosunda önemli yer tutan ürün grupları belirlenmiştir. Seçilen ürünler için zaman serisi analizine dayalı modeller kullanılarak talep tahmini yapılmıştır. Elde edilen değerler, güvenlik stoğu seviyeleri ve yeniden sipariş noktalarının belirlenmesine yönelik geliştirilen matematiksel modele entegre edilmiştir. Söz konusu model, GAMS/CPLEX çözümleyicisi kullanılarak çözülmüş ve belirli bir müşteri hizmet seviyesi kısıtı altında toplam stok bulundurma maliyetlerinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen modelin performansı farklı talep senaryoları altında test edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise üretim süreçlerindeki enerji verimliliği ele alınmıştır. Özellikle üretim makinelerinde ortaya çıkan atık ısının geri kazanılamaması nedeniyle oluşan enerji kayıpları ve buna bağlı iş gücü verimsizlikleri analiz edilmiştir. Bu kapsamda, farklı enerji geri kazanım teknolojileri, teknik, operasyonel ve ekonomik kriterler çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Alternatif sistemlerin değerlendirilmesinde Net Bugünkü Değer (NPV), Fayda-Maliyet Analizi ve Yatırım Getirisi (ROI) gibi finansal analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra, farklı yatırım senaryoları dikkate alınarak sistemlerin uzun vadeli sürdürülebilirlik etkileri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, MUYA firması için entegre bir stok yönetimi ve enerji optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen sistemin uygulanması ile birlikte stok maliyetlerinde azalma, enerji kullanımında verimlilik artışı ve iş gücü performansında iyileşme sağlanacağı öngörülmektedir. Bu çalışmanın, üretim ve tedarik zinciri yönetiminde bütünleşik karar verme süreçlerine katkı sağlayarak, firmaların operasyonel ve finansal performanslarını artırmada yol gösterici bir yaklaşım sunacağı değerlendirilmektedir.

80 – Endüstriyel Lazer Kesim Süreçlerinde Yapay Zekâ Destekli Enerji Yönetimi

Bahar Güney Gazezoğlu *Dokuz Eylül Üniversitesi*
A. Serdar Taşan *Dokuz Eylül Üniversitesi*

Endüstriyel üretim süreçlerinde enerji verimliliği, artan enerji maliyetleri, sürdürülebilirlik gereklilikleri ve karbon ayak izinin azaltılması açısından kritik önem taşımaktadır. Özellikle lazer kesim makineleri; yüksek enerji tüketimleri, çok sayıda proses parametresi ve kalite hassasiyeti nedeniyle yönetilmesi karmaşık sistemler arasında yer almaktadır. Geleneksel uygulamalarda kesim parametreleri büyük ölçüde operatör deneyimine bağlı olarak belirlenmekte, bu durum ise enerji tüketiminde artışa, kalite dalgalanmalarına ve standardizasyon eksikliğine yol açmaktadır. Bu çalışmada, bir endüstriyel üretim hattından elde edilen gerçek üretim verileri kullanılarak, lazer kesim süreçlerinde minimum enerji tüketimi ile maksimum kalite dengesini sağlayan yapay zekâ tabanlı bir enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada parça tipi, malzeme kalınlığı, gaz türü, gaz basıncı, kesim hızı, lazer gücü, nozul mesafesi, makine verimliliği ve toplam kesim mesafesi gibi değişkenler içeren veri seti kullanılmıştır. Hedef değişkenler olarak enerji tüketimi, özgül enerji tüketimi (SEC) ve kalite çıktıları değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada regresyon, destek vektör makineleri (SVM), XGBoost, rastgele orman ve yapay sinir ağları (ANN) olmak üzere beş farklı makine öğrenmesi algoritması test edilmiştir. Modeller farklı veri yapıları ve senaryolar altında karşılaştırılmış, en yüksek performansın ANN modelinde elde edildiği belirlenmiştir. Geliştirilen ANN modeli, diferansiyel evrim (DE) algoritması ile entegre edilerek kalite kaybı olmadan optimum kesim parametrelerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Sistemin endüstriyel uygulanabilirliğini artırmak amacıyla operatör ve yönetim kullanımına yönelik iki ayrı etkileşimli gösterge paneli tasarlanmıştır. Bu yapı sayesinde gerçek zamanlı veri akışı ile sürekli öğrenebilen, operatör bağımlılığını azaltan ve sürdürülebilir üretimi destekleyen ölçeklenebilir bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, yapay zekâ destekli enerji yönetiminin hem enerji verimliliği hem de üretim kalitesi açısından önemli iyileştirmeler sağladığını göstermektedir. Çalışma, Endüstri 4.0 kapsamında veri odaklı enerji optimizasyonuna yönelik uygulanabilir bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, enerji yönetimi, lazer kesim makineleri, yapay sinir ağları, diferansiyel evrim algoritması.

81 – Türkiye'deki Bankaların Etkinliklerinin Çeşitli Veri Zarflama Yöntemleri ile Analizi

Onur Koca *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*
Gülşah Karakaya *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*
Ceren Tuncer Şakar *Hacettepe Üniversitesi*

Bankacılık sektörü, diğer endüstrilere ve bireylere uzanan bağlarıyla ekonominin temel aktörlerinden biridir. Bu nedenle, sektörün etkinliği yakından izlenmesi gereken önemli bir konudur. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki bankaların etkinliğini çeşitli bakış açıları ile ölçmek ve değerlendirmektir. Bu kapsamda mevcut literatüre paralel şekilde temel yöntem olarak Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanılmış; ancak metodoloji klasik VZA modelleri ile sınırlı tutulmamıştır. Etkin bankalar arasında ayrıştırma sağlayabilmek, etkinlik skorlarının zaman içerisinde değişimini analiz edebilmek ve girdi atıllığı ile çıktı gevşekliklerini daha doğru bir şekilde yakalayabilmek için Süper Etkinlik, Pencere Analizi ve Gevşeklik Tabanlı Ölçüm VZA modelleri kullanılmıştır. Ayrıca, bankaları kümelemek için VZA temelli bir yöntem uygulanmıştır. Analizlere, 2005-2024 dönemi boyunca Türkiye Bankalar Birliği'nden verileri eksiksiz olarak temin edilebilen 23 banka dahil edilmiştir. Bu döneme ait veriler incelenerek çalışmaya uygun üç çıktı ve iki girdi belirlenmiştir. İlk aşamada bankaların etkinlik skorları hesaplanmış ve zaman içindeki değişimleri değerlendirilmiştir. Ardından bankaları kümelemek için VZA etkinlik sınırı temelli bir yöntem kullanılmış ve sonuçlar temel bir kümeleme yönteminin sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

82 – Otomotiv Sektöründe Robotik Teknolojilerin Kabulünün Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Analizi

Ayça Maden *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Elif Akaydın *İstanbul Beykent Üniversitesi*
İrem Kumral *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Vedat Zeki Yenen *İstanbul Beykent Üniversitesi*

Teknolojinin benimsenmesi ile ilgili karar verme süreçleri, çoğunlukla birden fazla kriterin karşılıklı etkileşim içinde olduğu, karmaşık yapılar sergilemektedir. Literatürde teknoloji benimsenmesi bağlamında sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme (MCDM) teknikleri arasında, kriterler arasındaki etki ilişkilerini analiz etmeye odaklanan Bulanık Bilişsel Haritalama (FCM) ve Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) gibi yöntemler öne çıkmaktadır. Örneğin, FCM yöntemi, istatistiksel analizler için sıklıkla kullanılan değişkenler arasındaki bağımsızlık varsayımını kabul etmemektedir. Bu yöntemde, kavramlar veya değişkenler arasındaki ilişkiler doğrudan, çok boyutlu ve karşılıklı etkileşimli olarak ele alınır. Bu çalışma, teknoloji kabul modelleri ile MCDM yöntemlerinin entegrasyonu çerçevesinde önemli bir literatür boşluğunu doldurmayı hedeflemektedir. Literatürde incelenen mevcut çalışmalar incelendiğinde, teknoloji kabul modellerinin (TAM, UTAUT vb.) genellikle yüksek teknoloji, inşaat, e-ticaret, bankacılık, çevre ve imalat gibi sektörlerde ele alındığı; ancak otomotiv sektörü özelinde sınırlı çalışmaya rastlandığı görülmektedir. Ayrıca, mevcut literatürdeki çalışmaların büyük oranda Tayvan, Çin, Hindistan ve Yunanistan gibi ülkelerde gerçekleştirildiği; buna karşılık Türkiye bağlamında teknoloji kabulü ve MCDM yöntemlerini bir araya getiren herhangi bir çalışmanın bulunmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, literatürdeki coğrafi, sektörel ve metodolojik boşlukları ele alması bakımından özgün bir katkı sunmaktadır. Daha spesifik bir teknolojinin benimsenmesiyle ilgili olarak, robot teknolojilerine yönelik teknoloji kabulü literatürü incelendiğinde, çalışmaların genellikle farklı sektörlerdeki spesifik uygulama alanlarına odaklandığı görülmektedir. Bu kapsamda öğretim asistanı robotlar, hukuk alanında görev yapan robot sistemleri, restoranlarda hizmet sunan robotlar, sosyal destek amaçlı robotlar, kahve hazırlayan robot baristalar ve hemşirelik alanında kullanılan etkileşimli robotlar üzerine çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Ancak bu çalışmalar robot teknolojilerinin genellikle belirli hizmet alanlarındaki kullanımıyla sınırlı kalmakta; otomotiv sektörü özelinde robot teknolojilerinin benimsenmesini inceleyen teknoloji kabulü temelli çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır**.** Bu nedenle, söz konusu teknolojilerin bu sektörde ne ölçüde ve hangi koşullarda benimsendiğinin değerlendirilmesinin hem akademik hem de sektörel düzeyde önemli katkılar sunması beklenmektedir. Bu çerçevede, teknoloji kabul modelleri ile çok kriterli karar verme yöntemlerini bir arada kullanacak çalışmalar, mevcut literatürdeki önemli bir boşluğu doldurma potansiyeli taşımaktadır. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe robotik teknolojileri kabulüne yönelik kriterler, spesifik bir MCDM yönemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çerçevede, robotik teknolojisi kabulünü etkileyen kriterlerin ağırlıklandırılması ve aralarındaki nedensellik ilişkilerinin ortaya konulması amacıyla Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle uzmanların değerlendirmelerindeki dilsel belirsizliği modellemek için bulanık sayılardan, kriterler arasındaki karşılıklı etki ilişkilerini analiz etmek için ise DEMATEL mantığından yararlanmaktadır. Sektördeki uzmanlarından elde edilen dilsel değerlendirmeler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Ardından etki-ilişki matrisi oluşturularak kriterlerin birbirleri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri hesaplanmıştır.

83 – Erasmus Üniversite Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı

Beyza Uzun *Hacettepe Üniversitesi*
Ceren Tuncer Şakar *Hacettepe Üniversitesi*

Erasmus değişim programları, uluslararası akademik hareketliliğin artmasıyla birlikte öğrencilerin akademik, sosyal, kültürel ve kişisel gelişim süreçlerinde önemli bir rol üstlenmektedir. Erasmus kapsamında gidilecek üniversitenin seçimi yalnızca akademik uygunluğun değil, aynı zamanda yaşam maliyetleri, sosyal çevre, kültürel uyum, ulaşılabilirlik ve kariyer gelişimi gibi çok sayıda ölçütün birlikte değerlendirilmesini gerektiren bir karar problemi niteliği taşımaktadır. Dolayısıyla bu problemin çok kriterli ve sistematik bir karar destek yapısı ile ele alınması faydalı olacaktır. Bu çalışmada, bir üniversitenin endüstri mühendisliği bölümünde öğrenim gören öğrencilerin Erasmus programı kapsamında tercih edebileceği üniversiteler arasından en uygun alternatifin belirlenmesi için çok kriterli bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu doğrultuda, ilgili bölümün Erasmus değişim programı kapsamında anlaşmalı olduğu 11 üniversite ele alınmış ve bu üniversiteler akademik, ekonomik, sosyal, kültürel, idari ve bireysel gelişim boyutlarıyla değerlendirilmiştir. Üniversitelerin verileri, Erasmus deneyimi yaşamış öğrenciler ile çevrimiçi olarak yapılan anketler, bölümün Erasmus koordinatöründen elde edilen bilgiler ve üniversiteler üzerine yapılan araştırmalar ile elde edilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Erasmus'a gitmiş olan öğrencilerin değerlendirmeleri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) çerçevesinde kullanılmıştır. Alternatif üniversitelerin sıralanmasında ise problemin yapısına uygun olarak seçilen Ağırlıklı Toplam, TOPSIS ve ELECTRE I yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ek olarak AHP ağırlıkları üzerinden duyarlılık analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yöntemler arasında özellikle üst ve alt sıralarda benzerlik olduğunu, farklılaşmaların daha çok orta gruptaki alternatiflerde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu sonuç, güçlü ve zayıf alternatiflerin belirlenmesinde bir kararlılığın oluştuğunu, ancak birbirine yakın performans gösteren alternatiflerde yöntem seçiminin karar sonucunu etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Önerilen çalışma, Erasmus tercih sürecinde öğrencilere, bölüm koordinatörlerine ve karar destek süreçlerine katkı sağlayabilecek bir çok kriterli karar verme çerçevesi sunmaktadır.

84 – Kargo Dağıtım Ağlarında Aktarma Merkezi ve Şube Yer Seçimi İçin Kapasiteli Tamsayılı Programlama Yaklaşımı

Öznur Öztanç *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Metehan Güneş *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Ebru Büyük *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Gözde Akgül *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Duygun Fatih Demirel *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Kargo sektöründe artan gönderi hacmi, bölgesel talep dengesizlikleri ve dış kaynak kullanımına bağlı maliyetler, dağıtım ağlarının veri odaklı yöntemlerle yeniden tasarlanmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul Avrupa Yakası'nda faaliyet gösteren bir kargo firmasının mevcut dağıtım ağı ele alınmış ve daha dengeli, düşük maliyetli ve operasyonel olarak yönetilebilir bir ağ yapısı oluşturulması amaçlanmıştır. Problem, aday lokasyonlar arasından bir aktarma merkezi ve iki şubenin seçilmesi, ilçelerin bu tesislere atanması ve kapasite kısıtları altında toplam sistem maliyetinin enküçüklenmesi şeklinde tanımlanmıştır. Çalışmada yaklaşık 45.000 durak kaydından oluşan veri seti kullanılmıştır. İlk aşamada durak verileri ilçe ve mahalle düzeyinde işlenmiş, haftalık talep miktarları hesaplanmış ve talep yoğunlukları analiz edilmiştir. Aktarma merkezi adayı için talep ağırlıklı merkez yaklaşımından yararlanılmış; şube adaylarının belirlenmesinde ise coğrafi yakınlıkları dikkate alan K-means kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Ardından, tesis açma, şube açma, müşteri atama ve şube-tesis bağlantı kararlarını birlikte ele alan kapasiteli bir tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Model GAMS 53 yazılımında yer alan CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüş; her ilçenin yalnızca bir tesisten hizmet alması, yalnızca açık tesislere atama yapılması, kapasite sınırlarının korunması ve sistemde tam olarak bir aktarma merkezi ile iki şubenin açılması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, mevcut ağda hizmet bölgelerinin parçalı ve bazı bağlantıların gereksiz uzun olduğunu; önerilen ağ yapısında ise hizmet alanlarının daha kompakt, dengeli ve yönetilebilir hale geldiğini göstermektedir. Çalışmanın özgünlüğü, gerçek durak verisi, kümeleme temelli aday belirleme ve kapasiteli ağ tasarım modelini bütünleşik bir karar destek çerçevesinde bir araya getirmesidir. Bulgular, yöneticilere şube konumlandırma, kapasite planlama, dış kaynak kullanımını azaltma ve taşıma maliyetlerini kontrol etme açısından uygulanabilir karar desteği sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kargo dağıtım ağı; tesis yeri seçimi; kapasiteli ağ tasarımı; tamsayılı programlama; dış kaynak kullanımı

86 – Alternatif Senaryolar Altında Elektrikli Araç Otoyol Şarj Altyapısı ve Şebeke Güçlendirmesi Planlaması: Çok Amaçlı Bir Optimizasyon Yaklaşımı ve Uygulaması

Büşra Alptekin *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Şule Itır Satoğlu *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Mattia Marinelli *Danimarka Teknik Üniversitesi*

Elektrikli araçların (EA) yaygınlaşması, özellikle şehirlerarası ulaşım koridorlarında güvenilir ve erişilebilir şarj altyapısının planlanmasını kritik hale getirmektedir. Bu çalışma, otoyollarda hızlı şarj istasyonlarının yer seçimi, kapasite planlaması ve enerji altyapısı yatırımlarının bütünleşik biçimde değerlendirilmesine yönelik senaryo tabanlı çok amaçlı bir optimizasyon modeli önermektedir. Geliştirilen model, şarj istasyonu işletmecileri, dağıtım sistemi işletmecileri ve politika yapıcılar gibi farklı paydaşların önceliklerini dikkate alarak ekonomik, çevresel ve sosyal hedefleri eş zamanlı olarak değerlendirmektedir.

Model kapsamında, farklı elektrikli araç yaygınlaşma düzeylerine göre artan elektrik talep dinamiklerini temsil eden Mevcut Eğilimlerin Devamı ve Net-Sıfır senaryoları dikkate alınmıştır. Çalışma yalnızca hızlı şarj istasyonlarının konumlandırılmasına odaklanmamakta; aynı zamanda yıllar itibarıyla şarj cihazı kapasite artış kararlarını ve enerji altyapısına ilişkin güçlendirme seçeneklerini de içermektedir. Şebeke kısıtları dikkate alınarak trafo kapasite artırımı ve fotovoltaik sistem entegrasyonu gibi alternatif yatırımlar değerlendirilmiştir. Elektrikli araç talebi 2035 yılına kadar projekte edilerek uzun dönemli planlama yaklaşımı benimsenmiştir.

Önerilen model, Türkiye'de yoğun trafik hacmine sahip bir şehirlerarası otoyol koridoru üzerinde uygulanmıştır. Çok amaçlı optimizasyon probleminin çözümünde AUGMECON-2 yöntemi kullanılarak Pareto-etkin çözüm kümeleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Net-Sıfır senaryosunda artan şarj talebi nedeniyle Mevcut Eğilimlerin Devamı senaryosuna kıyasla daha yüksek yatırım gereksinimleri ortaya çıktığını göstermektedir. Buna karşın, sosyal amaç altında önemli ölçüde daha yüksek mekânsal hizmet kapsaması sağlanmaktadır. Çevresel amaç doğrultusunda elde edilen çözümler, fotovoltaik sistem entegrasyonu sayesinde her iki senaryoda da en yüksek emisyon azaltımını sağlamaktadır. Ekonomik amaç altında altyapı yatırımları sınırlı düzeyde kalırken, sosyal amaç doğrultusunda daha fazla istasyon ve şarj cihazı kurulumu ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, trafo kapasite artırımı yatırımlarının yalnızca Net-Sıfır senaryosundaki sosyal amaç çözümünde ortaya çıkması, yoğun altyapı yayılımının yerel şebeke kısıtlarını belirgin hale getirdiğini göstermektedir.

Çalışma, elektrikli araç şarj altyapısının uzun dönemli ve sürdürülebilir biçimde planlanmasına yönelik karar destek mekanizmalarına katkı sunmakta; politika yapıcılar, dağıtım şirketleri ve yatırımcılar için uygulanabilir çözüm önerileri geliştirmektedir. Ayrıca, senaryo tabanlı çok amaçlı modelleme yaklaşımının belirsizlik içeren enerji ve ulaşım planlama problemlerinde etkin bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

87 – Integration of Descriptive and Predictive Analyses for Solar Power Generation Uncertainty

Atalay Uslu *Kadir Has Üniversitesi*
Ahmed Yusuf Terzi *Kadir Has Üniversitesi*
Zeynep Bektaş *Kadir Has Üniversitesi*

With the increasing penetration of renewable energy systems, accurately analyzing and forecasting solar power generation has become essential for enhancing operational efficiency and facilitating effective energy management. In this context, this study proposes an integrated approach that combines descriptive and predictive analyses using solar power generation data. The dataset consists of observations recorded at 15-minute intervals from a solar power plant. In addition to the time index, the dataset includes information on inverter types, direct current (DC) and alternating current (AC) power outputs, ambient temperature, module temperature, and solar irradiation levels. In the descriptive analysis stage, the effects of explanatory variables on AC power output are examined. To this end, various simple and multiple linear regression models are developed to evaluate the individual and joint impacts of the variables on AC power output, as well as the overall explanatory power of the models, enabling statistical inference. Subsequently, a predictive analysis is conducted to estimate solar irradiation, which constitutes the primary source of uncertainty in solar power generation. Multiple linear regression is also employed in this stage, enabling indirect prediction of solar power output. Following model selection based on test error performance, the predictive and descriptive models are integrated. At this stage, the predicted irradiation values obtained from the predictive model are used as inputs to the descriptive model. This integration enables an assessment of how irradiation prediction errors propagate to system outputs. The results of the descriptive model can then be compared using both actual and predicted irradiation values. Ultimately, the study demonstrates how integrating descriptive and predictive models provides a unified approach for both system understanding and forecasting, while systematically evaluating the propagation of prediction errors.

89 – Savunma Tedarik Zincirinde Tedarik Sürelerini Tahmin Etmek için Kantil Tabanlı Makine Öğrenmesi Çerçevesi

Görkem AKSOY *Aselsan A.Ş.*
Kemal Dinçer DİNGEÇ *Gebze Teknik Üniversitesi*

Tedarik teslim süresi, üretim planlama, malzeme ihtiyaç planlaması ve satın alma kararlarının etkinliği üzerinde doğrudan etkili olan temel operasyonel değişkenlerden biridir. Bununla birlikte, kurumsal kaynak planlama sistemlerinde teslim süresi çoğunlukla tek bir deterministik planlı teslimat süresi parametresiyle temsil edilmektedir. Özellikle siparişe göre tedarik ve siparişe göre mühendislik ortamlarında gerçekleşen teslim süreleri; tedarikçi davranışı, malzeme özellikleri, sipariş koşulları, lojistik süreçler ve zamana bağlı değişimler nedeniyle heterojen, asimetrik ve değişken bir yapı göstermektedir. Bu nedenle yalnızca ortalama teslim süresini tahmin eden modeller, gecikme riskini ve dağılımın üst kuyruk davranışını yeterince temsil edememektedir.

Bu çalışmanın amacı, satın alma siparişlerine ait gerçekleşen tedarik teslim sürelerini koşullu kantiller üzerinden tahmin eden, zamansal yapıyı koruyan ve model sonuçlarının açıklanmasına imkân veren bir makine öğrenmesi çerçevesi geliştirmektir. Bu kapsamda, doğrusal olmayan ilişkileri farklı yöntemlerle modelleyen Kantil Regresyon Sinir Ağları ve Genelleştirilmiş Rastgele Ormanlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Kantil Regresyon Sinir Ağları, kantil kayıp fonksiyonunu kullanarak koşullu kantil yüzeylerini doğrudan öğrenirken; Genelleştirilmiş Rastgele Ormanlar, gözlemler arasında veri odaklı yerel ağırlıklar oluşturarak koşullu dağılımdan ilgili kantilleri tahmin etmektedir. Böylece medyan teslim süresinin yanı sıra gecikme riskini temsil eden yüksek kantillerin de tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

Modelleme öncesinde hedef değişken dışındaki sayısal değişkenler 0–1 aralığında ölçeklendirilecek, tarih değişkenleri ise son siparişten itibaren geçen süre ve benzeri zamansal göstergelere dönüştürülecektir. Uygun sayısal değişkenler kategorik aralıklara ayrılacak ve kategorik değişkenler uygun dönüşüm yöntemiyle modele aktarılacaktır. Çalışmada zamansal bilgi sızıntısını engellemek amacıyla rassal veri bölme yöntemleri yerine kronolojik değerlendirme tasarımı kullanılacaktır. İki yıllık veri dönemi dört ayrı altı aylık döneme ayrılacak; her dönemde ilk dört ay eğitim, beşinci ay doğrulama ve altıncı ay test verisi olarak kullanılacaktır. Böylece modeller yalnızca geçmiş gözlemler kullanılarak gelecekteki siparişler üzerinde değerlendirilecektir.

Her dönem ve kantil seviyesi için, eğitim verisindeki ilgili koşulsuz kuantil değeri referans tahmin olarak hesaplanacaktır. Model performansı, modelin kantil kaybını bu referans modelin kantil kaybıyla karşılaştıran Koenker–Machado pseudo-(R^2) ölçütü üzerinden değerlendirilecektir. Bu yaklaşım, modellerin yalnızca hata değerlerini değil, basit bir kantil baz modeline kıyasla sağladıkları göreli iyileşmeyi de göstermektedir.

Hiperparametre optimizasyonunda Bayesçi optimizasyon yaklaşımı ve Optuna kütüphanesi kullanılacaktır. Her altı aylık dönem için elde edilen en iyi hiperparametreler, takip eden dönemin optimizasyon sürecinde başlangıç bilgisi olarak aktarılacaktır. Bu yöntemle tedarik ortamındaki zamana bağlı değişimlere uyum sağlanırken, her dönem için optimizasyon sürecinin tamamen sıfırdan başlatılmasının oluşturacağı hesaplama maliyetinin azaltılması hedeflenmektedir.

Model açıklanabilirliği kapsamında Genelleştirilmiş Rastgele Ormanların yerleşik değişken önem ölçütlerinden yararlanılacaktır. Ayrıca değişken sayısının model performansı ve hesaplama süresi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla LASSO tabanlı değişken seçimi uygulanacaktır. Tüm değişkenleri kullanan modeller ile azaltılmış değişken kümesi üzerinden eğitilen modeller; tahmin performansı, eğitim süresi ve yorumlanabilirlik bakımından karşılaştırılacaktır.

Önerilen yaklaşım; kantil bazlı risk tahmini, kronolojik doğrulama, dönemsel hiperparametre aktarımı, açıklanabilir yapay zekâ ve değişken azaltma adımlarını bütünleşik bir modelleme mimarisinde birleştirmektedir. Çalışmanın, statik planlı teslimat süresi kullanımından siparişe özgü ve dağılım odaklı teslim süresi tahminine geçişe katkı sağlaması beklenmektedir. Gelecek çalışmalarda, tahmin edilen kantil eşikleri etrafındaki istatistiksel

belirsizliği göstermek amacıyla zamansal bağımlılığı koruyan, örtüşen gruplar ile güven aralığı hesaplama yönteminin modele eklenmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tedarik teslim süresi, kantil regresyon, Genelleştirilmiş Rastgele Ormanlar, Kantil Regresyon Sinir Ağları, Zamansal Doğrulama, Açıklanabilir Yapay Zekâ, Örtüşen Gruplar.

90 – Büyük Dil Modelleriyle Türkçe Finansal Raporları Özetlemek ve Yapılandırılmış Bilgiler Çıkarmak İçin Uçtan Uca Bir Çerçeve

Barış Can *HangiKredi*
Ömer Yalçın *HangiKredi*
Zahide Gür Çembertaş *HangiKredi*
Bekir Çetintav *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Finansal piyasalarda bilgiye hızlı erişim ve bu bilginin doğru yorumlanması yatırım kararlarının etkinliğini doğrudan belirleyen temel unsurlardan biridir. Kamuyu Aydınlatma Platformu ve yatırım kuruluşları tarafından günlük olarak yayımlanan çeyreklik mali tablolar, faaliyet raporları ve analist raporları temel bilgi kaynaklarını oluşturmaktadır. Yayımlanan raporların manuel olarak incelenmesi ve analiz edilerek içgörüler çıkarılması hem zamansal hemde fiziksel maliyet ortaya çıkarmaktadır. Literatürde finansal metin işleme alanında FinBERT, BloombergGPT ve PIXIU gibi çalışmalar öne çıkmaktadır. Aynı zamanda PEGASUS ve GPT-3 tabanlı yaklaşımlar özetleme alanında öne çıkmaktadırlar. Ancak bu çalışmaların büyük çoğunluğu İngilizce metinler üzerine yoğunlaşmaktadır. Literatürde Türkçe gibi morfolojik açıdan zengin ve düşük kaynaklı dillerdeki finansal metin işleme alanında bir boşluk bulunmaktadır. Türkçe dili eklemeli yapısı, kelimelerin köküne eklenen eklerin anlamsal açıdan kelimeyi değiştirebildiği karmaşık bir morfolojik sistem oluşturmaktadır. Bu durum Türkçe metinlerde duygu analizi ile metin özetleme görevlerini zorlaştırmaktadır.

Büyük dil modellerinin bilgiye dayalı görevlerdeki performansını artırmaya yönelik yaklaşımlar arasında RAG mimarisi ve chain-of-thought prompting öne çıkmaktadır. RAG yaklaşımı parametric ve non-parametric belleği birleştirerek daha olgusal metinler üretilmesini sağlamaktadır. CoT prompting ise ara akıl yürütme adımlarını ortaya çıkararak yapılandırılmış çıktı gerektiren görevlerde fine-tuning gerektirmeden uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen özetlerin değerlendirmesinde ise ROUGE ve BLEU gibi geleneksel metrikler tam kelime eşleşmesine dayandığından soyutlayıcı özetlemede sınırlı kalmaktadır. G-Eval ve LLM-as-a-Judge gibi yaklaşımlar insan yargılarıyla daha yüksek korelasyon göstermektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada Türkçe finansal raporların otomatik olarak işlenmesi amacıyla veri toplama, özetleme, öne çıkan bilgi çıkarımı, analitik attribute üretimi ve yeniden yapılandırılmış cümle seçimini bir araya getiren uçtan uca bir işlem hattı geliştirilmiştir. Sistem üç ana aşamadan oluşmaktadır.

Birinci aşamada tasarlanan işlem hattında Apache Airflow tabanlı zamanlanmış bir operasyon ile Kamuyu Aydınlatma Platformu ile Tacirler Yatırım, Ak Yatırım ve Gedik Yatırım gibi yatırım kuruluşlarından elde edilen raporlar günlük olarak toplanmaktadır. Raporlar temizlenip hisse kodu ve metadata bilgileriyle eşleştirilmekte, ardından büyük dil modeli destekli yöntemlerle özetlenmektedir. Özetleme sürecinde few-shot prompting stratejileri kullanılmaktadır. Rapor içeriği modele bağlam olarak sunularak alana özgü bilgiyle desteklenen çıktılar elde edilmektedir. Üretilen özetler nicel veri doğrulaması ve tekrarlı hata kontrolünden geçirilmektedir.

İkinci aşamada ise üretilen özetlerden "öne çıkan noktalar" bölümü elde edilmekte ve cümle düzeyinde analitik attribute yapısı çıkarılmaktadır. Cümleler gpt-4o ile artış, azalış ve stabil kategorilerine ayrılmaktadır. Cümle uzunluğuna bağlı olarak gpt-4o-mini ile düzenleme veya gpt-3.5-turbo ile sadeleştirme uygulanmaktadır. Ardından gpt-4o ile range ve fact attribute'ları çıkarılmakta, gpt-4.1 ile sentiment bilgisi belirlenmektedir. Elde edilen tüm attribute'lar Analytic Summary Attribute veritabanına kaydedilmektedir.

Üçüncü ve son aşamada ise çıkarılan attribute'lardan hareketle Türkçe dil yapısına uygun yeni cümleler kurulmakta ve bu cümlelerin özgün cümlelerle benzerliği hesaplanmaktadır. Tekrar eden kayıtlar ayıklandıktan sonra attribute tamlığına dayalı bir skor oluşturulmakta ve reconstruction ile similarity değeri en yüksek 10 cümle seçilerek Summary Attribute veritabanına kaydedilmektedir.

Sistem performansı toplam 1508 özet üzerinde çok boyutlu metriklerle değerlendirilmiştir. ROUGE-1, ROUGE-2 ve ROUGE-L skorları sırasıyla 0,2553, 0,1408 ve 0,1390 ortalama değerlerine sahiptir. BLEU metriği 0,0081 ortalama ile daha düşük bir düzeydedir. Anlamsal benzerlik tarafında semantic similarity ortalaması 0,7073,

sentence mover similarity ortalaması ise 0,8206 olarak elde edilmiştir. Büyük dil modeli tabanlı değerlendirmelerde G-Eval 0,9225, Reason-then-Score 0,8936, head-to-head 0,9993, MCQ score 0,9925 ve GEMBA 0,9971 ortalama değerlerine ulaşmıştır. Compression ratio ortalaması 0,2090 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde örtüşme temelli metriklerde daha sınırlı, anlamsal benzerlik ve LLM tabanlı değerlendirme ölçütlerinde ise daha yüksek değerler elde edildiğini göstermektedir. Bu çıkarım sistemin kaynak metni birebir tekrar etmekten çok, içeriği yeniden ifade eden ve yoğunlaştıran bir yapı izlediğine ortaya koymaktadır. Çalışmanın sınırlılıkları arasında tutarlılık değerlendirmesinin sınırlı bir alt örneklem üzerinde gerçekleştirilmesi ve değerlendirme sonuçlarının büyük ölçüde otomatik ölçütlere dayanması yer almaktadır. İleriye dönük olarak daha geniş ölçekli insan değerlendirmeleri, farklı LLM ailelerinin karşılaştırılması planlanmaktadır. Genel olarak elde edilen çıktılar değerlendirildiğinde önerilen yaklaşım Türkçe finansal metinlerin daha kısa, daha yapılandırılmış ve karar destek süreçlerinde kullanılabilir içeriklere dönüştürülmesinde uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Türkçe Finansal Metin İşleme, Büyük Dil Modelleri, Otomatik Özetleme, Bilgi Çıkarımı, Finansal Rapor Analizi.

91 – Karma Palet Yükleme Sürecinin MaxRects Tabanlı Karar Destek Yaklaşımı ile İyileştirilme

Erhan Alasar *Metric Yazılım Danışmanlık*
Ayşe Sali *Metric Yazılım Danışmanlık*

Bu proje, alkollü içecek dağıtım operasyonlarında farklı ölçü, ağırlık ve sipariş miktarlarına sahip ürünlerin karma paletlerde güvenli ve verimli yerleştirilmesi problemini ele almaktadır. Çözümde palet, katman bazlı iki boyutlu yerleştirme alt problemlerine ayrılmış; tek ürünlü tam katmanlar ve kalan ürünlerden oluşan karma katmanlar iki aşamalı MaxRects tabanlı sezgisel yaklaşımla oluşturulmuştur. Model; müşteri/depo bazlı yükseklik sınırı, palet ağırlığı, ürün ölçüleri, kat içi koli kapasitesi ve yerleşim çakışmalarını birlikte kontrol etmektedir. Çıktılar, saha personelinin kontrol edebileceği sıralı ürün listesi ile iki ve üç boyutlu yerleşim görselleri olarak üretilmektedir. Değerlendirmede 190 ürünün 128'inde saha yerleşimine göre daha yüksek kapasite elde edilmiş; %14,75 adet bazlı kapasite artışı, yıllık 7.994,66 palet azalışı ve 99,11 iş günü operasyonel zaman karşılığı hesaplanmıştır.

92 – Doğal Gaz Boru Hatlarında Monolitik İzolasyon Mafsallarının Optimal Konumlandırılması

Zeynep Melike Sever Arıkdoğan *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Salih Tekin *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*

Monolitik izolasyon mafsalları (MIJ), doğal gaz boru hatlarında elektriksel izolasyonun sağlanması ve katodik koruma sistemlerinin etkin şekilde çalışabilmesi amacıyla kullanılan kritik ekipmanlardır. Bununla birlikte MIJ'lerin boru hattı üzerindeki konumları yalnızca elektriksel performansı değil, maruz kaldıkları mekanik yükleri de doğrudan etkilemektedir. Boru hattında meydana gelen eksenel kuvvetler, eğilme momentleri ve sıcaklık kaynaklı yükler MIJ üzerinde yoğunlaşabilmekte, bu durum sistemin mekanik bütünlüğü ve işletme güvenilirliği açısından önemli sonuçlar doğurabilmektedir.

MIJ konumunun belirlenmesinde yaygın olarak kabul görmüş sistematik bir yöntem bulunmamaktadır. Uygulamada konum seçimi çoğunlukla mühendislik tecrübesi, proje gereksinimleri ve tasarım tercihleri doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Ancak boru çapı, et kalınlığı, sıcaklık değişimi, gömülü hat koşulları ve zemin özellikleri gibi çok sayıda değişkenin sistem davranışını etkilemesi nedeniyle en uygun konumun belirlenmesi karmaşık bir mühendislik problemine dönüşmektedir. Bu durum, MIJ konumlandırmasının veri temelli ve sistematik bir yaklaşımla ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

MIJ konumlandırma problemi geleneksel olarak boru hattı mühendisliği kapsamında değerlendirilmekle birlikte, problemin çok sayıda tasarım değişkeni içermesi ve yüksek sayıda analiz gerektirmesi nedeniyle veri temelli yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde boru gerilme analizleri, deney tasarımı, vekil modelleme ve karar destek yöntemlerini bütünleşik olarak kullanan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışma, doğal gaz boru hattı mühendisliği ile endüstri mühendisliği yöntemlerini bir araya getirerek hem gerçek bir mühendislik problemine çözüm üretmekte hem de farklı sistemlere uyarlanabilecek genel bir metodolojik çerçeve ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada doğal gaz boru hatlarında MIJ konumunun belirlenmesine yönelik bir karar destek metodolojisi geliştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, MIJ üzerinde oluşan mekanik yükleri etkileyen parametrelerin belirlenmesi, bu parametrelerin sistem davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve elde edilen bilgiler doğrultusunda optimum konumun belirlenmesine olanak sağlayacak bir vekil model oluşturulmasıdır.

Çalışma kapsamında öncelikle çok sayıda boru gerilme analizi gerçekleştirilmiş ve farklı parametrelerin MIJ üzerindeki kuvvet ve moment bileşenleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sistem davranışını anlamlı düzeyde etkileyen değişkenler belirlenmiş ve modelleme çalışmasında kullanılacak tasarım parametreleri seçilmiştir. Böylece hem problemin boyutu azaltılmış hem de modelin açıklayıcılığının artırılması amaçlanmıştır.

Boru hattı analizleri CAESAR II yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir fakat parametre uzayının genişliği nedeniyle tüm olası tasarım kombinasyonlarının ayrıntılı analizlerle değerlendirilmesi pratik bir yaklaşım değildir. Bu nedenle tasarım uzayının etkin şekilde örneklenmesi amacıyla Maximin Latin Hypercube Sampling yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, örnekleme noktaları arasındaki minimum mesafeyi maksimize ederek tasarım uzayının daha homojen biçimde taranmasını sağlamaktadır. Böylece sınırlı sayıda analiz ile parametre uzayının temsil kabiliyeti artırılmış ve model geliştirme sürecinde kullanılacak veri setinin kalitesi yükseltilmiştir.

Maximin Latin Hypercube Sampling ile oluşturulan deney noktaları için gerçekleştirilen CAESAR II analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak Gaussian Process Regression tabanlı bir vekil model geliştirilmiştir. Oluşturulan model, boru hattı davranışını temsil eden ve CAESAR II analizlerinden elde edilen ilişkileri öğrenen bir karar destek yapısı olarak kurgulanmıştır. Böylece farklı tasarım senaryoları altında MIJ üzerinde oluşabilecek yüklerin hızlı şekilde tahmin edilmesi ve optimum konumun sistematik olarak araştırılması mümkün hale gelmiştir.

Önerilen metodoloji yalnızca belirli bir boru hattı için değil, farklı çaplara ve işletme koşullarına sahip sistemlerde uygulanabilecek genel bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca geleneksel mühendislik analizleri ile deney tasarımı ve

makine öğrenmesi temelli modelleme tekniklerini bir araya getirerek doğal gaz boru hattı tasarım süreçlerinde kullanılabilecek veri temelli bir karar destek çerçevesi ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında parametre etkilerinin incelenmesi, deney tasarımının oluşturulması ve vekil model altyapısının geliştirilmesi tamamlanmıştır. Elde edilen bulgular, önerilen yaklaşımın MIJ konumlandırma probleminin sistematik biçimde ele alınmasına olanak sağladığını göstermektedir. Nihai aşamada farklı tasarım koşulları altında optimum konumların belirlenmesi ve geliştirilen metodolojinin doğrulanması hedeflenmektedir.

95 – Uluslararası Taşımacılık Depolama ve Dağıtım Şirketinde Döngüsel Sefer Dağıtım Ağının Optimizasyonu

Alesya Kırşan *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Seden Dağdeviren *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Emirhan İsmailoğlu *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Simge İnan *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Dilasu Peker *İstanbul Kültür Üniversitesi*
İlayda Ülkü *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Günümüz lojistik operasyonlarında, taşıma planlamasının etkin bir şekilde yapılması maliyetlerin azaltılması ve operasyonel performansın artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de yer alan uluslararası taşımacılık, depolama ve dağıtım şirketinde, Tepeören ve Hadımköy lojistik merkezleri arasında döngüsel sefer (milk run) dağıtım sistemi ile belirli günlerde sevkiyat gerçekleştirilmektedir. Ancak mevcut sistemde rotaların manuel olarak planlanması, araç kapasite kullanımının düşük kalmasına ve taşıma maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, mevcut döngüsel sefer dağıtım ağı analiz edilmiş ve optimize edilmiştir. Problem, araç kapasitesi, ağırlık ve hacim kısıtları dikkate alınarak Araç Rotalama Problemi olarak modellenmiştir. Gerçek veriler kullanılarak matematiksel bir model geliştirilmiş ve Python ortamında uygulanmıştır.

Modelin temel amacı, toplam araç sayısını ve taşıma maliyetini minimize ederken araç kapasite kullanımını maksimize etmektir. Ayrıca, farklı talep senaryoları altında modelin performansı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, optimize edilmiş rotaların mevcut sisteme kıyasla daha verimli bir taşıma planı sunduğunu göstermektedir.

Önerilen model sonucunda, mevcut sistemde kullanılan araç sayısı 19'dan 11'e düşürülerek yaklaşık %42 oranında bir azalma sağlanmıştır. Bu iyileşme, araç kapasite kullanımının daha etkin hale geldiğini ve taşıma operasyonlarının daha verimli planlandığını göstermektedir. Aynı talebin daha az sayıda araç ile karşılanabilmesi, kaynakların daha etkin kullanıldığını ortaya koyarken, rota optimizasyonu sayesinde gereksiz seyahatler azaltılmış ve toplam taşıma maliyetlerinde önemli ölçüde düşüş sağlanmıştır. Genel olarak, elde edilen sonuçlar sistemin operasyonel verimliliğinde belirgin bir iyileşme olduğunu göstermektedir.

97 – Kentsel Bisiklet Paylaşım Sistemlerinde Saatlik Talep Tahmini: Makine Öğrenmesi Yaklaşımının Doğrusal Regresyon ile Karşılaştırılması

Yeliz Çotoy Hersek *Doğuş Üniversitesi*

Bisiklet paylaşım sistemleri (BPS), kentsel sürdürülebilir ulaşımın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. 2013 yılında New York City'de kurulan Citi Bike sistemi, dünyanın en büyük bisiklet paylaşım sistemlerinden biri haline gelmiş, binlerce istasyonu ve on binlerce bisikleti kapsamaktadır. Son yıllarda bu sistemin yapısını önemli ölçüde değiştiren en önemli etken elektrikli bisikletlerin yaygın kullanımıdır. Bu sistemdeki talep tahmini, istasyon seviyesinde kapasite yönetimi ve kaynakları yeniden dengelemek için anahtar bir unsurdur. İstasyonlar arasında bisikletlerin dengesiz dağılımı, hizmet kesintilerine ve yüksek lojistik maliyetlerine yol açar. Doğru saatlik tahmin ise kaynakları en iyi düzeyde kullanmak için kaynakların yeniden dengelenmesini sağlar.

Literatürde büyük ölçekli ve e-bisiklet veri setlerinde doğrusal modeller ve bunların makine öğrenimi modelleriyle karşılaştırmalı çalışması sınırlıdır. Bu araştırma, Citi Bike için 2025 Haziran-Ağustos verilerini kullanarak her iki yaklaşımı karşılaştırarak bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Veri setleri, Citibike sisteminden toplanmıştır. Ham seyahat detayları (Seyahat ID, Bisiklet türü, Başlangıç zamanı, Bitiş zamanı, Başlangıç istasyonu adı, Başlangıç istasyonu ID, Bitiş istasyonu adı, Bitiş istasyonu ID, Başlangıç enlemi, Başlangıç boylamı, Bitiş enlemi, Bitiş boylamı, Kullanıcı türü) ulaşım sistemi seviyesinde her saat elde edilmektedir. Model, bağımsız değişkenler olarak hava koşulları (sıcaklık, yağış, rüzgar hızı), zaman (saat, gün türü, tatil), istasyon kapasitesi ve bisiklet türünü (klasik/e-bisiklet) kullanmaktadır. Bu makalede, Çoklu Doğrusal Regresyon temel model olarak kullanılmakta ve doğrusal olmayan ilişkileri keşfetmek için Random Forest ve XGBoost algoritmaları ile karşılaştırılmaktadır. Veri, model tahmini için eğitim ve test veri setlerine bölünmüş ve sonucunda hata analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, makine öğrenmesi modellerinin, özellikle zaman ve hava koşullarına bağlı doğrusal olmayan talep değişimlerini modellemede daha başarılı olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın bulguları, kentsel bisiklet paylaşım sistemleri için talep tahmin metodolojisinin karar verme süreçlerindeki önemini gösterirken, aynı zamanda istasyonların ve filonun optimizasyonuyla yeniden dengelenmesi için öneriler sunmaktadır.

98 – Alüminyum Ekstrüzyon Süreçlerinde Teslimat Güvenilirliğini İyileştirmeye Yönelik Yalın Üretim Performans Göstergesi Tasarımı: Bir Sanayi Uygulaması

M. Meftun Öztoprak ASTAŞ Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.

Alüminyum ekstrüzyon sektöründe termine uyum, üretim yapısı ve değişken proses akışları nedeniyle ölçülmesi zor bir performans alanıdır. İncelenen işletmede OTIF göstergesinin güvenilir hesaplanamadığı görülmüştür. Bu çalışma, teslimatı doğrudan ölçmek yerine üretim akışını izleyen bir performans göstergesi tasarlamayı amaçlamaktadır.

Geliştirilen Üretim Performansı (%) göstergesi, sevk planına bağlı üretim planı uyumu ile kritik proseslerdeki gerçekleşme performansını birlikte izlemektedir. Uygulama ile üretim sapmaları görünür hale gelmiş, darboğazlar erken tespit edilmiş ve bölümler arası performans ortak bir metrikle izlenmiştir. Göstergenin sağlıklı çalışabilmesi için stok gün seviyesinin sınırlandırılması temel koşul olarak değerlendirilmiştir.

Sonuçta üretim performansı %67'den %86'ya yükselmiş; stok gün sayısında %43 azalma ve geciken sipariş oranında %47 iyileşme sağlanmıştır. Bulgular, OTIF'in yerine geçmeden, termine uyumu iyileştiren kritik bir gösterge tasarlandığını göstermektedir.

100 – Zaman Pencereli ve Kapasite Kısıtlı Çok Amaçlı Araç Rotalama Problemi için Pekiştirmeli Öğrenme Destekli Yeni Bir Genetik Algoritma

Ali Koç *TED Üniversitesi*
Diclehan Tezcaner Öztürk *Hacettepe Üniversitesi*
Ceren Tuncer Şakar *Hacettepe Üniversitesi*

Bu çalışma, Zaman Pencereli ve Kapasite Kısıtlı Çok Amaçlı Araç Rotalama Problemi (ZPKKÇAARP) için Pekiştirmeli Öğrenme (RL) destekli bir Genetik Algoritma (GA) çerçevesi sunmaktadır. Bu problemde, homojen araçlardan oluşan bir filo depodan hareket ederek tüm müşterileri bir kez ziyaret etmekte ve tekrar depoya dönmektedir. Araç rotaları; toplam seyahat süresinin ve kullanılan araç sayısının minimize edilmesi ve zaman pencereleri içerisinde hizmet verilen müşterilerden elde edilen memnuniyetin maksimize edilmesi olmak üzere üç amaç dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Bu problem için, Q-öğrenme tabanlı operatör seçim yöntemleriyle desteklenmiş NSGA-II tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Sabit operatörler kullanan geleneksel GA'lardan farklı olarak, önerilen yaklaşım mevcut çözümlerin performansını dikkate alarak çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin öğrenmeye dayalı biçimde seçilmesine imkân tanımaktadır. Çalışmada, Q-öğrenme tabanlı beş farklı operatör seçim stratejisi test edilmiş ve sonuçlar sabit veya rastgele seçilen operatörlerin kullanıldığı yaklaşımlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, tüm Q-öğrenme tabanlı operatör seçim stratejilerinin sabit operatör yaklaşımından daha iyi performans gösterdiğini, rastgele seçim stratejisinin ise bunlardan dördü tarafından geride bırakıldığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, tüm çözüm yaklaşımları dikkate alınarak çözümlerin her bir durumu için en iyi operatör belirlendiğinde ve bu operatör algoritma boyunca NSGA-II içerisinde kullanıldığında, tutarlı biçimde en yüksek performans elde edilmektedir. Sonuçlar, önerilen RL destekli GA çerçevesinin ZPKKÇAARP için çözüm kalitesi açısından rekabetçi bir alternatif sunduğunu ve öğrenmeye dayalı operatör seçiminin evrimsel arama sürecinin uyarlanabilir şekilde kontrol edilmesinde etkili bir mekanizma olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok Amaçlı Araç Rotalama, Genetik Algoritma, Pekiştirmeli Öğrenme, Q-öğrenme

101 – Kemoterapi Randevularına Uygulamalarla Dinamik Planlama için Sezgisel Yöntemlerin Değerlendirilmesi

Tuğçe Sinem Akın *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Sema Doğanöz *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Merve Delice *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Yasin Göçgün *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Bu çalışmada, tedavi sürelerindeki belirsizlik ve sınırlı kaynak kullanımı nedeniyle karmaşık bir yapıya sahip olan kemoterapi randevu çizelgeleme problemi ele alınmaktadır. Literatürdeki modeller temel alınarak, gerçek dünya değişkenleri yani genişletilmiş tolerans limitlerini ve farklı kapasite seviyelerini sisteme entegre eden Python tabanlı bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Klasik Dinamik Programlama yöntemlerinin yüksek hesaplama maliyetlerini azaltmak amacıyla, sistemin performansını optimize eden çeşitli sezgisel politika uygulanmış ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, rezervasyon süresi uzadıkça sistem üzerindeki yükün arttığını göstermektedir. Bu etki, özellikle kapasite kısıtlarının sıkı olduğu durumlarda daha belirgin hale gelmektedir. Çalışma kapsamında farklı senaryolar, rezervasyon süreleri ve kapasite seviyeleri test edilerek sistem performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca hasta tipi sayısının sistem üzerindeki etkisi de analiz edilmiştir.

103 – Entegre Yönetim Yazılımlarında Risk Etkileşimlerinin Bulanık DEMATEL ile Nedensel Analizi

Sedanur Çakır *SoftExpert Yazılım Ltd. Şti.*
Bilal Ervural *Necmettin Erbakan Üniversitesi*

Entegre yönetim yazılımları, kalite, uyum, süreç ve performans yönetimini tek bir platformda bütünleştirerek operasyonel görünürlük ve verimlilik sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu platformların kurulum ve işletiminde ortaya çıkan riskler birbirini tetikleyen nedensel ilişkiler içerdiğinden, risklerin yalnızca önem düzeyine göre sıralanması müdahale önceliklerini belirlemede yetersiz kalabilmektedir. Mevcut literatürde bu tür yazılım platformlarına özgü risk etkileşimlerinin analiz edilmesine yönelik çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada, entegre yönetim platformu bağlamında tanımlanan on kritik risk arasındaki nedensel etkileşimler Bulanık DEMATEL yöntemiyle analiz edilmiştir. Bulgular, kaynak ve teknik kapasite yetersizliğinin en yüksek net etkileyen güce sahip temel sürücü risk olduğunu, eğitim ve yetkinlik yetersizliğinin ikinci güçlü sürücü risk olarak öne çıktığını göstermektedir. Proje yönetişimi ve gereksinim yönetimi zayıflığı, en yüksek merkezilik değerine sahip kritik bir düğüm olup çok sayıda riskle çift yönlü etkileşim içermektedir. Buna karşılık düzeltici ve önleyici faaliyetlerin (CAPA) gecikmesi, veri kalitesi ve bütünlüğü riski ve performans izleme ile KPI eksikliği ağırlıklı olarak sonuç karakteri sergileyerek diğer risklerin birikimli çıktısı olarak konumlanmaktadır. Eşikleme sonrasında elde edilen güçlü bağlantılar, özellikle kapasite yetersizliği ve proje yönetişimi zayıflığının veri kalitesi, süreç darboğazları, CAPA gecikmesi ve KPI eksikliği üzerinde belirgin etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuçlar, uygulama ekipleri için kök nedenlere odaklı müdahale önceliklerini kantitatif olarak belirlemekte ve risk azaltım eylemlerinin platform modülleriyle ilişkilendirilmesine temel oluşturan bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.

104 – Orman Yangını Riskinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Sistem Dinamiği Tabanlı Bütünleşik Bir Yaklaşımla Değerlendirilmesi

Bilge Eriş Yeditepe Üniversitesi
Duygun Fatih Demirel İstanbul Kültür Üniversitesi
Eylül Damla Gönül Sezer Yeditepe Üniversitesi

Orman yangınları, iklim koşulları, arazi yapısı, bitki örtüsü, insan faaliyetleri ve yerleşim yoğunluğu gibi çok sayıda faktörün birlikte etkili olduğu karmaşık afetlerdir. Bu nedenle orman yangını riskinin yalnızca geçmiş yangın kayıtları veya tek bir faktör grubuna dayalı göstergeler üzerinden değerlendirilmesi, karar vericilerin orman yangını riskine ilişkin bütüncül bir değerlendirme yapmasını zorlaştırmaktadır. Riskin mekânsal olarak nerelerde yoğunlaştığını göstermek kadar, bu riskin zaman içinde hangi dinamiklerle artabileceğini, azalabileceğini veya farklı politika kararları altında nasıl değişebileceğini anlamak da önemlidir. Bu çalışma, orman yangını riskinin değerlendirilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı risk haritalama yaklaşımını Sistem Dinamiği (SD) perspektifiyle bütünleştiren, farklı bölgelere uyarlanabilir bir karar destek çerçevesi önermektedir.

Önerilen yaklaşımda, orman yangını riskini etkileyen mekânsal faktörler CBS ortamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda eğim, yükselti ve bakı gibi topografik göstergeler; sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve yakıt niteliği gibi çevresel göstergeler; yerleşim alanlarına, yollara, tarımsal alanlara, enerji hatlarına veya su kaynaklarına uzaklık gibi insan kaynaklı erişilebilirlik göstergeleri dikkate alınmıştır. Bu faktörlerin göreli önem düzeyleri, bölgesel uzman görüşleri ve mevcut veri kaynaklarından elde edilen bulgular birlikte kullanılarak belirlenmiştir. Böylece yalnızca veri temelli bir sınıflandırma ya da yalnızca uzman yargısına dayalı bir değerlendirme yerine, her iki bilgi kaynağını birleştiren daha açıklanabilir ve uygulanabilir bir risk haritası elde edilir.

Çalışmanın temel katkısı, oluşturulan CBS tabanlı risk haritasının SD modeline karar destek girdisi olarak entegre edilmesidir. Bu çerçevede risk haritası, belirli bir zaman kesitini gösteren statik bir çıktı olmanın ötesinde, modelde risk sınıflarını, bölgesel farklılıkları ve risk duyarlı politika parametrelerini tanımlayan mekânsal bir temel olarak kullanılmaktadır. SD modeli, kısa dönemli operasyonel müdahale süreçleri ile uzun dönemli orman alanı ve yakıt yükü dinamiklerini birlikte ele alan iki zaman ölçekli bir yapı üzerine kurgulanmaktadır. Operasyonel bölümde yangın ilerleme dinamikleri, çevresel/fiziksel dinamikler ve kaynak dinamikleri olmak üzere üç ana sektör ele alınmaktadır. Yangın ilerleme sektöründe yeni tutuşmaların ortaya çıkışı, yangınların büyüklük sınıfları arasında geçişi ve kontrol altına alınması; çevresel/fiziksel sektörde yangının orman alanı, yanan alan ve yakıt yükü üzerindeki etkisi; kaynak sektöründe ise ekiplerin yerel kapasite, transfer öncelikleri, erişim ve atama gecikmeleri ile rezerv kuralları altında tahsisi temsil edilmektedir. Bu sektörler arasındaki geri besleme, yıllık yanan alanın stratejik modelde, orman-yakıt koşullarını değiştirmesi ve bu koşulların sonraki dönemlerde yayılım potansiyeli, kaynak ihtiyacı ve müdahale başarısı üzerinde etkili olması üzerinden kurulmaktadır.

Önerilen bütünleşik yapı, CBS tabanlı risk bilgisinin SD modeli aracılığıyla farklı politika ve stres senaryoları altında değerlendirilmesini sağlamaktadır. Temel durum senaryosu referans alınarak risk temelli kaynak konumlandırma, rezerv oranı politikası, yüksek riskli alanlarda yakıt azaltımı ve operasyonel kaynak planlaması ile önleyici yakıt yönetimini birlikte ele alan bütünleşmiş politika seçenekleri; şiddetli yayılım, yüksek yangın tutuşma baskısı, yakıt birikimi stresi ve birleşik stres koşulları altında karşılaştırılmaktadır. Politika etkileri toplam yanan alan, kaynak yeterliliği, karşılanamayan ekip talebi ve yakıt yükü gibi çıktılar üzerinden değerlendirilmekte; böylece mekânsal risk bilgisinin dinamik politika analizine ve stratejik karar süreçlerine aktarılması sağlanmaktadır.

105 – Elektrikli Araçlarda Lityum-İyon Bataryaların Şarj Durumu Tahmini için Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Zeynep Cozlan *Bursa Uludağ Üniversitesi*
Tülin İnkaya *Bursa Uludağ Üniversitesi*
Türev Sarıkurt *TÜBİTAK Raylı Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü*
Nergiz Gürbüz Karslıoğlu *TÜBİTAK Raylı Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü*
Hasan Celal Malkoç *TÜBİTAK Raylı Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü*

Günümüzde elektrikli araçlar, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda giderek artan bir öneme sahiptir. Bu araçlarda bataryanın güvenli ve verimli şekilde çalışabilmesi, batarya yönetim sisteminin doğruluğu ve güvenilirliği ile doğrudan ilişkilidir. Şarj durumu tahmini, bataryanın mevcut doluluk seviyesinin belirlenmesini sağlayarak bu sistemlerin etkin çalışmasında kritik bir rol oynamaktadır. Ancak şarj durumunun (State-of-Charge, SoC) doğrudan ölçülememesi ve batarya davranışının çalışma koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermesi, bu tahmin sürecini karmaşık hale getirmektedir. Bu çalışmada, kese tipi (pouch cell) lityum-iyon batarya hücresine ait deneysel veriler kullanılarak makine öğrenmesi yöntemleri ile SoC tahmini yapılması hedeflenmiştir. Modelin farklı çalışma koşullarındaki performansını incelemek amacıyla sabit akım testleri ile birlikte Küresel Uyumlu Hafif Araç Test Prosedürü (WLTP), rassal sürüş döngüleri ve 60 saatlik sürüş verileri kullanılmıştır. Bu sayede, modelin hem dinamik sürüş koşullarına uyum kabiliyeti hem de uzun süreli davranışı değerlendirilmiştir. Veri ön işleme aşamasında eksik ve hatalı veriler ayıklanmıştır ve veriler normalize edilmiştir. Verideki zamansal bağımlılıkları modele dahil edebilmek için kayan pencere yaklaşımı kullanılmıştır. SoC tahmini için K-En Yakın Komşuluk (K-Nearest Neighbors, KNN), Karar Ağacı (Decision Tree), Rassal Orman (Random Forest, RF), Destek Vektör Regresyonu (Support Vector Regression, SVR), Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks, ANN), LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) ve XGBoost (Extreme Gradient Boosting) yöntemleri uygulanarak karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Ridge ve Lasso regresyon modellerinin yanı sıra M5P model ağacı da değerlendirmeye alınmıştır. Hiperparametre optimizasyonu, ızgara arama ve Bayes optimizasyonu yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Model performansı ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error, MAE), kök ortalama kare hata (Root Mean Square Error, RMSE) ve belirlilik katsayısı (R^2) metrikleri ile ölçülmüştür. Eğitim aşamasında, sürüş döngülerinin kademeli olarak modele dahil edildiği aşamalı bir öğrenme yaklaşımı izlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, XGBoost modelinin 0,99 R^2 değeri ile en yüksek doğruluğu sağladığı görülmüştür. Ayrıca, ağaç tabanlı yöntemlerin diğer modellere göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, kullanılan sürüş döngülerinin ve pencere büyüklüğünün model performansı üzerinde belirgin bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 22AG001-TÜBİTAK 1004 numaralı proje kapsamında desteklenmiş olup yazarlar TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, lityum-iyon batarya, şarj durumu (SoC), makine öğrenmesi, batarya yönetim sistemi

107 – ROPE: Risk Odaklı Proje Endeksi

Merve Çalışkan *Roketsan A.Ş.*

Savunma sanayii projelerinin sahip olduğu yüksek bütçe, uzun takvim, stratejik etki ve teknik belirsizlikler, mevcut projelerin etkin bir şekilde izlenmesini ve sınırlı kaynakların en yüksek faydayı sağlayacak biçimde yönlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu gereksinim doğrultusunda, Roketsan A.Ş. bünyesinde hâlihazırda yürütülmekte olan projelerin sistematik ve nesnel bir biçimde değerlendirilerek sınıflandırılması amacıyla Risk Odaklı Proje Endeksi, kısa adıyla ROPE modeli geliştirilmiştir. Modelin temel hedefi, yeni proje seçimi yapmak yerine mevcut proje portföyü içerisinde daha yakından izlenmesi gereken kritik projeleri belirlemek ve üst yönetime stratejik bir karar destek mekanizması sunmaktır. Bu kapsamda projeler; kurum stratejilerine katkı, kalan taahhüt değerleri, risk ele alma planlarının etkinliği, sözleşme bazlı finansal etkiler ve projelerin mevcut yaşam döngüsündeki konumlarını yansıtan strateji, bütçe, risk, kayıp potansiyeli ve takvim olmak üzere beş temel boyut üzerinden incelenmiştir.

Kuruma özgü bu kriterlerin ağırlıklandırılmasında uzman çalıştaylarından ve karar vericilerin ikili karşılaştırmalarından yararlanılarak Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılmıştır. Alternatif projelerin tam sıralamasının elde edilmesi, farklı senaryoların kolaylıkla analiz edilebilmesi ve süreç esnekliğinin sağlanması için ise PROMETHEE-II algoritması tercih edilmiştir. Geliştirilen özgün Excel VBA aracı sayesinde otomasyon sağlanmış, elde edilen net akış değerleriyle projeler A, B ve C öncelik sınıflarına ayrılarak iş zekâsı ekranlarına entegre edilmiştir. Bu sayede, Proje Yönetim Ofisi ekipleri eforlarını risk seviyesi yüksek projelere kanalize etmiş; kaynak kullanımında belirgin bir verimlilik artışı ve proje portföyü genelinde güçlü bir görünürlük elde edilmiştir.

108 – Bildiri Başlığı Yeşil Denetçi Rotalama: Karbon Emisyonu ve Maliyet Odaklı Heterojen Filo Optimizasyonu

Berkay Yıldız *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Berke Arslan *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Eda Kocaağa *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Zeliha Ergül Aydın *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Denetçi rotalama problemi, belirli zaman aralıklarında gerçekleştirilmesi gereken saha denetimlerinin sınırlı kaynaklar altında etkin biçimde planlanmasını amaçlayan önemli bir operasyonel planlama problemidir. Artan sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, operasyonel maliyetlerin yanı sıra çevresel etkilerin de dikkate alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada, operasyonel maliyetler, karbon emisyonları ve zaman pencerelerini eşzamanlı olarak dikkate alan çok amaçlı bir denetçi/teknisyen rotalama modeli önerilmektedir. Denetim faaliyetleri, kiralama yoluyla temin edilen içten yanmalı ve elektrikli araçlardan oluşan heterojen bir filo kullanılarak planlanmakta; araç atama, zamanlama ve rota planlama kararları bütünleşik bir yapı içinde ele alınmaktadır.

Model kapsamında elektrikli araçlar için şarj istasyonu seçimi, şarja başlama zamanı ve şarj süresi karar değişkenleri yer almakta olup, şarj istasyonlarında tam dolum varsayımı benimsenmektedir. Zaman pencereleri, araç menzili ve enerji kısıtları problemin temel kısıt setini oluşturmaktadır.

Problem, çok amaçlı bir karma tamsayılı programlama (MIP) modeli ile formüle edilmekte; toplam operasyonel maliyet, zaman penceresi ihlalleri ve karbon emisyonları amaç fonksiyonu olarak birlikte ele alınmaktadır. Önerilen model, bir vaka çalışması ve farklı test problemleri üzerinden sınanmış; elde edilen sonuçlar raporlanmıştır.

Çalışmanın sürdürülebilir ulaşım ve yeşil lojistik uygulamalarına yönelik denetçi/teknisyen rotalama problemleri için kapsamlı bir modelleme çerçevesi sunması hedeflenmektedir.

109 – A Human-Centered Heuristic Framework for Metaverse-Integrated Course Timetabling in Medical Education

Seçkin Damar *İstanbul Medeniyet University*
Gülşah Hançerlioğulları Köksalmış *İstanbul Technical University*

This study tackles the university course timetabling problem in the context of metaverse-integrated higher education, where scheduling complexity is amplified by specialized virtual environments and heterogeneous levels of instructor readiness. We propose a human-centered modeling and heuristic framework that explicitly incorporates instructor-specific constraints into the timetabling process. The proposed mathematical formulation captures both conventional and metaverse-enabled courses, diverse room modalities (physical and virtual), temporal constraints, and instructor eligibility profiles. To construct feasible schedules, we introduce GRAPE (Greedy Reassignment and Assignment for Professor Equity), a heuristic designed to prioritize the allocation of metaverse-based courses to instructors with higher readiness levels while maintaining overall assignment balance. A small-scale proof-of-concept illustrates the applicability of the approach for early-stage curriculum planning in metaverse-enhanced educational settings. Rather than aiming for full-scale optimization, the framework is intended as a flexible, feasibility-driven decision-support tool, particularly relevant for medical education environments adapting to emerging digital infrastructures.

110 – Akıllı Telefon Üretim Süreçlerinde Regresyon Testlerinin Risk Tabanlı Önceliklendirilmesine Yönelik Yazılımın Tasarlanması ve Geliştirilmesi

Tahir Enes Adak *AGM Teknoloji A.Ş.*
Azat Barış Mızraklı *AGM Teknoloji A.Ş.*
Harun Yahya Aydın *AGM Teknoloji A.Ş.*

Akıllı telefon üretiminde testler her yazılım güncellemesi ve hata düzeltmesi sonrası aynı sırayla baştan koşuluyor; bu da robotik test istasyonlarında zaman kaybına, kapasite darboğazına ve kritik hataların geç fark edilmesine yol açıyor. Geliştirdiğimiz yazılım regresyon testlerini sabit sıra yerine taşıdıkları riske göre sıralıyor: hata oluşma olasılığı, kritiklik, tespit hızı, bileşen bağımlılığı ve test süresini ağırlıklı bir skorda birleştirip yüksek riskli testleri öne alıyor; bağımlılık kısıtları korunarak uygulanabilir sıralar üretiliyor. Pilot üretim hattında eski sabit sırayla karşılaştırdık: APFD 0,52'den 0,78'e yükseldi, kritik hataların ilk %40'lık test diliminde yakalanması %45'ten %72'ye çıktı, toplam test süresi %22 azaldı ve test başına hata tespiti %17 arttı. Aynı altyapıyla birim zamanda daha çok cihaz test edilir hale geldi; sistemin yıllık yaklaşık 150.000 USD operasyonel kazanç sağlaması öngörülüyor.

111 – Yapay Zekâ Tabanlı Akıllı Kamera Preset Öneri Yazılımının Tasarlanması ve Geliştirilmesi

Tahir Enes Adak *AGM Teknoloji A.Ş.*
Azat Barış Mızraklı *AGM Teknoloji A.Ş.*
Harun Yahya Aydın *AGM Teknoloji A.Ş.*

Çoğu kullanıcı telefon kamerasında ISO, pozlama, kontrast ya da beyaz dengesi gibi ayarları elle düzenlemek yerine varsayılan modda çekim yapıyor. Geliştirdiğimiz yapay zekâ tabanlı yazılım, çekim ortamını analiz ederek kullanıcıya o sahneye uygun kamera preset değerlerini öneriyor. Profesyonel fotoğrafçıların farklı ışık ve sahne koşullarında tercih ettiği ayarları etiketli bir veri setine çevirdik; görüntüden çıkardığımız ışık seviyesi, renk dağılımı, kontrast, sahne türü ve kompozisyon özellikleriyle doğru ayar arasındaki ilişkiyi MobileNetV2 tabanlı hafif bir ağ ile Random Forest ve XGBoost modelleri öğrendi. Yazılımı Android işletim sistemli OMIX cihazlarda gerçek zamanlı çalışacak biçimde optimize ettik. Test sonuçlarında tahmin doğruluğu %84, ortalama öneri süresi 420 ms ve farklı koşullarda genelleme başarısı %78 oldu; gerçek kullanıcıların %86'sı önerilerin fotoğraf kalitesini artırdığını belirtti.

112 – Kullanıcı Davranış Analizine Dayalı Akıllı Mobil Ağ Yönetimi Yazılımı: Bir Endüstriyel Ar-Ge Projesinden Yaklaşım ve Deneyimler

Tahir Enes Adak *AGM Teknoloji Yatırım Sanayi Ticaret A.Ş.*
Azat Barış Mızraklı *AGM Teknoloji Yatırım Sanayi Ticaret A.Ş.*

Mobil iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte akıllı telefonlar hem 4G hem de 5G ağları üzerinden veri iletişimi gerçekleştirebilmektedir. 5G yüksek veri hızları sunmakla birlikte, yüksek bant genişliği gerektirmeyen kullanım senaryolarında gereksiz enerji tüketimine ve artan veri kullanım maliyetlerine yol açabilmektedir. Bu bildiri, kullanıcı davranış analizine dayalı akıllı bir mobil ağ yönetim yazılımının tasarımına ve geliştirilmesine yönelik yürütülmekte olan bir endüstriyel Ar-Ge projesini, projede ele alınan araştırma problemini ve bu problemi çözmek için izlenen yöntemi sunan bir deneyim bildirisidir. Önerilen sistem; kullanıcının lokasyonu, zaman dilimi, veri kullanım yoğunluğu, aktif uygulama türü, batarya seviyesi ve geçmiş ağ tercihleri gibi bağlamsal parametrelerden oluşan bir öznitelik vektörü üzerinden, en uygun ağ teknolojisinin (4G/5G) belirlenmesini ikili sınıflandırma problemi olarak ele almaktadır. Random Forest, XGBoost, LightGBM gibi makine öğrenme yöntemlerinin yanı sıra, LSTM tabanlı derin öğrenme yaklaşımlarının değerlendirildiği öğrenme tabanlı karar mekanizması, mobil uygulama ve bulut tabanlı veri analiz altyapısından oluşan bütünleşik bir mimari üzerinde çalışmakta; kullanıcıya gerçek zamanlı ağ geçiş önerileri sunmaktadır. Bildiride ayrıca beklenen faydalar, ölçülebilir başarı kriterleri ve teknik risklere karşı geliştirilen stratejiler tartışılmaktadır.

113 – Akıllı Telefonlarda CPU ve Batarya Sıcaklığına Dayalı Adaptif Hızlı Şarj Yönetim Yazılımı: Veri Temelli Bir Termal Kontrol Yaklaşımı

Tahir Enes Adak *AGM Teknoloji Yatırım Sanayi Ticaret A.Ş.*
Azat Barış Mızraklı *AGM Teknoloji Yatırım Sanayi Ticaret A.Ş.*

Hızlı şarj teknolojilerinin akıllı telefonlarda yaygınlaşması, şarj sürecinde işlemci (CPU) ve batarya bileşenlerinde belirgin sıcaklık artışlarına yol açmakta; bu durum cihaz performansını düşürmekte, batarya ömrünü kısaltmakta ve kullanıcı deneyimini olumsuz etkilemektedir. Bu bildiride, yürütülmekte olan bir endüstriyel Ar-Ge projesi kapsamında geliştirilen, akıllı telefonlarda CPU ve batarya sıcaklıklarını gerçek zamanlı izleyen ve şarj gücünü (watt seviyesini) dinamik olarak ayarlayan veri temelli, adaptif bir termal yönetim yaklaşımı bir deneyim bildirisi olarak sunulmaktadır. Önerilen sistem, cihaz sensörlerinden ve kullanım bağlamından elde edilen verileri çok değişkenli bir zaman serisi olarak modellemekte; LSTM, GRU ve TCN tabanlı derin öğrenme mimarileri ile cihazın kısa vadeli sıcaklık davranışını tahmin etmekte ve bu tahmini öngörülü (predictive) bir şarj gücü kontrol mekanizmasına girdi olarak aktarmaktadır. Bildiride problemin tanımı, izlenen yöntem, sistem mimarisi, beklenen faydalar ve nicel başarı ölçütleri paylaşılmakta; sabit eşik değerlerine dayalı kural tabanlı yaklaşımların yerini öğrenen ve kullanıcı davranışına uyum sağlayan termal yönetim sistemlerinin alması gerektiği görüşü savunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: akıllı telefon, hızlı şarj, termal yönetim, derin öğrenme, zaman serisi tahmini, adaptif kontrol

115 – Appointment Quota Optimization in a Warehouse Facility: A Mixed-Integer Programming Approach

Yeşim Sekmen *Türk Hava Kurumu Üniversitesi*
Durdu Hakan Utku *Türk Hava Kurumu Üniversitesi*

This study addresses an appointment quota optimization problem in a warehouse facility where overtime occurs despite low dock and workforce utilization. The facility considered in this study has six dock doors, two cargo types with different service-time characteristics, and a mobile workforce of five workers that can be shared among active dock operations. The analysis is based on operational records covering 43 working days and 981 vehicle visits. In the observed data, hourly workforce utilization remains below 41%, while overtime occurs on 74% of the working days. The service duration is found to depend on both the cargo type and the number of assigned workers, varying between 7 and 18 minutes. In addition, 96% of vehicles enter the facility after their scheduled appointment time, with an average delay of 15 minutes. To address this problem, a mixed-integer programming model is developed to determine appointment quotas for each time slot by operation type, cargo type, and personnel assignment level. In the proposed model, service duration is calculated according to the cargo type and the number of assigned workers. The model jointly considers workforce capacity, the rotating break structure, expected arrival delay, and personnel-dependent service durations in order to prevent appointment allocations that may lead to overtime. The objective function aims to generate an operationally feasible quota plan that eliminates overtime while minimizing deviations from the existing appointment distribution. The results show that the proposed quota plan can eliminate overtime while preserving the daily workload. Sensitivity analyses examine the effects of changes in daily vehicle volume, staffing level, and average arrival delay on solution feasibility and overtime prevention performance. The findings indicate that overtime in the analyzed system is not mainly caused by insufficient total workforce capacity, but by the interaction among the temporal distribution of appointments within the shift, late arrivals, cargo type, and personnel-dependent service durations.

116 – A Multi-Criteria Decision-Making Approach to Rank Daily Electricity Demand Forecasting Models under Uncertainty

Makan Foroutan *IstanbulTechnicalUniversity*
Seda Yanık Özbay *IstanbulTechnicalUniversity*

Short-term electricity demand forecasting is critical to the operation and planning of modern power systems, as it is used for various aspects of energy management and scheduling. Despite the advancements in machine learning and hybrid forecasting methods, choosing therightmodel for forecasting is still achallenge dueto the multitude of models available and the complex nature of electricity demand data. Most existing studies have focused mainly on improving the accuracy of point predictions or separately on quantifying uncertainty using interval predictions. Moreover, in studies using multi-criteria decision-making (MCDM) frameworks for the selection of forecasting models for electricity demand prediction, the evaluation of models has been mostly focused on accuracy- and bias-related criteria, while the uncertainty dimension has been largelyignored.

In order to fill these gaps, this research suggests an integrated approach that is confirmed on the basis of a practical case. This approach is developed with the use of BanE-16 data set containing the daily multivariate electricity consumption values and meteorological information for Bangladesh, (January 2018-April 2023), forming the basis of the proposed four-stage process of the assessment. The first stage comprises selectingvariousfeaturesusingfour approaches such as KBest, Recursive Feature Elimination (RFE), Random Forest Feature Importance (RF-FI), and XGBoost Feature Importance (XGB-FI). At the second stage, those sets of features will be combined with the five prediction models suchas Random Forest (RF), XGBoost (XGB), Support Vector Regression (SVR), ElasticNet Regression (ELNET) and Multilayer Perceptron (MLP), generating 20 hybrid prediction models. Each of these will produce a point prediction via the underlying prediction model and an interval prediction independently by Split Conformal Prediction (SCP) approach.

The third phase is the assessment of the alternatives in an MCDM environment based on accuracy (RMSE, MAPE, MAE, R2), bias (NMBE), and uncertainty (coverage rate and interval width) performance measures. The CRITIC method determines the weights of the criteria and the initial ranking is made by TOPSIS. The sensitivity of the criteria weights is checked using a one- at-a-time (OAT) analysis with low (±10%), moderate (±50%) and high (±90%) perturbations. The changed weights are used in the TOPSIS method and their influence on the ranking results is evaluated. As a validation, alternative rankings are also generated with VIKOR and COPRAS which are basedoncompromiseandproportionalaggregationlogicsrespectivelyandaredifferentfromthedistance-based logic of TOPSIS, thus allowing a more comprehensive and consistent validation. Finally, the Borda aggregation method is used to calculate a final consensus ranking.

In the fourth phase, the aim is to further investigate the quality of uncertainty quantification by explicitly considering temporal dependencies. To this end, the Ensemble Batch Prediction Intervals (EnbPI) method is applied to the top five ranked alternatives. This approach is implemented in two modes: a batch mode, where intervals are generated for the whole test set at once, and an adaptive mode, where intervals are updated sequentially over time.

The findings demonstrate that uncertainty-related criteria are given more weight than accuracy and bias measures, with average interval width being the most important factors in the assessment process. Sensitivity study shows that, while maintaining the basic ranking structure, ranking outcomes are quite stable under Low perturbations and generally consistent under moderate modifications, with more pronounced variances under extreme scenarios.In addition, the ranking methods show highagreementwith Spearmancorrelationvaluesof

0.93 between TOPSIS and VIKOR and 0.98 between TOPSIS and COPRAS which confirms the reliability of the ranking results.

The final ranking reveals XGB-FI_SVR, RFE_SVR, RFE_MLP, RFE_ELNET and XGB-FI_ELNET as the best-performing alternatives respectively. Furthermore, interval prediction comparisons indicate that SCP offers better coverage performance compared to the batch version of the EnbPI method, which, although reducing interval width, suffers from poor coverage results. In turn, the adaptive implementation of EnbPI partially alleviates this issue by achieving coverage rates closer to those provided by SCP while generally maintaining slightly narrower prediction intervals.

As a conclusion, it is shown that the success of forecasting models comes from the synergy of feature selection approaches and the models used in the forecasts and not from either individually. Additionally, the research findings demonstrate that the usage of time series-aware uncertainty prediction like EnbPI does not automatically lead to better uncertainty predictions, and the performance is very much dependent on the nature of the data. In addition, these results show the need for using an integrated approach in evaluating the forecasting models. Particularly, taking into account accuracy, bias, and uncertainty is crucial.

Keywords: Short-term electricity demand forecasting, Accuracy, Bias, Uncertainty quantification, Prediction intervals, Feature selection, Hybrid prediction models, multi-criteria decision making (MCDM), CRITIC, TOPSIS, Split conformal prediction (SCP), Ensemble Batch Prediction Intervals (EnbPI)

117 – Öğrenme Destekli Yapıya Duyarlı Gevşetme Seçimi ile Dışbükey Olmayan Kuadratik Kısıtlı Kuadratik Programların Çözümü

Müge Dedeoğlu *Sabancı Üniversitesi*
Burak Kocuk *Sabancı Üniversitesi*

Kuadratik kısıtlı kuadratik programlar (QCQP), sinyal işleme, elektrik güç sistemleri, portföy eniyilemesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu sınıftaki problemler genel olarak NP-zordur ve bu nedenle çözümlerinde dışbükey gevşetmelere dayanan yöntemler kullanılır. Bu yöntemler arasında Doğrusal Programlama (LP) ve Yarı Tanımlı Programlama (SDP) gevşetmelerinin kullanımı yaygındır. Bahsedilen iki gevşetmenin başarımı problem yapısına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bazı problem örneklerinde LP gevşetmesi daha güçlü sınırlar üretirken, SDP daha zayıf kalabilmektedir. Aynı şekilde tam tersinin gerçekleştiği durumlar da mevcuttur ve bu iki gevşetme hesaplama maliyeti açısından farklılık gösterebilir. Bu nedenle çalışmada amacımız, verilen bir problem örneği için öğrenme destekli "yapıya duyarlı" bir yöntem geliştirerek hangi gevşetmenin daha başarılı olduğunu önceden tahmin etmektir. Bu yöntemde problemin yapısını temsil etmek için problemi tanımlayan matrislerin özdeğer yapısı, seyreklik örüntüleri ve değişken sınırları gibi öznitelikleri kullanılmıştır. Önerilen yöntem farklı boyutlardaki QCQP örneklerine de uygulanabilecek biçimde tasarlanmıştır. Makine öğrenmesi tekniği olarak sınıflandırma ve regresyon modelleri kullanılmış olup LP gevşetmeleri Gurobi, SDP gevşetmeleri ise MOSEK Fusion API ile çözülmüştür. Yaklaşım çeşitli sentetik veri kümeleri ve MINLPLib örnekleri üzerinde değerlendirilmiş ve sonuçlar problem yapısından türetilen özniteliklerin gevşetme seçimi için ayırt edici bilgi taşıdığını göstermiştir. Gevşetme seçimi kök düğümdeki alt sınır kalitesinin yanı sıra, dal-sınır ağacı boyunca elde edilen sınır iyileşmesi ve çözüm süresi birlikte ele alınarak da değerlendirilmiştir. Dal-sınır algoritmasında gevşetmeler birçok düğümde tekrar tekrar çözüldüğü için, alt sınır kalitesinin yanında gevşetmenin çözüm maliyeti de önem kazanır. Daha maliyetli bir gevşetme, aynı bütçede daha az düğüm işlemesine rağmen daha güçlü alt sınırlar verebileceği gibi; daha ucuz bir gevşetme kısa sürede çok sayıda düğüm işleyerek aynı bütçede üstün gelebilir. Hangi gevşetmenin daha iyi sonuç vereceği problem yapısına bağlıdır. Bu amaçla, LP ve SDP gevşetmeleri aynı dallandırma politikası altında, eşit zaman bütçesi içinde karşılaştırılmış; elde edilen alt sınırlar ve çözüm süreleri, öznitelikler ile birlikte öğrenme modelinin eğitiminde kullanılmıştır. Böylece verilen hesaplama bütçesi içinde daha etkili gevşetme stratejisini öğrenebilen bir karar mekanizması elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dışbükey olmayan QCQP, dışbükey gevşetmeler, LP gevşetmesi, SDP gevşetmesi, makine öğrenmesi, dal-sınır algoritması.

118 – Kısa Ömürlü Ürünlerin Envanter Yönetiminde Raf Ömrü Odaklı Karar Süreçleri: Derin Pekiştirmeli Öğrenme Yaklaşımı

Damla Kara *Hitit Üniversitesi*
Ahmet Kara *Hitit Üniversitesi*

Kısa ömürlü ürünlerin envanter yönetimi kararları raf ömrü kısıtları, talep belirsizliği ve tedarik süresindeki gecikmeler gibi karmaşık etkileşimler nedeniyle zorlu problemler olmayı sürdürmektedir. Ürünlerde zamanla değer kaybı olması veya belirli bir süre sonunda tamamen kullanılamaz hale gelmesi klasik envanter kontrol politikalarının dinamik ve yüksek boyutlu sistem değişkenleri karşısında yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, tek aşamalı bir tedarik zincirindeki kısa ömürlü ürünlerin envanter yönetim problemi bir Markov Karar Süreci (Markov Decision Process-MDP) olarak modellenmektedir. Söz konusu model stokastik talep, sabit tedarik süresi ve bekleyen sipariş dinamiklerini içermekte olup, problemin çözümü Derin Pekiştirmeli Öğrenme (Deep Reinforcement Learning – DRL) tabanlı bir yaklaşımla ele alınmaktır. MDP formülasyonunda durum uzayı tasarımı; stoktaki ürünlerin yaş yapılı dağılımı, tedarik sürecinde gelmesi beklenen ürün miktarlarının zaman bazlı temsili ve önceki dönemden karşılanmayı bekleyen sipariş miktarları ile yapılandırılarak kurgulanmıştır. Modelin eylem uzayı optimal sipariş miktarlarını belirlemeye çalışırken, elde bulundurma, bekleyen sipariş ve bozulma maliyetleri bir ceza parametresi olarak ödül fonksiyonuyla ele alınmaktadır. DRL yaklaşımıyla ürünlerin kalan raf ömrü ile stok seviyeleri arasında doğrusal olmayan ilişki öğrenilerek, değişken operasyonel koşullara karşı adaptasyonu güçlü esnek sipariş politikaları üretilmektedir. Deneysel çalışmalar ve performans analizleri, önerilen DRL mimarisinin hem toplam maliyet minimizasyonunda hem de servis seviyeleri sürdürülebilirliği açısından üstün yönlerini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, karmaşık sistem dinamiklerini çok boyutlu bir öğrenme mimarisiyle ele alarak, sürdürülebilir akıllı envanter yönetimi literatürüne katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kısa ömürlü ürünler, envanter yönetimi, derin pekiştirmeli öğrenme, stokastik talep.

119 – Yeni Pazara Girişte Müşteri Odaklı Ürün Geliştirme: Kalite Fonksiyonu Göçerimi Tabanlı bir Uygulama

Selim Gecü *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Gözde Özer *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Elif Bozdoğanlı *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Ayşe Arslan *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Büşra Doğan *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Zeynep Gergin *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Ürünlerin müşteri beklentilerine göre tasarlanması ve bu beklentilerin zamanla değişen yapısının sürekli olarak izlenip ürünlere yansıtılması yoğun rekabet ortamında büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda firmaların tüketici tercihlerini proaktif bir şekilde takip ederek ürünlerini güncellemesi gerekmektedir. Özellikle gıda sektöründe, kullanıcı deneyimi ve ürün performansı müşteri memnuniyetini doğrudan etkilediği için bu yaklaşım rekabet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca, hazır kullanıma uygun, hijyenik ve pratik ürünlere olan talebin artması, peynir gibi süt ürünlerinde de ürün tasarımı stratejilerinin yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu çalışma, 1974 yılında kurulmuş ve Türkiye'de faaliyet gösteren köklü bir peynir üreticisinin üçgen eritme peynir ürününü Marmara bölgesine sunma stratejisi için yeni ürün tasarımında ihtiyaç duyulan geliştirmeleri müşteri odaklı bir yaklaşımla analiz etmeyi amaçlamaktadır. Firma hâlihazırda üçgen eritme peynir ürününü Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgelerinde pazarlamakta olup, Marmara bölgesi potansiyel bir genişleme pazarı olarak değerlendirilmektedir. Araştırmanın temel amacı, üçgen eritme peynir ürününün Marmara bölgesinde başarılı bir şekilde konumlandırılabilmesi için hedef pazardaki müşteri beklentilerini belirlemek, uygun ürün özelliklerini tanımlamak ve yeni ürün tasarımı için öneriler geliştirmektir. Bu doğrultuda, öncelikle girilecek pazardaki hedef kitle belirlenmiş ve veri toplama amacıyla bu kitleye yönelik bir anket tasarlanmıştır. Yüz yüze görüşmelerle uygulanan anketler ile Marmara bölgesine özgü müşteri beklentileri ve ağırlıkları ile rakip ürün kıyaslamalarına dair kapsamlı veri toplanmıştır. Daha sonra müşteri beklentilerini tasarım için kullanılacak teknik ürün özelliklerine dönüştürmek için Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla Kalite Evi matrisi oluşturularak, beklentiler ile teknik spesifikasyonlar arasındaki ilişkiler ve rakip ürüne göre mevcut ürünün durumu analiz edilmiştir. Analizler sonucu, bulguların işaret ettiği gelişime açık alanlar için firmaya yeni ürün tasarımı için öneriler sunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, ürünün Marmara bölgesi hedef kitlesine uygun olarak tasarlanabilmesi için gerekli müşteri beklentileri ile iyileştirilmesi gereken teknik spesifikasyonlar açık bir şekilde tespit edilmiştir. Bu bulgular, firmanın Marmara bölgesine giriş stratejisini destekleyecek ve ürünün pazardaki rekabet gücünü artıracak niteliktedir.

120 – Otomotiv Yansanayinde Kaliteyi Artırmaya Yönelik Veri Madenciliği Uygulamaları

Melike Tosun *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Bora Kaan Haydar *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Emir Özbay *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Barış Akman *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Asil Aytaç Özer *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Zeynep Gergin *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Otomotiv sektörü, ürün kalitesi ve güvenilirlik açısından en yüksek beklentilere sahip sektörlerden biridir ve körük üretim süreçlerinden kauçuk vulkanizasyonu önemli bir üretim sürecidir. Vulkanizasyon, kauçuğun ısı ve basınç altında kimyasal olarak bağlanmasıyla gerçekleşir ve böylece daha dayanıklı ve esnek bir malzeme elde edilir. Bu çalışmada incelenen firma, Türkiye'de faaliyet gösteren bir otomotiv yan sanayi şirketidir ve üretim tesisinde farklı körük modellerinin üretildiği çok sayıda vulkanizasyon istasyonu bulunmaktadır. Firma, üretim sırasında istasyon, operatör, zaman, ürün çeşidi ve markası gibi bilgileri dijital olarak kaydetmektedir. Ayrıca kalite kontrol süreçlerinde hatalı ürünler tespit edilmekte ve hata türüne göre sınıflandırılmaktadır. Ancak, üretim değişkenleri ile hatalar arasındaki ilişkileri analiz eden sistematik bir yöntem henüz geliştirilmemiştir. Bu nedenle hataların nedenleri tam olarak anlaşılamamakta, hata tespit ve iyileştirme çalışmaları daha çok tecrübeye dayanmaktadır. Üretim sürecinde dört ana hata grubu vardır: A (Dış Yüzey Hataları), B (İç Yüzey Hataları), C (Kord Bezi Hataları) ve D (Conta Bölgesi Hataları). Her hata türü farklı ve birden çok üretim değişkeninden etkilenebilir ve bu da kök neden analizini zorlaştırır. Bu çalışmanın amacı, 2025 yılı üretim verisi ile veri madenciliği yöntemleri kullanılarak üretim değişkenleri ile hatalar arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmaktır. İstasyon Adı, Ürün, Marka, Vardiya, Gün, Ay, Ekip, Personel Kodu ve Hata Türü olmak üzere 9 öznitelik ve 5.596 kayıttan oluşan veri setine ilk olarak K-Means kümeleme algoritması uygulanmış, ancak bu yöntemin hata sınıflarını net şekilde ayıramadığı görülmüştür. Daha sonra Apriori birliktelik kuralları yöntemi uygulanarak 49 anlamlı kural elde edilmiştir. Örneğin, belirli bir personelin A sınıfı hatalarda en yüksek yoğunlaşmayı göstermesi, belirli bir istasyonda, belirli bir ürünün B sınıfı hatayla ilişkili olması ve tek bir operatörün D sınıfı hatalarda öne çıkması bunların başında gelmektedir. Bu bağlamda, hata türünün personel, istasyon ve ürün türüyle ilişkili olduğu görülmüştür. Analizler, hataların vardiya saati veya ay gibi zaman faktörlerinden çok diğer üretim faktörleriyle ilişkisini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, hataların dağılımını ve üretim faktörleriyle ilişkilerini daha iyi anlamayı sağlamaktadır. Bu çalışma aynı zamanda veri temelli bir karar destek sistemi için temel oluşturmaktadır; oluşturulan kural temelli yapı ile gelecek dönem üretim planlamaları için hataları azaltacak şekilde, farklı istasyon ve operatör atama kararları verilebilir. Sonuç olarak, bulguların sürekli kalite iyileştirme çalışmalarına stratejik katkı sağlaması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Veri madenciliği, kalite kontrol

121 – Çok Amaçlı Eşitlikçi Eniyileme için Bir Çözüm Yaklaşımı

Behçet Çağlar Ulutaş *Bilkent Üniversitesi*
Özlem Karsu *Bilkent Üniversitesi*
Firdevs Ulus *Bilkent Üniversitesi*

Bu çalışmada, eşitlikçi çok amaçlı eniyileme problemleri için bir çözüm yöntemi incelenmektedir. Bu problemler, her bir faydalanıcının elde edeceği faydanın ayrı bir amaç fonksiyonu ile temsil edildiği ve karar vericinin adillik duyarlılığını içeren bir tercih yapısına sahip olduğu durumları kapsamaktadır. Klasik Pareto çözüm kavramının yetersiz kaldığı bu problemlerde, eşitlikçi Pareto çözümler, temel çözüm kümesi olarak önerilmektedir.

Eşitlikçi doğrusal ve eşitlikçi (karışık) tamsayılı eniyileme problemleri için, α-adillik fonksiyonlarına dayalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Eşitlikçi problemlerde var olan simetri gibi özellikler nedeniyle klasik skalerleştirme tekniklerinden farklılaştırılmış modeller kullanılmış, parametre uzayı analizi de benzer şekilde eşitlikçi eniyileme problemlerine uyarlanmıştır. Bu yaklaşım, yalnızca farklı adillik duyarlılıklarına karşılık gelen eşitlikçi Pareto çözümleri üretmekle kalmayıp, her bir çözümün hangi duyarlılık alanına karşılık geldiğini de parametrik olarak sunabilmektedir.

122 – Sürdürülebilir Demontaj Sistemleri İçin Kısmi Hat Dengeleme: Pekiştirmeli Öğrenme Tabanlı Bir Yaklaşım

Burcu Tokbay Erkek *Pamukkale Üniversitesi*
Aşkıner Güngör *Pamukkale Üniversitesi*
Can Berk Kalaycı *Pamukkale Üniversitesi*

Sınırlı kaynakların etkin kullanımı, giderek sıkılaşan çevresel düzenlemeler ve artan sürdürülebilirlik farkındalığı, kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanım süreçlerini kritik hale getirmiştir. Bu bağlamda, ürünlerin yeniden kullanım, geri dönüşüm veya güvenli bertaraf amacıyla bileşenlerine ayrıldığı demontaj süreçleri, tersine lojistik sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Demontaj faaliyetleri, ürünün tüm bileşenlerinin ayrıldığı tam demontaj veya yalnızca ekonomik değeri yüksek, yeniden kullanılabilir ya da tehlikeli bileşenlerin söküldüğü kısmi demontaj olarak gerçekleştirilebilmektedir. Kısmi demontaj, gereksiz işlemleri elimine ederek süre, maliyet ve çevresel etki açısından önemli avantajlar sağlamakta; aynı zamanda işletmeler için daha esnek ve uygulanabilir bir geri kazanım stratejisi sunmaktadır. Bu yönüyle kaynak kullanımının azaltılması, süreç verimliliğinin artırılması ve çevresel yüklerin minimize edilmesi açısından önemli fırsatlar barındırmaktadır.

Literatür incelendiğinde, demontaj hattı dengeleme çalışmalarının büyük ölçüde tam demontaj yapısına odaklandığı, kısmi demontajı ele alan çalışmaların ise sınırlı kaldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarını bütünleşik olarak değerlendiren çalışmaların da yeterli düzeyde olmadığı dikkat çekmektedir. Bu boşluktan hareketle, bu çalışmada kısmi demontaj hattı dengeleme (KDHD) problemi sürdürülebilirlik perspektifi altında ele alınmıştır. Problem kapsamında, demontaj görevlerinin öncelik ilişkileri dikkate alınarak istasyonlara atanması amaçlanmakta; bunun yanı sıra görev seçimi ve istasyon açma kararları da eş zamanlı olarak optimize edilmektedir. Bu doğrultuda, görev atama, istasyon açma ve görev seçimi kararlarını içeren tamsayılı doğrusal programlama tabanlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen modelde amaç fonksiyonu, sürdürülebilirliğin üç temel boyutu olan ekonomik, sosyal ve çevresel etmenleri bütünleşik biçimde ele alarak yalnızca operasyonel verimliliği değil, aynı zamanda sürdürülebilir sistem performansını da artırmayı hedeflemektedir. Böylece karar verme sürecinde sürdürülebilirliğin farklı boyutları bir arada değerlendirilebilmektedir.

KDHD probleminin karmaşık yapısı nedeniyle, matematiksel modele ek olarak probleme yönelik pekiştirmeli öğrenme tabanlı alternatif bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Pekiştirmeli öğrenme, bir ajanın çevre ile etkileşim kurarak en uygun karar politikasını öğrenmesine dayanan bir öğrenme yaklaşımıdır. Bu kapsamda KDHD problemi bir Markov karar süreci olarak modellenmiştir. Önerilen yaklaşımda ajanın eylemleri, belirli atama kurallarından birinin seçilerek mevcut istasyona görev atanması şeklinde tanımlanmıştır. Ajan, her karar adımında sistemin mevcut durumunu değerlendirerek uygun eylemi seçmekte ve durum geçişleri üzerinden öğrenme sürecini ilerletmektedir. Tekrarlanan etkileşimler sonucunda ajan, yüksek kaliteli atama politikaları geliştirerek etkin ve sürdürülebilir çözümler üretmektedir.

Çalışmanın temel katkıları, KDHD problemi için sürdürülebilirlik odaklı bütünleşik bir matematiksel modelin geliştirilmesi ve probleme uygulanabilir bir pekiştirmeli öğrenme yaklaşımının önerilmesi olarak özetlenebilir. Bu yönüyle çalışma, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta ve sürdürülebilir demontaj sistemlerinin tasarımına yönelik geliştirilebilir bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.

Bu çalışma 124M393 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

123 – Kısmi Demontaj Hattı Dengeleme Problemi için Çok Amaçlı Evrimsel Optimizasyon Yaklaşımı

Elif Güler *Manisa Celal Bayar Üniversitesi*
Can Berk Kalaycı *Pamukkale Üniversitesi*
Mehmet Ali Ilgın *Manisa Celal Bayar Üniversitesi*

Sürdürülebilir kalkınma ve döngüsel ekonomi kapsamında, geri dönüşüm ve yeniden imalat gibi ürün geri kazanım seçeneklerinin etkinliği büyük oranda demontaj sürecine bağlıdır. Tüm görevlerin gerçekleştirilmesinin zorunlu olduğu tam demontajın aksine, kısmi demontaj yaklaşımı, seçici söküme olanak sağlaması nedeniyle daha esnek bir yapı sunmaktadır. Kısmi demontajın seçici yapısı hangi parçaların demonte edileceğine ve bu parçalara ait görevlerin hangi iş istasyonlarına atanacağına ilişkin kararları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle kısmi demontaj hattı dengeleme problemi, tam demontaj hattı dengeleme problemine kıyasla daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Literatürde, kısmi demontaj hattı dengeleme probleminin çoğunlukla ekonomik amaçlar dikkate alınarak çözüldüğü görülmektedir. Ancak, alınan her bir söküm kararının ekonomik etkileri yanında sosyal ve çevresel etkileri de bulunmaktadır. Dolayısıyla bu problem, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlar arasında güçlü bir bağımlılık ilişkisi bulunan bütünleşik bir karar yapısına sahiptir. Bu yapı, kısmi demontaj hattı dengeleme probleminin çok amaçlı optimizasyon yaklaşımlarıyla çözülmesini bir gereklilik haline getirmektedir. Bu çalışmada, sürdürülebilirlik kararlarının bütünleşik bir yapıda ele alındığı çok amaçlı bir matematiksel model sunulmaktadır. Önerilen modelin uygulanabilirliğinin gösterilmesi amacıyla doğal evrim süreçlerinden esinlenen çok amaçlı evrimsel algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritmalar ile rastgele oluşturulan başlangıç popülasyonu üzerinde iteratif iyileştirmeler yapılarak Pareto-optimal çözümler üretilmektedir. Mutasyon ve çaprazlama gibi operatörler aracılığıyla yeni aday çözümler üretilmekte ve daha iyi bireylerin sonraki nesillere aktarılması sağlanmaktadır. Problemin karmaşık ve çok amaçlı yapısı nedeniyle çözüm sürecinde Pareto tabanlı çok amaçlı evrimsel algoritmalar uygulanarak elde edilen sonuçlar sürdürülebilirlik kararları arasındaki ödünleşim ilişkileri açısından analiz edilmiştir. Yapılan analizler ile sürdürülebilirlik amaçları arasında belirgin ödünleşim ilişkilerinin olduğu ve demontaj görevlerindeki değişimlerin Pareto-optimal çözüm sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Elde edilen bulgular, kısmi demontaj hattı dengeleme süreçlerinde tek boyutlu karar yaklaşımlarının yetersiz kaldığını açıkça göstermektedir. Çok boyutlu bir değerlendirme sistemi, daha dengeli, esnek ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır.

Bu çalışma 124M393 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kısmi demontaj, hat dengeleme, sürdürülebilirlik, çok amaçlı optimizasyon, metasezgisel algoritmalar.

124 – Otomotiv Sektöründe Değişken Üretim Temposuna Uyumlu Akıllı Kaynak Optimizasyon Sistemi

Arda Atman *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Emirhan Çakır *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Selinay Kahraman *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Naz Şengüler *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Emre Çimen *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Ceyda Akyol *Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.*

Günümüz otomotiv sanayisinde, değişken üretim tempolarına ve artan ürün çeşitliliğine anlık uyum sağlamak büyük bir operasyonel zorluktur. Özellikle yüksek üretim hacmine ve ürün çeşitliliğine sahip ağır ticari araç montaj tesislerinde, araçların tek bant üzerinden konveyör boyunca ilerlediği; ancak üretim hattının farklı noktalarına tam zamanında (Just-In-Time - JIT) ve tam sırasında (Just-In-Sequence - JIS) prensipleri doğrultusunda çok yönlü parça beslemesinin yapıldığı yapılarda, iç lojistik yönetimi kritik bir rol oynamaktadır. Bu tür tesislerde üretim yöneticilerinin karşılaştığı en temel problem; "Hangi üretim temposu için sahada kaç taşıma aracına ve operatöre ihtiyacımız var?" sorusuna anlık, kanıta dayalı ve isabetli bir yanıt verilememesidir. Manuel ve statik planlama yöntemleri, düşük üretim tempolarında ihtiyaç fazlası araç kullanımına ve atıl iş gücüne sebep olurken; yüksek tempolarda malzeme beklemelerinden kaynaklı hat duruşlarına yol açmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu problemi ortadan kaldırmak amacıyla, gerçek saha verileriyle geliştirilmiş ve doğrulanmış dinamik bir karar destek sistemi sunmaktadır. Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) ve Üretim Yürütme Sistemlerinden (MES) sahanın iç lojistik haritasını çıkaran 50.000 satırı aşkın operasyonel veri, istatistiksel Çeyrekler Arası Aralık (IQR) yöntemiyle filtrelenmiş ve operasyon süresi normalize edilmiştir. Temizlenen bu veriler, deterministik hesaplamalar yerine sahayı birebir taklit eden SimPy tabanlı bir ayrık olay simülasyonuna aktarılarak fabrikanın "dijital davranışı" kurgulanmıştır.

Taşıma araçlarının (Tow Truck, Reach Truck) rotasyonu ve operatör atamaları için "Kara Kutu (Black-Box) Optimizasyonu" yaklaşımı benimsenmiştir. Optimizasyon fazında iki aşamalı bir hibrit model kullanılmıştır. Öncelikle Izgara Arama (Grid Search) algoritması ile binlerce ihtimal geniş ölçekli taranarak potansiyel iyileşme bölgeleri haritalandırılmış, ardından Bayesian Optimizasyonu ile geçmiş denemelerden öğrenen akıllı bir arama süreci yürütülmüştür. Geliştirilen modelin sahadaki yansımalarını izlenebilir kılmak amacıyla, Unreal Engine platformunda "Dinamik Sanal Temsil Modeli" inşa edilmiştir.

Proje kapsamındaki kamyon montaj alanı için yürütülen yaklaşık 600 insan-saatlik kapsamlı analizler neticesinde; mevcut operasyonel performans seviyeleri korunarak yaklaşık %7,4 oranında bir kapasite tasarrufu sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Elde edilen bu iyileştirme ile tesis içi trafik yoğunluğu azaltılmış, operatörler arası iş yükü dengelenmiş ve Endüstri 5.0 vizyonuna uyum güçlendirilmiştir.

Sonuç olarak; sahadan akan verilerle kendi parametrelerini sürekli güncelleyen bu çalışma sayesinde, otomotiv sektörü başta olmak üzere tüm yüksek hacimli üretim tesislerinde yöneticilerin anlık olarak kullanabileceği, veri odaklı, sürdürülebilir ve kullanıma hazır bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

126 – Türkiye'deki Büyükşehirlerin Sağlıklı Şehirler ve Toplumlar Bağlamında Performans Analizi

Nazlı Begüm Aktaş *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Muhammet Efdal Yılmaz *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Ahmet Çelebi *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Günümüzde hızla artan kentleşme, hava kirliliği, çevresel bozulma ve sağlık sistemleri üzerindeki artan baskı gibi çok boyutlu sorunları beraberinde getirmektedir. Bu gelişmeler, şehir ve toplumlarının performanslarının sadece ekonomik değil; sürdürülebilirlik, halk sağlığı ve yaşam kalitesi açısından da değerlendirilmesi gerekliliğini öne çıkarmaktadır. Bu bağlamda, Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) "Sağlıklı Şehirler" yaklaşımı ile Birleşmiş Milletler'in (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (özellikle SKA 3: Sağlık ve Refah ve SKA 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) ile kentsel çevrelerin insan sağlığı üzerindeki etkisinin merkeze alınarak değerlendirilmesi ihtiyacını desteklemektedir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye'deki 30 büyükşehrin "Sağlıklı Şehir" performansını değerlendirmek amacıyla Kategorik Veri Zarflama Analizi (VZA) yaklaşımı benimsenmiştir. Analiz sürecinde şehir performansı; kentsel sağlık altyapısı, yeşil alan varlığı, yaşam kalitesi ve sürdürülebilirlik göstergelerini içeren çok boyutlu kriterler çerçevesinde ele alınmıştır. Şehirler, benzer yapısal özelliklerine göre K-Means kümeleme yöntemi kullanılarak gruplandırılmış ve her bir şehrin yalnızca kendi benzerleri ile karşılaştırılması sağlanarak daha gerçekçi ve anlamlı bir etkinlik değerlendirme süreci ortaya koyulmuştur. Bu doğrultuda, şehirler nüfus büyüklüklerine göre kategorize edilmiş ve etkinlik ölçümleri Kategorik VZA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen etkinlik skorlarının istatistiksel güvenilirliğini artırmak amacıyla iki aşamalı bootstrap yaklaşımı uygulanmış; son aşamada ise şehir performansını etkileyen dışsal faktörler kesikli regresyon analizi ile incelenmiştir. Böylece yalnızca göreli etkinlik düzeyleri değil, aynı zamanda performans farklılıklarının altında yatan belirleyiciler de ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, çalışma şehir performansını "Sağlıklı Şehirler" çerçevesi doğrultusunda ele alarak hem metodolojik hem de uygulamaya yönelik katkılar sunmaktadır. Elde edilen bulguların, düşük performans gösteren metropol alanların belirlenmesinde, şehirler arası farklılıkların daha sağlıklı analiz edilmesinde ve Türkiye'nin kalkınma planları ile uyumlu sürdürülebilir kentsel politika önerilerinin geliştirilmesi açısından karar vericilere yol gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sağlıklı Şehirler, Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar, Kategorik VZA, İki Aşamalı Bootstrap Yöntemi

129 – Üretim Parametrelerinden Görsel Çıktıya: Denim Lokal Ağartma için Difüzyon Tabanlı Modelleme

İbrahim Erdem Kalkan *Çukurova Üniversitesi*
Cenk Şahin *Çukurova Üniversitesi*
Onur Balcı *Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi*
Ebru Çalışkan *Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi*
Esra Tabaş Asiltürk *Baykan Denim ve Ar-Ge Merkezi*

Denim endüstrisinde istenen estetik görsel etkilerin elde edilmesi çoğunlukla emek yoğun ve öznel deneme-yanılma süreçlerine dayanmaktadır. Bu durum, tekrarlayan üretim hatalarına, yüksek malzeme israfına ve ciddi çevresel maliyetlere yol açmaktadır. Bu çalışma, denim imalatında ürüne görsel etki kazandıran lokal ağartma sürecinin çıktılarının tahmini için iki temel görsel üretici modelleme yaklaşımını, Latent Difüzyon Modelleri (LDM) ve alternatif bir karşılaştırma yöntemi olarak Üretici Çekişmeli Ağları (GAN), karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir. Önerilen yaklaşım, konfeksiyonu tamamlanmış ham denim ürün görüntüleri ile kumaşa ait yapılandırılmış ve sürekli öznitelikleri, proses parametreleriyle entegre eden çok modlu bir "süreçten-çıktıya" modelleme çerçevesine dayanmaktadır. Bu kapsamda amaç, üretim parametrelerinden nihai görsel dönüşümlere doğrudan bir eşleme kurarak süreç çıktılarının üretim öncesinde görselleştirilmesi ve manuel, tekrarlı deneme süreçlerinden kaynaklanan kayıpların minimize edilmesidir. Deneysel sonuçlar, önerilen yaklaşımın üretim öncesi doğru görselleştirme sağlayarak fiziksel denemeleri azalttığını göstermektedir. Bu durum, daha kısa geliştirme süreleri, düşük operasyonel maliyetler ve su, kimyasal ile enerji tüketiminde önemli tasarruflar sunmaktadır. Ayrıca, probleme özgü olarak sıfırdan eğitilen Latent Difüzyon Modellerinin, GAN tabanlı yaklaşımlara kıyasla algısal kalite ve anlamsal uyum açısından daha üstün performans sergilediği gözlemlenmiştir (FID: 9.96, CLIP: 97.49). Bu çalışma, üretim sürecini doğrudan görsel çıktılar üzerinden modelleyerek daha verimli ve sürdürülebilir bir tekstil üretim yaklaşımına katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Latent Difüzyon Modelleri; Üretici Çekişmeli Ağlar, Hazır Giyim İmalat Süreçleri Çok Modlu Üretici Modelleme; Veri Odaklı Süreç Optimizasyonu

130 – Çoklu Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi

Eslem Betül Göçmen *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Nihal Gözlemeci *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, üretim planlama, tedarikçi seçimi ve risk analizi gibi birçok endüstri mühendisliği probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, farklı türlerde ve değişen önem düzeylerinde (ağırlıklarında) birden fazla kriter içeren karar problemlerine çözümler sunan bir teknikler bütünüdür. Bu yöntemler, matematiksel yapıları, kavramsal yaklaşımları ve değerlendirme mantığı açısından önemli ölçüde farklılık gösterir. Bu durum, karar vericilerin uygun yöntemi seçmesini ve elde edilen sonuçları yorumlamasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, TOPSIS, VIKOR, COPRAS, CODAS, EDAS ve ARAS yöntemlerinin tedarikçi seçim problemi üzerindeki sıralama davranışlarını 600 problem örneği kullanarak karşılaştırmalı olarak incelemek ve yöntemler arasındaki benzerlik, farklılık ve uyum düzeylerini, farklı değerlendirme koşullarını da dahil ederek, istatistiksel analizlerle ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda, tedarikçi seçimi problemi için beş alternatif ve beş ana kriter belirlenmiş, sistematik olarak 600 farklı problem örneği oluşturulmuştur. Kriter ağırlıkları SWARA ve Entropy yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sıralama sonuçları, yöntemlerin genel uyumunu belirlemek amacıyla Kendall's W ve Weighted Kendall's W; yöntemler arasındaki ikili benzerlikleri incelemek amacıyla ise Kendall's Tau, Spearman Rank Correlation ve Weighted Spearman Rank Correlation analizleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca yöntemlerin en iyi alternatifi seçme konusundaki uyumunu belirlemek için Top-1 Agreement analizi uygulanmış, kriter puanları ve kriter ağırlıklarının benzerlik üzerindeki etkisini incelemek amacıyla ise varyans temelli analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, ÇKKV yöntemlerinin genel olarak benzer karar verme eğilimleri gösterdiğini, ancak değerlendirme koşullarına bağlı olarak benzerlik düzeylerinin değişebildiğini ortaya koymuştur. Gerçekleştirilen analizler sonucunda yöntemler arasında benzer davranış sergileyen kümeler belirlenmiş, kriter ağırlıkları ile alternatif puanlarının bu benzerlik üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar ısı haritaları aracılığıyla görselleştirilerek yöntemler arasındaki benzerlik, farklılık ve küme yapıları kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma altı farklı ÇKKV yöntemini geniş ölçekli problem örnekleri üzerinde çok yönlü istatistiksel analizlerle karşılaştıran özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Literatürde benzer kapsam ve ölçekte karşılaştırmalı bir çalışmanın bulunmaması nedeniyle elde edilen bulguların hem gelecekte yapılacak metodolojik araştırmalara hem de karar vericilerin uygun yöntem seçimlerine katkı sağlaması beklenmektedir.

131 – Şeker Hamuru Ürününün Geliştirilmesi için Kalite Fonksiyonu Göçerimi Uygulaması

Nazım Berk Güner *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Zeynep Koçak *İstanbul Kültür Üniversitesi*
İlayda Nur Karabulut *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Ceyda Ardal *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Mert Gülcan *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Zeynep Gergin *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Günümüz rekabet ortamında müşteri memnuniyeti, işletmelerin sürdürülebilir başarısının en önemli belirleyicilerinden biri haline gelmiştir. Özellikle pastacılık hammaddeleri gibi gıda sektörlerinde ürün kalitesi, müşteri deneyimini doğrudan etkilediği için müşteri ihtiyaçlarının doğru anlaşılması ve teknik özelliklere dönüştürülmesi kritik önem taşımaktadır. Bu çalışma çikolata ürünleri, kek karışımları, dondurmacılık ürünleri, modelleme hamuru çeşitleri ve pastacılık ürünleri gibi farklı ürün gruplarında üretim yapan bir gıda firması bünyesinde üretilen şeker hamuru ürünlerinin kalite performansını artırmaya ve müşteri beklentilerine daha uygun hale getirilmesine odaklanmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı; müşteri gereksinimlerini belirlemek, bu gereksinimleri ölçülebilir teknik üretim parametrelerine dönüştürmek ve mevcut ürünün rakiplerle karşılaştırmalı analizini yaparak iyileştirme alanlarını ortaya koymaktır. Çalışmanın metodolojik temelini, müşteri beklentilerini ürün tasarım sürecine entegre eden Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) yöntemi oluşturmaktadır. KFG kapsamında geliştirilen Kalite Evi matrisi aracılığıyla müşteri beklentileri ile teknik özellikler arasındaki ilişkiler sistematik olarak analiz edilmiştir. Ayrıca müşteri beklentilerinin önem derecelerini belirlemek amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Araştırma sürecinde üretim aşamaları, hammadde özellikleri ve kalite kontrol uygulamaları saha gözlemleri ile incelenmiş; profesyonel pastacılarla yapılan kapsamlı görüşmelerle kullanıcı beklentileri belirlenmiştir. Ayrıca rakip ürünlerle Teknik spesifikasyonlar açısından kıyaslamalar yapılarak performans farkları ve gelişime açık alanlar değerlendirilmiştir. Ön analizler, ürünün temel formülasyonunun güçlü olduğunu ancak yapışkanlık, elastikiyet, doku stabilitesi, çatlama ve şekillendirme zorluğu gibi müşteri beklentilerinde geliştirme ihtiyacı olduğunu göstermiş ve ilgili teknik spesifikasyonlar için alternatif iyileştirmeler önerilmiştir. Bu iyileştirmelerin ürün üzerindeki etkilerini istatiksel olarak doğrulayabilmek adına çalışmanın devamında Deney Tasarımı uygulanması önerilmektedir. Böylece önerilen iyileştirme senaryoları yalnızca teorik bir değerlendirme olmaktan çıkarak ölçülebilir ve doğrulanabilir bir yapıya kavuşması hedeflenmektedir. Önerilerin, firmanın pazardaki konumunu güçlendirerek daha rekabetçi ve müşteri odaklı bir yapıya ulaşmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

132 – Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına Yönelik Eğitimde Engelsiz Ulaşım Vaka Çalışması

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yekta Kayman *Doğuş Üniversitesi*
Dr. Öğr. Üyesi Melike Öztürk *Doğuş Üniversitesi*
Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç Onan *Doğuş Üniversitesi*

Birleşmiş Milletler (BM) 2030 Gündemi kapsamında belirlenen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) şunları hedefler: kapsayıcı ve adil olan kaliteli eğitim imkanlarının herkes için erişilebilir kılınması (SKA 4: nitelikli eğitim), kırılgan durumdaki bireylerin ihtiyaçlarına önem vererek herkes için güvenli, erişilebilir ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi (SKA 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar). Bu çalışma, bahsedilen küresel hedeflerle bağlantılı olarak, özel gereksinimli bireylerin eğitim olanaklarına ulaşmasındaki fiziksel engelleri kaldırmaya odaklanmaktadır. "Engelsiz Ulaşım" teması altında ele alınan bu problem, toplumsal entegrasyonun kritik aşamalarından biri olan ulaşım problemini, modern optimizasyon teknikleriyle çözmeyi amaçlar. Çözülmesi gereken problem; özel gereksinimli bireylerin evlerinden alınarak eğitim kurumlarına güvenli bir şekilde ve en kısa zamanda taşınmasını ve ders sonunda tekrar evlerine bırakılmalarını sağlayan bir problemdir. Bu problem, literatürde tanımlanmış genel Okul Servisi Rotalama Probleminin (SBRP) özel bir alt türüdür ve literatürdeki standart SBRP'lerden farklıdır. Klasik modellerde öğrenciler belirli durak noktalarına yönlendirilirken, bu çalışmada her bir öğrencinin evi ayrı bir düğüm (node) olarak tanımlanmıştır. Bu durum, çözüm uzayını genişleterek hesaplama karmaşıklığını artırmaktadır. Ayrıca, özel gereksinimli bireyler için özel olarak tasarlanmış araçlar kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada gerçek hayat verileri kullanılarak optimizasyon yapılmaktadır. Öklid uzaklığına dayalı mesafe hesaplaması yapmak yerine, dijital harita uygulaması kullanılarak gerçek ulaşım süreleri hesaplanmıştır. Trafik yoğunluğu gibi gün içinde değişkenlik gösteren faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Amaç fonksiyonu toplam yolculuk süresinin minimizasyonudur. Bu yaklaşım, özel gereksinimli bireylerin araç içerisinde geçirdikleri süreyi kısıtlayarak olası fiziksel ve psikolojik yorgunlukların önüne geçmeyi amaçlar. Çalışmada kullanılan veri seti, 29 öğrenciden oluşan ve "nispeten küçük ölçekli" olarak kategorize edilen gerçek hayat vaka verilerini içermektedir. Problemin doğası gereği kombinatoryal bir yapıda olması, meta sezgisel yöntemlerin kullanımını gerektirmiştir. Problemi çözmek için Gri Kurt Optimizasyonu (GWO), Harris Şahini Optimizasyonu (HHO) meta sezgiselleri kullanılmıştır. Uygulama aşamasında, algoritmaların performansını maksimize etmek adına deney tasarımıyla farklı boyutlardaki TSPLIB problemleri üzerinde kapsamlı bir parametre ayarlama süreci yürütülmüştür. Parametre ayarlamanın istatistiksel geçerliliğini ve sistematik yapısını güvence altına almak amacıyla, literatürde yaygın olarak kullanılan Taguchi Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen parametre setleri, modele özel müdahale yapılmadan, asimetrik ulaşım süresi matrisi problemine entegre edilmiştir. Deney, istatistiksel geçerliliğe sahip olabilmesi için 30 tam tekrar halinde çalıştırılmıştır. İstatistiksel analizler iki temel adımda gerçekleştirilmiştir: Önce ANOVA testi ile algoritma türünün tur uzunluğu üzerindeki etkisi ve etki büyüklüğü (η^2) ölçülmüş, ardından algoritmalar arasındaki farkları belirlemek için Wilcoxon testi yapılmıştır. Çoklu testlerden kaynaklanabilecek hataları kontrol altında tutmak amacıyla Holm-Bonferroni düzeltmesi kullanılmıştır. Her iki algoritma için en uygun kontrol parametre setlerinin tanımlanmasının ardından, algoritmaların hesaplama performansları birbirleriyle kıyaslanmıştır. Yukarıda bahsedilen çözüm aşamaları ile eğitimde engelsiz ulaşım hedefine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu özellikle tüm öğrencilerin eğitim süreçlerine sağlıklı bir şekilde devam edebilmesi ve fırsat eşitliğinin oluşturulması açısından çok önemlidir. Böylece eğitimde adaletin sağlanması yolunda önemli bir iyileştirme yapılması sağlanabilir.

133 – Yörüngedeki Sürdürülebilirliğin Değerlendirilmesi: Uzay Enkazı Etkenlerine ve İyileştirme Stratejilerine Yönelik Hibrit Bulanık Yaklaşım

Meltem Aslantaş *Milli Savunma Üniversitesi Hava Harp Okulu*
Gökçe Kılıçkaya Çakmak *Milli Savunma Üniversitesi Hava Harp Okulu*

Dünya yörüngelerinin hızla kalabalıklaşması artık sadece teknik bir engel değil; tüm uzay faaliyetlerinin geleceğini tehdit eden karmaşık, çok katmanlı bir krizdir. Mevcut uzay enkazı azaltma çabaları genellikle izole teknik çözümlere odaklanırken, bu çalışma sorunun daha bütünsel, karar odaklı bir yaklaşım gerektirdiğini savunmaktadır. "Yeni Uzay" çağının karmaşık, gerçek dünya geri bildirim döngülerini hesaba katarak yörünge kirliliğinin teknik, ekonomik, çevresel ve hukuki boyutlarını oluşturan kriterlerin ağırlıklarını belirlemek amacıyla en iyi-en kötü yöntemi kullanıyoruz. Bu değerlendirmeye dayanarak çalışma ayrıca küresel bulanık VIKOR yöntemiyle alternatif aktif uzay enkazı temizleme stratejilerini değerlendirmektedir. Bu çift metodolojik yaklaşım, robotik yakalamadan lazer aşındırmaya kadar çeşitli iyileştirme teknolojilerini uygulanabilirlik, maliyet etkinliği ve politik risklerine göre sıralamaktadır. Yüksek belirsizlik ortamında çelişkili kriterleri uzlaştıran bu çalışma, politika yapıcılar için matematiksel olarak temellendirilmiş bir yol haritası sunmaktadır. Bu çerçeve, reaktif uzay enkazı önleme yaklaşımlarının ötesine geçerek yörünge ortamının taşıma kapasitesinin etkin yönetimi kapsamında hangi temizleme teknolojilerine öncelik verilmesi gerektiğine ilişkin sistematik bir değerlendirme imkânı sağlamaktadır.

134 – Tekstil Sektöründe Çalışan Devir Riskinin Yönetimi: Birim ve Birey Düzeyinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirme

Aliye Ayça Supçiller *Pamukkale Üniversitesi*
Gizemay Demirci *Kemal Uğurlu Tekstil San. Tic. A.Ş.*

Türkiye ekonomisinde en dinamik ve emek yoğun sektörlerden biri olan tekstil sektörü, zor pazar koşulları ve rekabet baskısı altında faaliyet göstermektedir. Tekstil sektöründeki sürdürülebilir başarı, nitelikli iş gücünü korumakla da doğrudan bağlantılıdır. Ancak yüksek iş yükü, zorlu çalışma koşulları ve ücret politikaları sektör genelinde görece yüksek devir oranlarına sebep olmaktadır. Bu çalışma, Denizli'de faaliyet gösteren entegre bir tekstil işletmesinin dokuma, konfeksiyon ve boyahane birimlerinde çalışan devir riskini birim ve birey düzeylerinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, gerçek insan kaynakları verileri, geçmişte gönüllü olarak işten ayrılan personellere yapılan işten ayrılma anketi verileri ve mevcut personellere yönelik memnuniyet anketi verileri kullanılmıştır. Risk analizi ve önceliklendirme için bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerine dayalı bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada işten ayrılma anketinin verileri fabrika düzeyinde analiz edilmiş ve her birim için baskın ayrılma nedenleri belirlenmiştir. Ayrıca memnuniyet anketlerinden elde edilen fiziksel koşullar, maaş ve sosyal haklar, liderlik ve iletişim puanları tespit edilerek işten ayrılma anketindeki bulgularla karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Sonraki aşamada çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak üç farklı fabrikada birim düzeyinde karşılaştırmalar yapılmış ve müdahale öncelik sıralaması elde edilmiştir. Birey düzeyinde ise en riskli olarak belirlenen fabrikadaki çalışanlar, insan kaynakları verileri temel alınarak sıralanmış ve bireysel müdahale için de öncelik sıralaması oluşturulmuştur. Son aşamada kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları işletme yönetimine hangi çalışanları için öncelikli olarak elde tutma stratejisi geliştirileceğine dair veri temelli bir karar desteği sunmayı hedeflemektedir.

135 – Kırsal Kesim Elektrifikasyonu için Optimizasyon: Bir Dal ve Kesi Algoritması

Gözde Yazıcı Küçük *İ.D. Bilkent Üniversitesi*
Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman *İ.D. Bilkent Üniversitesi*
Prof. Dr. Oya Karaşan *İ.D. Bilkent Üniversitesi*

Küresel nüfusun yaklaşık %9'u elektriğe erişimden yoksun olup, bu nüfusun önemli bir kısmı kırsal alanlarda yaşamaktadır; bu da kırsal elektrifikasyon çalışmalarının önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmada, kırsal yerleşim yerlerinin minimum maliyet ile elektrifikasyonu için en uygun teknoloji seçiminin ve ağ tasarımının belirlenmesine odaklanılmaktadır. Yerleşim yerlerini şebeke dışı, şebeke veya mini şebeke seçeneklerinden birine atayan ve eş zamanlı olarak şebeke ve mini şebeke ağaçlarını tasarlayan bir dizi karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ve bu modellerin çok aşamalı versiyonları sunulmaktadır. Tek aşamalı versiyonu dahi zorlu bir kombinatoryal optimizasyon problemi olan bu problemin çok aşamalı versiyonlarını makul bir sürede çözebilmek için daha hızlı çözüm metotlarına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, tek aşamalı problemin daha kısa sürelerde çözülmesine imkân veren bir dal ve kesi algoritması ve sıcak başlatma algoritması sunulmaktadır. Gerçek hayat örnekleri ve sentetik örnekler aracılığıyla sunulan metotların sağladığı zaman avantajı gösterilmektedir.

137 – Neden-Sonuç Zincirlerinin Benzerliğine Yönelik Yeni Bir Uzaklık Ölçüsü ile Pazar Bölümlendirme ve Tahmin

Hatice Kocaman *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Umut Asan *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Bu çalışma, tüketicilerin satın alma kararlarının ardındaki bilişsel süreçleri anlamak amacıyla Neden-Sonuç Zinciri (Means-End Chain, MEC) teorisini bilişsel bir karar verme çerçevesi olarak ele almakta ve bu teoriye dayalı özgün bir pazar bölümlendirme yaklaşımı önermektedir. Neden-Sonuç Zinciri teorisi, ürün nitelikleri ile tüketicilerin kişisel değerleri arasındaki ilişkiyi, sonuçlar (faydalar) üzerinden kuran hiyerarşik bir yapı öne sürmektedir. Bu çerçevede tüketiciler, ürünleri sadece fiziksel özellikleriyle değil, bu özelliklerin kendilerine sağladığı sonuçlar ve nihayetinde ulaştırdığı kişisel değerler üzerinden anlamlandırmaktadır.

Neden-sonuç zincirleri, tüketicilerin çevrelerine ilişkin algıları ile kendilerine ilişkin algıları arasındaki bağlantıyı ortaya koyduğundan, pazarları anlamak ve müşteri segmentasyonu yapmak açısından değerli bir araç sunmaktadır. Literatürde bu zincirlerin benzerliğini ölçmeye yönelik çeşitli yaklaşımlar bulunmakla birlikte, mevcut çalışmalar genellikle yalnızca ortak unsur veya doğrudan yol sayısını dikkate almakta, nitelik-sonuç-değer üçlüsü arasındaki dolaylı ilişkileri ve bu ilişkilerin ağırlıklarını göz ardı etmektedir. Ayrıca mevcut literatür ağırlıklı olarak kümeleme analizlerine odaklanmakta; yeni bir tüketicinin olası pazar segmentini tahmin etmeye yönelik yöntemler sunmada eksik kalmaktadır. Dolayısıyla, tüketicilerin satın alma kararlarının altında yatan bilişsel süreçlerin (neden-sonuç zincirlerinin) nasıl karşılaştırılabileceği ve bu bilginin tüketicileri gruplandırmak veya sınıflandırmak için nasıl kullanılabileceği, literatürde önemini koruyan açık bir araştırma sorusu olarak durmaktadır.

Bu çalışma, benzerlik, kümeleme ve sınıflandırma analizlerini bütünleştiren yeni bir yaklaşım önermekte ve böylece neden-sonuç zinciri temelli pazar bölümlendirmesinin etkinliğini, verimliliğini, esnekliğini ve pratik uygulanabilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, tüketicilerin nitelikler, sonuçlar ve kişisel değerler arasındaki hiyerarşik ilişkilerle ifade edilen bilişsel karar süreçlerini analiz etmek amacıyla, hiyerarşik değer haritaları arasındaki benzerliği ölçen yeni bir uzaklık ölçüsü geliştirilmiştir. Önerilen bu ölçü hem doğrudan hem de dolaylı ilişkileri sistematik bir ağırlıklandırma mekanizmasıyla hesaba katarak mevcut yöntemlerin gözden kaçırdığı bilişsel zenginliği yakalamaktadır.

Geliştirilen uzaklık ölçüsüyle uyumlu hale getirilen K-Means algoritması, homojen tüketici segmentlerinin belirlenmesinde kullanılmış; ardından K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması aracılığıyla yeni bir tüketicinin ait olacağı segmentin tahmin edilmesine olanak sağlanmıştır. Uygulama sonuçları, yöntemin karmaşık bilişsel yapıları etkili biçimde analiz edebildiğini, anlamlı pazar segmentleri oluşturduğunu ve yeni gözlemler için güvenilir tahminler sağladığını göstermektedir. Bunun yanı sıra, önerilen yaklaşımın esnek ve modüler yapısı sayesinde farklı veri türlerine ve uygulama alanlarına uyarlanabilir olduğu ortaya konulmuştur.

138 – Türkiye'de İllere Göre Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Ali Sarfallah *Haliç Üniversitesi*
Selin Özge Öndin *Haliç Üniversitesi*

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında, enerji arz güvenliğinin sağlanmasında ve çevresel etkilerin azaltılmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması, enerji ithalatına bağımlılık ve iklim değişikliğiyle mücadele gerekliliği, ülkeleri yenilenebilir enerji yatırımlarına yönlendirmektedir. Türkiye; güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerji kaynakları bakımından önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu potansiyelin bölgesel dağılımı iller arasında farklılık göstermektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji performansının il bazında değerlendirilmesi, kaynakların etkin kullanımı ve enerji politikalarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki 81 ilin yenilenebilir enerji performanslarını çok kriterli karar verme yaklaşımıyla değerlendirmek ve iller arasındaki göreli performans farklılıklarını ortaya koymaktır. Bu kapsamda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi, alternatiflerin ideal çözüme yakınlıkları ve negatif ideal çözüme uzaklıkları dikkate alınarak sıralanmasına olanak sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde enerji planlaması ve performans değerlendirme çalışmalarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Araştırmada kullanılan veriler Enerji Atlası platformundan derlenmiş olup TEİAŞ, EPDK ve TÜİK tarafından yayımlanan güncel istatistiklere dayanmaktadır. Analizde üç temel kriter kullanılmıştır: kurulu güç (MW), elektrik tüketimi (MWh) ve üretim/tüketim oranı (%). Kurulu güç, illerin yenilenebilir enerji üretim kapasitesini ifade ederken; elektrik tüketimi enerji talep düzeyini, üretim/tüketim oranı ise enerji yeterlilik düzeyini göstermektedir. Kriterlerin ağırlıkları eşit olarak belirlenmiş ve her bir kriterin yenilenebilir enerji performansı üzerindeki etkisinin benzer düzeyde olduğu kabul edilmiştir. Elde edilen veriler TOPSIS yöntemi kapsamında normalize edilmiş, ağırlıklı karar matrisi oluşturulmuş ve her il için ideal çözüme göreli yakınlığı gösteren performans katsayıları hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, Türkiye'de yenilenebilir enerji performansının iller arasında homojen bir dağılım göstermediğini ortaya koymuştur. Elde edilen performans skorlarına göre Zonguldak, Kırıkkale ve Çanakkale en yüksek performansa sahip iller olarak belirlenmiştir. Bu illerin yüksek performans göstermesinde yalnızca kurulu güç kapasitelerinin değil, aynı zamanda üretimin yerel tüketimi karşılama oranlarının da etkili olduğu görülmüştür. Özellikle Zonguldak'ın üretim/tüketim oranı açısından oldukça avantajlı bir konumda bulunması, ilin ideal çözüme en yakın alternatif olarak belirlenmesini sağlamıştır. Buna karşılık İstanbul, Ankara ve Kocaeli gibi yüksek enerji talebine sahip büyükşehirlerin performans sıralamasında daha düşük seviyelerde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu durum, yüksek enerji tüketiminin yenilenebilir enerji performansı üzerinde önemli bir baskı oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca Artvin, Bingöl, Elazığ ve Gümüşhane gibi illerin yüksek üretim/tüketim oranları sayesinde üst sıralarda yer aldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, bölgesel doğal kaynakların etkin kullanımının enerji performansına doğrudan katkı sağladığını göstermektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular, yenilenebilir enerji performansının yalnızca kurulu güç kapasitesi ile değerlendirilmesinin yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Üretimin yerel tüketimi karşılama düzeyi, enerji yeterliliği ve kaynak verimliliği açısından önemli bir gösterge olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle enerji politikalarının oluşturulmasında sadece kapasite artırıcı yatırımlara değil, aynı zamanda bölgesel enerji dengesi ve tüketim yönetimine yönelik stratejilere de öncelik verilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak bu çalışma, Türkiye'deki illerin yenilenebilir enerji performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendiren kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Elde edilen sonuçların enerji planlaması, bölgesel kalkınma politikaları ve yenilenebilir enerji yatırımlarının yönlendirilmesi süreçlerinde karar vericilere katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca çalışma, il bazında enerji performansının değerlendirilmesine yönelik gelecekte yapılacak akademik araştırmalar için de analitik bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Yenilenebilir enerji, TOPSIS, Çok kriterli karar verme, Bölgesel enerji performansı, Enerji planlaması*

139 – Makine Öğrenmesi Tabanlı İki Aşamalı Trafik Yoğunluğu Tahmin Modeli: İstanbul Örneği

Hilal İrem Işık *Sakarya Üniversitesi*
Emre Can Yağan *Sakarya Üniversitesi*
Serap Ercan Cömert *Sakarya Üniversitesi*

Trafik yoğunluğu, büyükşehirlerde ulaşım sürelerinin uzaması, yakıt tüketiminin artması, çevresel kirlilik, ekonomik kayıplar ve yaşam kalitesinin düşmesi gibi çok boyutlu sonuçlar doğuran önemli bir kentsel problemdir. Özellikle İstanbul gibi nüfus yoğunluğu, araç hareketliliği ve ulaşım ağı karmaşıklığı yüksek olan metropollerde trafik akışının etkin biçimde yönetilmesi, sürdürülebilir ulaşım politikaları ve akıllı şehir uygulamaları açısından kritik önem taşımaktadır. Trafik yoğunluğunun önceden tahmin edilebilmesi; sinyalizasyon, güzergâh yönlendirme, trafik planlama ve acil durum yönetimi gibi karar süreçlerinde yöneticilere veri temelli destek sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, İstanbul ili Okmeydanı Kavşağı özelinde trafik yoğunluğunun tahmin edilmesine yönelik iki aşamalı bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Okmeydanı Kavşağı; hastane, adliye ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü bağlantısı gibi kritik ulaşım noktalarına yakınlığı nedeniyle yoğun ve değişken trafik yapısına sahip olması bakımından uygulama alanı olarak seçilmiştir.

Literatürde trafik yoğunluğu tahminine yönelik birçok çalışmada araç sayısı, hız, zaman ve meteorolojik koşullar gibi değişkenlerden yararlanıldığı görülmektedir. Ancak bu değişkenlerin çoğu çalışmada varsayımsal olarak seçildiği, özniteliklerin göreli önem düzeylerinin sistematik bir karar verme yaklaşımıyla değerlendirilmediği belirlenmiştir. Bu eksiklikten hareketle çalışmanın özgün yönü, trafik yoğunluğunu etkileyen özniteliklerin yalnızca literatür bulgularına değil, uzman görüşleriyle desteklenen çok kriterli karar verme sürecine dayalı olarak seçilmesidir. Bu kapsamda ilk aşamada, trafik yoğunluğunu etkileyebilecek potansiyel parametreler literatür taramasıyla belirlenmiş; ardından Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) yöntemi kullanılarak bu parametreler önem derecelerine göre ağırlıklandırılmıştır. Uzman değerlendirmelerindeki belirsizliği daha doğru temsil edebilmek amacıyla resimsel bulanık sayılardan yararlanılmıştır. Karar verici uzmanlar deneyim ve bilgi düzeylerine göre ağırlıklandırılmış; dilsel değerlendirmeler nicel değerlere dönüştürülerek kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Analiz sonucunda Hız (min–max), Araç Sayısı, Ortalama Hız, Zaman ve Hava Durumu değişkenleri trafik yoğunluğu tahmininde kullanılacak temel öznitelikler olarak seçilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, belirlenen özniteliklere ait veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi Açık Veri Portalı ve ilgili veri kaynakları üzerinden temin edilerek modelleme sürecine hazırlanmıştır. Veri ön işleme aşamasında eksik gözlem analizi yapılmış, aykırı değerler incelenmiş, kategorik değişkenler makine öğrenmesi algoritmalarına uygun sayısal forma dönüştürülmüş ve farklı ölçeklerdeki değişkenlerin model performansını olumsuz etkilememesi için gerekli düzenlemeler gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte amaç, veri kalitesini artırarak modellerin genelleme yeteneğini güçlendirmek ve tahmin doğruluğunu yükseltmektir.

Modelleme aşamasında farklı öğrenme yapılarını temsil eden üç yöntem kullanılmıştır: ARIMAX, Random Forest (RF) ve Deep Neural Network (DNN). ARIMAX modeli, zaman serisi yapısına sahip trafik verilerinde trend ve dışsal değişken etkilerini birlikte değerlendirebilmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Random Forest modeli, karar ağaçları tabanlı topluluk öğrenme yaklaşımıyla doğrusal olmayan ilişkileri yakalayabilmesi bakımından kullanılmıştır. DNN modeli ise çok katmanlı mimarisi sayesinde karmaşık veri örüntülerini öğrenme potansiyeli nedeniyle çalışmaya dahil edilmiştir. Modellerin performansını artırmak amacıyla hiperparametre optimizasyonu gerçekleştirilmiş; ARIMAX için en uygun model derecesi, RF için ağaç sayısı ve maksimum derinlik, DNN için ise gizli katman yapısı ve aktivasyon fonksiyonu belirlenmiştir. Optimizasyon sonucunda ARIMAX modeli için Order (0,1,1), RF modeli için 150 ağaç ve maksimum derinlik 15, DNN için ise (100, 50, 25) gizli katman mimarisi ve tanh aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

Modellerin başarısı, eğitim sürecinde kullanılmayan test verisi üzerinde R^2, MAE ve MAPE performans ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ARIMAX modeli R^2=0,9955, MAE=1,5788 ve MAPE=%1,84 değerleriyle en başarılı model olmuştur. Random Forest modeli R^2=0,9935, MAE=1,8689 ve MAPE=%2,15 değerleriyle ARIMAX'e oldukça yakın ve güçlü bir tahmin performansı sergilemiştir. DNN modeli ise R^2=-8,3951, MAE=70,2180 ve MAPE=%67,75 değerleriyle beklenen performansı gösterememiştir. Bu durum, kullanılan veri yapısı ve ölçeklendirme sürecinin derin öğrenme modeli için daha ileri düzeyde yapılandırılması gerektiğini göstermektedir. Sonuçlar, zaman serisi karakteri güçlü olan trafik yoğunluğu problemlerinde ARIMAX modelinin

kararlı ve yüksek doğruluklu sonuçlar üretebildiğini; Random Forest modelinin ise güçlü bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur.

Bu çalışma, trafik yoğunluğu tahmininde öznitelik seçimi ve tahmin modellemesini bütünleşik biçimde ele alması bakımından literatüre katkı sunmaktadır. SWARA yöntemiyle belirlenen kritik değişkenlerin makine öğrenmesi modellerine girdi olarak kullanılması, modelin gereksiz değişkenlerden arındırılmasını ve daha yorumlanabilir bir tahmin yapısının oluşturulmasını sağlamıştır. Geliştirilen yaklaşım, trafik yönetim merkezleri ve yerel yönetimler tarafından yoğunluk bazlı sinyalizasyon, güzergâh planlama ve önleyici trafik yönetimi süreçlerinde karar destek aracı olarak kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Ayrıca modelin farklı kavşaklar, daha geniş veri setleri ve gerçek zamanlı veri akışlarıyla geliştirilmesi, akıllı ulaşım sistemleri kapsamında daha kapsamlı ve uygulanabilir çözümler üretilmesine katkı sağlayacaktır.

140 – Zaman Pencereli Gezgin Tamirci Problemi için Kısıt Programlama Tabanlı Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Arama Hibrit Yaklaşımı

İclal Bağcı *Dokuz Eylül Üniversitesi*
Şeyda Topaloğlu Yıldız *Dokuz Eylül Üniversitesi*

Gezgin Tamirci Problemi (TRP), müşterilerin belirli bir rota üzerinde ziyaret edilmesi sürecinde farklı amaç fonksiyonları altında ele alınabilen bir optimizasyon problemidir. Bu amaçlardan biri, müşterilerin varış zamanlarının toplamının, diğer bir ifadeyle toplam bekleme süresinin minimize edilmesidir. Zaman pencereli TRP (TRP-TW) ise, her müşterinin yalnızca belirli zaman aralıklarında servis alabilmesi kısıtı içermesi nedeniyle daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu problem, müşteri memnuniyeti ve servis kalitesinin doğrudan performans ölçütü olarak ele alındığı lojistik ve servis sistemlerinde önemli bir uygulama alanı sunmaktadır.

Bu doğrultuda problemin çözümü amacıyla, karma tamsayı doğrusal programlama ve kısıt programlama modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, tamircilerin rotalarını belirlerken müşteri servis süreleri ve zaman penceresi kısıtlarını ele almaktadır. Geliştirilen modeller, farklı problem boyutlarını içeren örnekler üzerinde test edilerek çözüm kalitesi ve hesaplama performansı açısından değerlendirilmiştir.

Büyük ölçekli problemlerde matematiksel modellerin çözüm sürelerinin artması nedeniyle, çözüm sürecini desteklemek amacıyla kısıt programlama modeli ile hibrit olarak çalışan uyarlanabilir geniş komşuluk arama (ALNS) yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın performansı literatürde yer alan TRP örnekleri üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar, ALNS tabanlı hibrit yöntemin hem çözüm kalitesi hem de hesaplama süresi açısından etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

141 – V-CRAN Tabanlı Hücresiz Devasa MIMO: Gürbüz Optimizasyon ile Belirsizlik Altında Girişim ve Güvenilirlik Analizi

Derya Nurcan Atçeken *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Özlem Tuğfe Demir *Bilkent Üniversitesi*
Ayşegül Altın Kayhan *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Bülent Tavlı *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*

Günümüzde mobil veri trafiğindeki hızlı artış, mevcut ağ kapasitelerini zorlamakta ve daha etkin iletişim teknolojilerine olan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır. Mobil iletişim ağlarında telefon, tablet veya diğer mobil uç cihazlar Kullanıcı Ekipmanı (İng. User Equipment - UE); bu cihazların ağa bağlanmasını sağlayıp veri iletimini yöneten temel birimler ise Erişim Noktası (İng. Access Point - AP) olarak adlandırılır. Artan veri kapasitesi talebini karşılamak için geliştirilen Devasa Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (İng. Massive MIMO) teknolojisi, çok sayıda anten kullanarak iletim kapasitesini maksimize etmeyi hedefler. Hücresel sınırların kaldırılmasını ifade eden hücresiz (İng. Cell-Free) ağ mimarisinin bu teknolojiyle entegre edilmesi sayesinde UE'ler, tek bir merkeze bağlı kalmaksızın birden fazla AP'den eşzamanlı olarak hizmet alabilmektedir. Ancak, aynı frekans bandında gerçekleşen bu yoğun veri akışı, girişim (İng. interference) etkilerini artırarak, kullanıcının hizmet kalitesini ölçen temel metriklerden olan Spektral Verimlilik (İng. Spectral Efficiency - SE) ve Sinyal-Girişim-ve-Gürültü Oranı (İng. Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio - SINR) değerlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu karmaşık yapının esnek ve verimli yönetilmesinde, sinyal işleme süreçlerinin Dijital Birimler (İng. Digital Unit - DU) ve Hat Kartları (İng. Line Card - LC) aracılığıyla bulut ortamına taşındığı Sanallaştırılmış Bulut Radyo Erişim Ağı (İng. Virtualized Cloud Radio Access Network - V-CRAN) mimarisi kritik bir çözüm sunmaktadır.

Gerçek dünya problemlerinde kullanılan veriler; ölçüm hataları, tahmin belirsizlikleri veya dalgalanmalar nedeniyle genellikle kesin değildir. Klasik (deterministik) eniyileme yöntemleri verilerin kesin olduğunu varsaydığından, parametrelerdeki küçük sapmalar bile çözümün uygulanabilirliğini (İng. feasibility) bozarak optimaliteden ciddi sapmalara yol açabilmektedir. Bu belirsizlikleri yönetmek için kullanılan Gürbüz Eniyileme (İng. Robust Optimization - RO), belirsiz parametrelerin tanımlı bir belirsizlik kümesi içerisinde yer alacağı varsayımıyla, en kötü durum (İng. worst-case) senaryolarına karşı dayanıklı çözümler üretmeyi amaçlar. Bu yaklaşım, belirsiz problemleri standart çözücülerle ele alınabilen deterministik bir Gürbüz Eşleniği'ne (İng. Robust Counterpart - RC) dönüştürür. Modelde, parametrenin beklenen değerini ifade eden nominal değer ve bu değerden olası uzaklaşmayı temsil eden sapma miktarı temel bileşenlerdir. Literatürdeki en koruyucu yaklaşım olan Kutu Belirsizliği (İng. Box Uncertainty), tüm belirsiz parametrelerin aynı anda en uç değerlerine ulaştığını varsayarken; bu çalışmada benimsenen Kardinalite Kısıtlı Gürbüzlük (Bertsimas-Sim) yaklaşımı, nominal değerden sapan parametre sayısını kısıtlayarak çözüm maliyeti ile güvenilirlik arasında esnek bir denge kurmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı; kanal belirsizliklerinin dikkate alınmadığı nominal deterministik model ile önerilen Kardinalite Kısıtlı Gürbüz Modelin olurluluk (İng. feasibility) performanslarını karşılaştırmaktır. Bu kapsamda, modeller, hedeflenen SE gereksinimlerini sağlayan ve ağın toplam güç tüketimini enküçükleyen optimal erişim noktası-kullanıcı (AP-UE) atamalarını belirlemeye çalışır. Belirsiz parametrelerin modellenmesinde, verinin istatistiksel yapısına en uygun asimetrik sınırları tanımlayan Lloyd-Max kuantalama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca, fiziksel anlamı bir kullanıcı üzerindeki girişim etkisini en çok artıran "kötü durumdaki" baskın AP sayısı olan gürbüzlük (İng. Gamma) parametresinin model üzerindeki etkisi detaylıca incelenmiştir. Bu çerçevede, en kötü durum senaryolarında bile kullanıcıların SINR gereksinimlerinin karşılanmasını garanti altına alan Kardinalite Kısıtlı Gürbüz Deterministik Modeli kurulmuş; farklı koruma seviyelerinin sistem güvenilirliği üzerindeki etkileri, nominal modelin sonuçlarıyla kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Önerilen modellerin performans analizi; 16 erişim noktası ve 8 kullanıcı içeren bir ağ topolojisinde, Gurobi optimizasyon çözücüsü kullanılarak 50 bağımsız senaryo üzerinden gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, kanal belirsizliklerini dikkate almayan nominal modelin gerçek dünya koşullarında güvenilirliğinin %10 seviyelerine kadar düştüğünü ve sistematik olarak kullanıcıları hizmet dışı bıraktığını ortaya koymaktadır. Buna karşın, geliştirilen gürbüz modeller çözülebildikleri her senaryoda %100 güvenilirlik sergileyerek kesintisiz iletişimi garanti altına almıştır. Bu yüksek güvenilirliğin bir bedeli olarak gürbüz modellerde toplam güç tüketimi artış gösterse de bu ek maliyetin sürdürülebilir hizmet kalitesi için zorunlu bir ödünleşim olduğu görülmüştür.

Gürbüzlük seviyesindeki artışın, özellikle yüksek veri hızı hedeflerinde matematiksel çözülebilirliği zorlaştırsa da sistem güvenilirliği için kritik olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, kanal belirsizliği altındaki ağ tasarımlarında gürbüz optimizasyonun, kesintisiz ağ performansı için vazgeçilmez bir gereklilik olduğu kanıtlanmaktadır.

142 – Havayolu Fiyat Kilitleme Opsiyonlarının Makine Öğrenmesi Destekli Hibrit Modellerle Dinamik Fiyatlandırılması

Çağrı Memiş *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*
Muzaffer Kapanoğlu *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*
İlkay Orhan *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Havayolu endüstrisi, yolcu perspektifinden fiyat belirsizliği ve havayolu perspektifinden gelir yönetimi risklerinin kesiştiği karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu noktada "Fiyat Kilitleme" (Price Lock) ürünü, her iki taraf için de kritik bir finansal araç olarak öne çıkmaktadır. Sektörün yapısal dinamikleri incelendiğinde stoklanamayan envanter, yüksek fiyat oynaklığı, kapasite kısıtları ve talep belirsizliği olmak üzere dört temel kısıt öne çıkmaktadır. Uçak koltuğu, üretim anında tüketilmek zorunda olan bir hizmettir ve uçak kalktığı an, satılmayan koltuğun ekonomik değeri sıfıra inerek havayolları üzerinde ciddi bir zaman baskısı yaratır. Bilet fiyatları; doluluk oranı, kalan gün sayısı ve yakıt maliyetleri gibi faktörlerle anlık olarak değişmekte ve emtia piyasalarındaki stokastik süreçlere benzerlik gösteren yüksek bir oynaklık barındırmaktadır. Diğer yandan, havalimanı slotları ve filo kapasitesi kısa vadede esnek olmadığından, arzın sabit olduğu bu ortamda fiyat, talep dengesini sağlayan temel mekanizmadır. Müşteri talebinin dışsal şoklara karşı hassas olması ise literatürde "Sıçrama" (Jump) olarak adlandırılan ani fiyat hareketlerine neden olmaktadır.

"Fiyat Kilitleme", finansal literatürdeki "Avrupa Tipi Alım Opsiyonu" ile yapısal olarak birebir örtüşmektedir. Yolcu, belirli bir vade sonuna kadar bileti sabit fiyattan alma hakkını elde eder, ancak satın alma yükümlülüğü altına girmez. Bu ürün "Satın Alma" ve "Biletleme" süreçlerini zamansal olarak ayrıştırarak belirsizliği yüksek yolcular için bir "Bekle ve Gör" stratejisi sunar, bu sayede hem havayolu gelirini hem de tüketici refahını artırır. Ancak dayanak varlığın (uçak koltuğu) stoklanamaması ve ikincil piyasada işlem görmemesi, finansal matematiğin temeli olan "Arbitraj Yokluğu" prensibini zedelemekte ve "Delta Hedging" yapılmasını imkânsız kılmaktadır. Standart modeller volatiliteyi sabit varsayarken havacılıkta volatilite, doluluk oranı arttıkça üstel olarak artar. Ayrıca hisse senetleri sürekli hareket ederken, uçak bilet fiyatları talep şokları veya alt ücret sınıflarının kapanmasıyla ani sıçramalar yapmaktadır.

Bu çalışmada, finansal matematik ile modern veri bilimini birleştiren üç aşamalı bir metodoloji izlenmiştir. Klasik opsiyon primi hesaplama modelleri fiyatların sürekli bir yol izlediğini ve volatilitenin sabit olduğunu varsaymaktadır. Oysa havayolu bilet fiyatlarında kesikli sıçramalar yaşanır; dahası finansal opsiyonlarda vade yaklaştıkça değer düşerken (Negatif Theta), havayolunda koltuk arzı azaldığı için risk ve değer artmaktadır (Pozitif Theta). Geliştirilen model bu kısıtları aşmak adına iki temel makine öğrenmesi katmanından beslenmektedir. İlk katmanda, doluluk oranı ve uçuşa kalan gün gibi operasyonel değişkenler kullanılarak LightGBM algoritması ile gelecekteki fiyat oynaklığı (volatilite) tahmin edilmiştir. LightGBM'in yaprak odaklı stratejisi, karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkilerin hızla öğrenilmesini sağlamıştır. İkinci katmanda ise fiyatın ani bir şok yaşama olasılığı, açıklanabilir yapısı ve nadir olaylardaki kararlılığı nedeniyle Lojistik Regresyon ile hesaplanmıştır. Bu iki katmandan gelen anlık veriler, bir fiyatlama motoru olarak Merton Sıçramalı Difüzyon Modeline entegre edilmiştir.

Model, Türkiye'nin yoğun hatları olan IST-ADB ve IST-AYT rotaları için türetilen 90 günlük sentetik veri setleri üzerinde test edilmiştir. Analizler kapsamında iki temel senaryo üzerinde durulmuştur. Düşük risk içeren ilk senaryoda, uçuşa 80 gün kala ve %40 doluluk oranında, hibrit modelin ürettiği primlerin klasik opsiyon primi hesaplama modelleri ile hesaplanan opsiyon primlerine yakınsadığı ve modelin gereksiz fiyat yükseltmesi yapmadığı görülmüştür. Yüksek risk içeren ikinci senaryoda ise uçuşa 3 gün kala ve %92 doluluk oranında, klasik modellerin riski daha düşük fiyatladığı, buna karşın önerilen hibrit modelin sıçrama riskini algılayarak daha yüksek ve koruyucu bir prim hesapladığı tespit edilmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen temel bulgulara göre, hesaplanan sıçrama riski primi havayolu şirketinin maruz kaldığı "Gizli Riskin" finansal karşılığıdır. Hibrit model; yüksek doluluk ve azalan gün sayısını doğrudan bir risk sinyali olarak okuyup primleri risk duyarlı şekilde otomatik yükseltmektedir. Havayolunun kendi müşterisine sunduğu bu türev ürün, finansal hedeflerin altına düşülmesini engelleyen bir içsel korunma (Internal Hedging)

görevi de görmektedir. Bu çalışma ile havayolu gelir yönetiminde statik fiyatlamadan risk duyarlı dinamik fiyatlamaya geçişin matematiksel ve algoritmik altyapısı sunulmuştur. Önerilen makine öğrenmesi destekli hibrit model, havayolu şirketlerini kritik "düşük fiyatlandırma" hatalarından koruyarak operasyonel kârlılığı artırma potansiyeline sahiptir. Çalışmanın sonraki aşamalarında, modelin gerçek operasyonel verilerle kalibre edilmesi ve duyarlılık analizlerinin derinleştirilmesi planlanmaktadır.

143 – Orman Yangınları Yönetiminde Yöneylem Araştırması Uygulamaları

Erdi Daşdemir *Hacettepe Üniversitesi*

Orman yangınları, ciddi ekolojik, ekonomik ve toplumsal sonuçlar doğuran ve giderek büyüyen küresel bir risk alanıdır. Son yıllarda yaşanan yıkıcı yangın sezonları, yalnızca söndürme odaklı yaklaşımların bu riski yönetmekte yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu durum, önleme, hazırlık, müdahale ve iyileştirme süreçlerini birlikte ele alan bütünleşik bir planlama anlayışını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda yöneylem araştırması, sınırlı kaynakların etkili kullanımı, risklerin önceliklendirilmesi ve operasyonel kararların planlanması için güçlü bir karar destek çerçevesi sunmaktadır. Bu katkılar, yangın döngüsünün farklı aşamalarında görülebilir. Yangın öncesinde yanıcı madde yönetimi, kontrollü yakma çizelgelemesi, risk temelli alan önceliklendirmesi ve kaynakların ön konumlandırılması gibi kararlar optimizasyon modelleriyle desteklenmektedir. Müdahale aşamasında ilk sevk, hava aracı ve yer ekibi görevlendirmesi, tahliye rotalama ve İHA destekli izleme gibi zaman kritik kararlar ele alınmaktadır. Yangın sonrasında ise yanmış alanlara acil müdahale, altyapı onarımı ve ekolojik iyileştirme planlaması gibi süreçlere katkı sağlanmaktadır. Bu kapsamda, uygulama alanları iki araştırma çalışmasından örneklerle desteklenmektedir. İlk örnek, risk azaltma ve hazırlık amacıyla yapılan yangın öncesi planlama problemlerine odaklanmaktadır. İkinci örnek ise yangın sırasında sınırlı müdahale kaynaklarının etkin biçimde görevlendirilmesini ele almaktadır.

144 – Yapısal Batarya Kompozitleri için Sıralı Örüntü Madenciliği Kullanılarak Teknoloji Fırsatlarının Keşfi

Zülfiye Erdoğan *İskenderun Teknik Üniversitesi*

Günümüzde hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler karşısında, firmaların faaliyet gösterdikleri alanlara yönelik yatırım kararları stratejik açıdan kritik bir öneme sahiptir. Bu kararların etkin ve isabetli biçimde alınabilmesi, teknolojik ilerlemelerin sistematik ve yakından izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle sektörün önde gelen kuruluşlarının yöneldiği teknoloji alanları, piyasanın genel eğilimlerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, lider firmaların teknolojik dönüşümlerinin izlenmesi ve analiz edilmesi, pazara yeni giriş yapan ya da rekabet gücünü korumaya çalışan işletmeler için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ) yatırım konusunda risk alma potansiyeli daha düşüktür. Bu firmalar genellikle daha güvenilir bir yöntem olan lider firmaların teknoloji ayak izlerini takip etmektedir. Lider firmaların teknolojik ilerlemelerini analiz etmenin en etkili yöntemlerinden biri ise patent portföylerinin analiz edilmesidir. Patentler teknolojinin yönünü ve gelişimini analiz etmede karar vericilere yardımcı olan en zengin kaynaklardan biridir. Bu çalışmada, yapısal batarya kompozitleri alanına ilişkin patentler detaylı biçimde analiz edilmiştir. İlgili patent veri tabanı üzerinden, bu alanda en fazla patent başvurusu gerçekleştiren kuruluşlar tespit edilmiştir. Kuruluşların izledikleri teknolojik ilerlemelerin zamana bağlı değişimini analiz etmek için sıralı örüntü madenciliği algoritmalarından yararlanılmıştır. Sıralı örüntü madenciliği kullanılarak lider kuruluşlara ait elde edilen örüntüler potansiyel teknoloji fırsatları olarak karar vericilerin kullanımına sunulmuştur.

145 – Katılım Bankacılığı ve Geleneksel Bankacılık Finansal Performans Analizi

Sena Nur Ünlü *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Helin Özal *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Asuman Münevver Yucal *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Melih Zafer Altuntaş *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Türkiye'de faizsiz finans esaslarına dayanan katılım bankalarının sektördeki payı son yıllarda artış göstermektedir. Buna karşılık uzun yıllardır faaliyet gösteren geleneksel bankalar da finansal sistem içerisindeki güçlü konumlarını sürdürmektedir. Bu durum iki farklı bankacılık modeli arasında performans ve verimlilik açısından karşılaştırma yapılmasını önemli hale getirmektedir. Literatürde katılım ve geleneksel bankaları birlikte ele alan çalışmalar bulunmasına rağmen, Türkiye'de tüm bankaları kapsayan ve 2016–2025 dönemini inceleyen güncel çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de faaliyet gösteren katılım ve geleneksel bankaların finansal performans ve verimlilik düzeylerini karşılaştırmak ve verimlilik değişimlerinin kaynaklarını ortaya koymaktır. Araştırmada 9 katılım bankası ve 28 geleneksel banka olmak üzere toplam 37 banka değerlendirilmiştir. Veriler Türkiye Bankalar Birliği (TBB), Türkiye Katılım Bankaları Birliği (TKBB) ve Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK) tarafından yayımlanan konsolide olmayan faaliyet raporlarından elde edilmiştir. Analizde toplam aktifler, toplanan fonlar/mevduatlar, özkaynaklar, personel giderleri, çalışan sayısı, şube sayısı ve faiz/kâr payı giderleri girdi değişkenleri olarak; kullandırılan fonlar/krediler, net kâr ve faiz/kâr payı gelirleri ise çıktı değişkenleri olarak kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı yöntem uygulanmıştır. İlk aşamada bankaların göreli etkinliklerini ölçmek amacıyla Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanılmıştır. CCR ve BCC modelleri hem girdi hem çıktı yönelimli olarak değerlendirilmiş, ölçek farklılıklarını daha iyi yansıtması nedeniyle BCC modelinin daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. İkinci aşamada ise zaman içerisindeki verimlilik değişimlerini belirlemek amacıyla Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi uygulanmıştır. Bu yöntem sayesinde verimlilik değişimi; etkinlik değişimi (Effch), teknolojik değişim (Techch), saf etkinlik değişimi (Pech), ölçek etkinliği değişimi (Sech) ve toplam faktör verimliliği değişimi (Tfpch) bileşenleri üzerinden incelenmiştir.

VZA sonuçları katılım bankalarının 2016 ve 2017 yıllarında geleneksel bankalara göre daha düşük etkinlik düzeyine sahip olduğunu göstermiştir. Ancak 2017 sonrasında katılım bankalarının etkinlik oranlarında belirgin bir yükseliş gözlenmiştir. Özellikle 2023 yılı itibarıyla iki bankacılık sistemi arasındaki fark kapanmış, takip eden yıllarda katılım bankalarının verimli banka oranı geleneksel bankaların üzerine çıkmıştır. Bu durum katılım bankalarının kaynak kullanımında önemli gelişmeler kaydettiğini göstermektedir. Malmquist Endeksi sonuçları her iki bankacılık sisteminde de genel verimlilik artışı olduğunu ortaya koymuştur. Katılım bankalarında ortalama toplam faktör verimlilik değişimi 1,106 olarak hesaplanırken geleneksel bankalarda bu değer 1,234 seviyesine ulaşmıştır. Teknolojik değişim göstergesi geleneksel bankalarda daha yüksek bulunmuş ve verimlilik artışlarının temel belirleyicisinin teknoloji olduğu görülmüştür. Dijitalleşme, yeni bankacılık teknolojileri ve yapay zekâ uygulamalarının geleneksel bankaların performansını desteklediği değerlendirilmiştir. Buna karşın katılım bankalarının yönetimsel etkinlik ve kaynak kullanımında daha istikrarlı sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

Ölçek etkinliği açısından her iki bankacılık türünde önemli bir sapma bulunmamış, bankaların genel olarak optimal ölçeklerde faaliyet gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, katılım bankalarının son yıllarda verimlilik açısından önemli ilerleme kaydettiğini, ancak teknolojik gelişim bakımından geleneksel bankaların gerisinde kaldığını göstermektedir. Geleneksel bankalar teknoloji odaklı yatırımlar sayesinde toplam faktör verimliliğinde daha yüksek performans sergilerken, katılım bankaları yönetimsel etkinlik ve kaynak kullanımında güçlü bir görünüm ortaya koymuştur. Çalışma sonuçlarının bankaların stratejik karar alma süreçlerine katkı sağlaması ve Türkiye'de finansal performans değerlendirmelerine yönelik literatürdeki güncel boşluğu doldurması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Katılım bankacılığı, geleneksel bankacılık, veri zarflama analizi, Malmquist toplam faktör verimlilik endeksi, finansal performans, verimlilik analizi.

146 – A Data-Driven Preprocessing Framework For Sequence-Dependent Setup Time Scheduling

İrem Su GÖKŞEN
Merve UZUNER *Başkent University*
Nureddin KIRKAVAK *Başkent University*

In today's data-driven industrial environment, the effective utilization and interpretation of system data are crucial for enhancing operational efficiency and decision-making processes. This is particularly relevant in industries such as chemical, pharmaceutical, textile, and printing, where offering a wide product range is expensive and time-consuming. This study focuses on sequence dependent setup time (SDST) scheduling aimed at minimizing total setup time. It highlights how the setup times for various product types are significantly affected by the preceding task, ultimately enhancing operational effectiveness and competitiveness. A real-life manufacturing process presents a highly relevant environment for studying and optimizing this problem.

The study primarly focuses on the data acquisition, preprocessing and transformation stages, which form the basis of the decision support framework. In the first step, raw production data obtained from job order documents are systematically digitized and transferred into a structured dataset. The integration of such data-driven preprocessing mechanisms with optimization models provides significant advantages in terms of responsiveness, flexibility, and traceability. The structured datasets generated through the Excel macro-based framework directly serve as inputs to the optimization model, thereby bridging the gap between raw manufacturing data and analytical decision-making processes. A mixed-integer programming model is created using GAMS and solved using CPLEX. Computational experiments conducted on different data sets with various initial conditions. The CPLEX solution ensures global optimality and provides a reliable benchmark for evaluating scheduling performance under different production scenarios.

The results show that the proposed data-driven modeling approach effectively captures the complexity of the system and generates optimal scheduling decisions based on real production data. The proposed approach is practical and easily integrated into the existing production planning process.

147 – BIST Sürdürülebilirlik Endeksi Şirketlerinin ESG Performans Analizi: Entropy Tabanlı Hibrit Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması ile Portföy Optimizasyonu

Burcu Kartal Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Küresel finans piyasalarında yatırım kararları, geleneksel kâr odaklı yaklaşımlardan çevresel, sosyal ve yönetişim (ESG) performansını merkeze alan sürdürülebilir yatırım modellerine doğru köklü bir dönüşüm içerisindedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Paris İklim Anlaşması gibi uluslararası düzenlemeler, işletmelerin sürdürülebilirlik performanslarını şeffaf ve ölçülebilir biçimde raporlamasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma, Borsa İstanbul (BIST) Sürdürülebilirlik Endeksi kapsamındaki şirketlerin çok boyutlu performanslarını analiz etmek ve karar vericilere rasyonel, sürdürülebilirlik odaklı portföy seçenekleri sunmak amacıyla hibrit bir karar destek çerçevesi önermektedir. Çalışmanın metodolojik yapısı, nesnel bir istatistiksel ağırlıklandırma yöntemi ile bir meta-sezgisel optimizasyon algoritmasının entegrasyonuna dayanmaktadır. İlk aşamada, önerilen modelin yakınsama kabiliyetini, sayısal doğruluğunu ve parametre hassasiyetini test etmek amacıyla gerçek dünya sektörel dağılımlarını yansıtan Cholesky ayrışımı ile korelasyonlu, [0, 1] aralığında normalize edilmiş 50 alternatif ve 6 kriterden oluşan (ROA, Cari Oran, Karbon Emisyonu, Enerji Yoğunluğu, Kadın İstihdamı ve Ar-Ge Yoğunluğu) kapsamlı bir simülasyon veri seti oluşturulmuştur. Dört sektör (Enerji, Finans, Teknoloji, Üretim) için ayrı istatistiksel profiller tanımlanmış; kriterler arası korelasyon yapısı (örn. Karbon-Enerji: +0,70; ROA-ArGe: +0,30) Cholesky yöntemiyle veriye yansıtılmıştır. Kriterlerin önem dereceleri, veri setindeki bilgi içeriğinin belirsizliğini ölçen ve karar verici öznelliğini tamamen dışlayan Shannon Entropi yöntemiyle nesnel olarak hesaplanmıştır. Analiz sonucunda, Karbon Emisyonu (%25,2) ve Ar-Ge Yoğunluğu (%22,4) kriterleri en yüksek ayırt edici ağırlıkları alırken, Enerji Yoğunluğu (%15,5), Cari Oran (%13,6), ROA (%11,9) ve Kadın İstihdamı (%11,5) sırasını izlemiştir. İkinci aşamada, belirlenen bu nesnel ağırlıklar hedef fonksiyonuna dahil edilerek Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritması ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir: İşçi Arı fazı mevcut çözümleri geliştirirken, Gözetleyici Arı fazı roulette wheel seçimi ile umut verici bölgelere odaklanmakta, Kâşif Arı fazı ise tıkanan çözümleri sıfırlayarak yerel optimumdan kaçışı sağlamaktadır. Algoritmanın hiperparametreleri (colony_size, limit, max_iter) keyfi sabit değerler yerine 27 kombinasyon ve 5 tekrarlı Grid Search ile optimize edilmiş; varsayılan parametrelere kıyasla fitness değerinde %3,18 iyileşme elde edilmiştir. Algoritma, k=5, 10 ve 15 gibi farklı portföy büyüklüğü senaryoları altında koşturulmuş; k=5 senaryosunda 57. iterasyonda, k=10 senaryosunda ise 88. iterasyonda kararlı yakınsama elde edilmiştir. Optimal k=10 portföyü, Teknoloji (5 şirket), Finans (4 şirket) ve Enerji (1 şirket) sektörlerinden oluşan çeşitlendirilmiş bir yapı sergilemiştir. Modelin dayanıklılığını ölçmek amacıyla yürütülen duyarlılık analizi, ROA ağırlığındaki değişimlerin portföy skorları üzerinde en yüksek etkiyi (Δ=0,171) yarattığını; bunu Karbon (Δ=0,139) ve Ar-Ge (Δ=0,116) kriterlerinin izlediğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, önerilen hibrit sistemin hem teorik açıdan tutarlı hem de yatırımcılar ve fon yöneticileri için uygulanabilir bir karar destek aracı niteliği taşıdığını göstermektedir. Bu çalışma, sunulan metodolojik altyapı ile gerçek BIST verilerinin analizine doğrudan uyarlanabilecek sağlam bir temel oluştururken, sürdürülebilirlik odaklı portföy optimizasyonu literatürüne ABC algoritması ve Grid Search entegrasyonu açısından özgün bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ESG Portföy Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi (ABC), Shannon Entropi, Cholesky Korelasyon, Grid Search, Duyarlılık Analizi, BIST Sürdürülebilirlik Endeksi

148 – Stable Discrimination, Changing Risk: Limitations of Standard Metrics in Survival Models

Koorosh Shakoori *Istanbul Technical University*
Mehmet Y. Ulukus *Istanbul Technical University*
Mehmet A. Ergun *Istanbul Technical University*
Burhaneddin Sandikci *Istanbul Technical University*
Bekir Tanriover *The University of Arizona*

Background: Evaluating survival models usually relies on metrics like the Concordance index and time-dependent AUC. However, in relative risk models like the Cox proportional hazards model, improvements in how the model is specified might not lead to changes in ranking performance. This could hide important changes in how risks are estimated.

Objective: This study aims to see if standard discrimination metrics capture additional prognostic information in Cox models and to compare these with likelihood-based and structural evaluation measures.

Methods: We created nested Cox models using a large kidney transplant dataset (30,824 for training; 7,687 for validation). The baseline model included standard donor and recipient factors without biopsy information. The extended models added glomerulosclerosis (GS) and other procurement biopsy details. We assessed performance using discrimination (C-index, time-dependent AUC), calibration (Brier score), and model fit through the Log-likelihood ratio test and information criteria (Akaike Information Criterion / Bayesian Information Criterion). We also looked at changes in individual-level risk scores to examine redistribution effects.

Results: In all models, discrimination metrics changed very little after adding biopsy features (C-index stayed around 0.634 to 0.635; time-dependent AUC changes were ≤0.003 in both internal and temporal validation). Calibration metrics also showed only slight variation. In contrast, the likelihood-based assessment showed a clear improvement in model fit for GS-augmented models (LRT $p < 0.0001$; the lowest AIC was found in GS-enhanced specifications), showing that GS provides important information that discrimination measures do not capture.

This improvement was linked to a systematic but rank-preserving redistribution of risk scores, which explains why the c-statistic did not change. While the overall ranking of individuals stayed mostly stable, adding GS caused structured shifts in predicted risk. A large number of kidneys without biopsy or with low GS (about two-thirds) were moved to lower risk categories. A smaller group (about 10–25%) moved to higher risk categories, especially within previously lower KDPI categories (<50). At higher GS levels, risk shifts followed an upward stepwise pattern, indicating a coherent re-stratification rather than random changes. Overall, these shifts changed the makeup of risk groups without significantly impacting the global ranking.

Conclusion: In Cox proportional hazards models, adding incremental predictors can improve model fit and meaningfully reclassify risk while leaving discrimination metrics mostly unchanged due to preserved rank ordering. These findings suggest that focusing on discrimination metrics alone might overlook significant structural enhancements in survival models. An evaluation framework that includes likelihood-based measures and risk redistribution analysis provides a fuller understanding of added prognostic value, influencing risk-based decision systems like organ allocation.

149 – Makine Öğrenmesi Tabanlı İki Aşamalı Hibrit Top-N Alternatif Ham Madde Öneri Sistemi

Çiğdem Üsküp *Bursa Uludağ Üniversitesi*
Betul Yagmahan *Bursa Uludağ Üniversitesi*

Günümüzde Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm kapsamında, üretim süreçlerinin veri analitiği yöntemleri ile değerlendirilmesi sayesinde stratejik karar alma yeteneğinin geliştirilmesi, proaktif önlemlerin alınması ve buna bağlı olarak kurumsal çevikliğin artırılması mümkün hale gelmektedir. Üretim süreçlerinde gerekli bir ham madde için stok dışı kalma durumu ve termin süresi belirsizlikleri, üretim planlarında revizyonlara, hat duruşlarına, acil satın alma süreçlerine ve müşteri teslimatında gecikmelere neden olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, üretim sürecinde ihtiyaç duyulan bir ham maddenin stokta bulunmadığı durumda stok ve açık sipariş durumlarının eş zamanlı kontrolü ile teknik şartlara uygun bir alternatif ham madde kullanım kararını destekleyecek bir öneri sistemi geliştirmektir. Gerçekleştirilen çalışma, otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin gerçek operasyonel verileri üzerinden yürütülmüştür. Mevcut durumda ilgili işletmede alternatif ham madde karar süreci, dijital süreç platformu üzerinden açılan dahili teknik değişiklik talebinin farklı departmanların çoklu onay döngüsü ile yönetilmektedir. Çalışma kapsamında, alternatif ham madde ilişkileri, stok ve açık satın alma siparişi verileri ile iki aşamalı bir öneri mimarisi oluşturulmuştur. İlk aşamada, teknik öznitelikler üzerinden k-En Yakın Komşu yöntemi ile benzerlik tabanlı aday çağırma gerçekleştirilmiş ve başlangıç aday havuzu oluşturulmuştur. Ardından ham madde-alternatif ham madde ilişkileri için geçmiş kalite eşleşmeleri, onay durumları ve teknik uygunluk kuralları kullanılarak başlangıç aday havuzu filtrelenmiş ve kısıt-farkındalıklı, bilgi tabanlı nihai aday havuzu elde edilmiştir. İkinci aşamada, ilk aşamada oluşturulan kısıt-farkındalıklı aday havuzu, sorgu bazlı gruplandırılmış hedef ham madde–aday ham madde çiftleri üzerinden denetimli makine öğrenmesi tabanlı sıralama öğrenmesi yaklaşımı ile yeniden sıralanmıştır. Bu aşamada, sıralama öğrenmesi yöntemlerinden ikili ve liste bazlı yaklaşımı temel alan gradyan artırmalı karar ağaçları tabanlı XGBoost, LightGBM ve CatBoost yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler üzerinden elde edilen alaka skorları ile stok, açık sipariş ve kurumsal kuralları baz alan en uygun top-N alternatif ham madde önerileri elde edilmiştir. Sıralama öğrenmesi yöntemlerinin performansları Recall@k, NDCG@k, Precision@k, MAP@k ve MRR metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, teknik şartlara uyumlu, stok ve açık sipariş durumuna göre stoğu ve açık siparişi bulunan alternatif malzemeyi öncelikli olarak öneren ve alternatif malzeme seçim kararını hızlandıran veri odaklı bir öneri sistemi geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital dönüşüm, tedarik zinciri, ham madde, öneri sistemi, sıralama öğrenmesi, top-N öneri

150 – Orman Yangınlarına Müdahalede Kaynak Optimizasyonu

Burcu ALTUNOĞLU *Türk Hava Kurumu Üniversitesi*
Erdi DAŞDEMİR *Hacettepe Üniversitesi*
Çağrı KOÇ *Hacettepe Üniversitesi*

Orman yangınları, sınırlı müdahale kaynaklarının zamanında ve koordineli bir şekilde atanmasını gerektirir. Bu çalışmada, orman yangınlarının söndürülmesi ve yayılmasının kontrolü amacıyla hava ve kara yangın söndürme kaynaklarının atanması ve operasyonun planlaması için karma tamsayı programlama modeli geliştirilmektedir. Model, yangın bölgesini ızgara tabanlı bir uzamsal sistem olarak temsil etmektedir. Her hücredeki yangının seyri, tutuşma, yayılma eşiği ve doğal sönme süreleri aracılığıyla tanımlanmaktadır. Bir yangın yayılma eşiğine ulaşmadan kontrol altına alınırsa, komşu hücrelere yayılması engellenir; aksi takdirde, komşu hücrelere yayılır. Amaç fonksiyonu, yangın yayılımını, kontrol durumunu ve tutuşma ile kontrol zamanı arasındaki süreyi dikkate alarak toplam korunan arazi değerini maksimize etmektedir. Böylece model, kaynak ataması ve müdahale zamanlamasına ilişkin operasyonel kararları yangın hasarının zamansal ve mekânsal yayılımı ile bütünleşik biçimde ele almaktadır. Çalışmanın temel metodolojik katkısı, söndürme iş yükünün, araçların varış zamanlarına bağlı olarak belirlenen zamana bağlı bir büyüklük olarak içsel bir şekilde temsil edilmesidir. Bu yapı, müdahale zamanlamasının operasyonel etkisini yansıtmaktadır; bu durumda, daha erken müdahale gerekli söndürme çabasını azaltırken, gecikmeli müdahale yangının büyümeye devam etmesi nedeniyle iş yükünü artırmaktadır. Model, alternatif müdahale sonuçlarını değerlendirmek ve hücre önceliklendirme, kaynak tahsisi ve müdahale zamanlaması ile ilgili karar verme sürecine yönelik çıktılar üretmek amacıyla ızgara tabanlı orman yangını senaryolarına uygulanmaktadır. Buna göre, önerilen model, orman yangını müdahale operasyonlarının koordinasyonunu iyileştirmek için bir karar destek çerçevesi sağlamakta ve zamana bağlı yangın söndürme planlamasına ilişkin matematiksel modelleme literatürüne katkıda bulunmaktadır.

151 – Ayrık Olay Simülasyonu ile Hastane Asansörlerinde Bekleme ve Transit Sürelerinin İyileştirilmesi: Bir Vaka Çalışması

Burak İzci *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Beyza Yılmaz *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Gülcihan Kurt *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Zeynep Talay *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Yasin Göçgün *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Melis Almula Karadayı *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Hastaneler; hasta, refakatçi, personel ve tıbbi ekipman akışının kesintisiz sürdürülmesinin kritik olduğu dinamik sistemlerdir. Bu sistemlerin operasyonel altyapısında asansörler, katlar arası geçişi sağlayan basit taşıma araçları olmaktan öte, hasta güvenliğinin temini, sağlık hizmetlerine eşit erişim haklarının korunması, acil durumlarda zaman yönetimi ve hastane operasyonlarının sürdürülebilirliği için stratejik bileşendir. Uluslararası standartlar, dikey taşıma sistemlerinin işletilmesinde performans eşiklerinin aşılmamasını zorunlu kılar ancak yetersiz kapasite planlaması, hatalı kat yerleşimleri, stokastik taleplerin öngörülememesi ve donanımın verimsiz yönetimi bekleme sürelerinde uzamaya ve darboğazlara yol açarak hizmet kalitesini olumsuz biçimde etkilemektedir.

Türkiye'nin önde gelen sağlık gruplarından birine bağlı, yüksek hasta kapasitesine sahip özel bir hastanede gerçekleştirilen bu vaka çalışması, dikey taşıma altyapısının işleyişinde ciddi performans açıkları bulunduğunu göstermiştir. Saha gözlemleri, bekleme ve transit (toplam seyahat) sürelerinin uluslararası ideal eşik değerlerin oldukça üzerinde seyrettiğini, bilhassa trafiğin yoğunlaştığı periyotlarda gecikmelerin acil klinik süreçleri sekteye uğratabilecek seviyelere ulaştığını ortaya koymuştur. Bu uzamalar acil vakalara müdahalede gecikmelere, malzeme ulaştırma süreçlerinde bozulmalara ve hasta memnuniyetinde düşüşlere neden olmaktadır. Kapasite doygunluğu sebebiyle bekleyen kullanıcıların asansörden vazgeçmesi sistemin optimize edilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır. Kullanıcı profilinin tekerlekli sandalye kullanan özel gereksinimli bireyleri ve bebek arabası kullanan kullanıcıları barındırması soruna etik boyut eklemektedir.

Bu projenin amacı, asansör sistemlerindeki darboğazları gidermek için yüksek maliyetli donanım yatırımlarına gerek kalmaksızın operasyonel kontrol stratejileri ile çözüm üretmektir. Bu bağlamda, sistemlerin gerçek ortam riski taşımadan deneysel olarak test edilmesini sağlayan Ayrık Olay Simülasyonu metodolojisi benimsenmiştir. Çalışma kapsamında, hastane trafiğinin dinamik yapısını yansıtarak bekleme süresi, transit süresi, kabin doluluk oranı, karşılanamayan talep miktarı ve asansör kullanım oranlarını eş zamanlı değerlendiren Karar Destek Sistemi inşa edilmiştir. Model inşasında sahadan farklı gün ve talep seviyelerini içerecek biçimde asansör çağrı verisi toplanmış; standart yolcular ile hacimli kullanıcıları (tekerlekli sandalye ve bebek arabası kullanan) ayırt edebilmek için ağırlıklı birim yük yaklaşımı kullanılarak akış matrisleri oluşturulmuştur. Ampirik veriler, *ARENA Input Analyzer* aracıyla işlenerek olasılık dağılımlarına dönüştürülmüş ve dijital ikiz modelin veri iskeletini oluşturmuştur.

Simülasyon ortamında tasarlanan dijital ikiz modelin geçerliliği, iç mantık tutarlılığını test eden kuyruk teorisi prensipleri ve Little Yasası kullanılarak doğrulanmış; ardından simülasyon çıktıları ile gerçek saha ölçümleri kıyaslanarak modelin hata payının (%4,01) kabul edilebilir sınırların (<%10) altında kaldığı ispatlanmıştır. Doğrulama aşamasının ardından, operasyonel verimliliği maksimize etmek amacıyla temel alternatif müdahale senaryoları geliştirilmiştir. Geliştirilen alternatif senaryolar kapsamında: (i) "Dikey Tesis Yerleşim Optimizasyonu", akış matrisi analizlerine dayalı olarak trafiğin yoğun olduğu tıbbi departmanların yerleşimlerinin optimizasyonunu ve anlık en yüksek boş hacme sahip kabini seçen atama kurallarını içermekte; (ii) "Kapasite Tabanlı Trafik Ayrıştırma", belirli asansörlerin özel gereksinimli hassas yolcu profillerine tahsis edilerek korunmasını hedeflemekte; (iii) "Ekspres Rota Yönetimi", yoğunluğun yüksek olduğu katlar ile lobi arasında kesintisiz hizmet veren rota yönetimini merkeze alarak sistemin genel çevrim hızını artırmaya odaklanmıştır.

Geliştirilen bu kontrol politikaları ve dinamik talep senaryoları birleştirilerek *ARENA Output Analyzer* aracı üzerinden 50 replikasyonla kapsamlı optimizasyon süreci yürütülmüştür. Modelin ürettiği çelişen çok kriterli sonuçları rasyonel temelde değerlendirebilmek için Çok Kriterli Karar Verme literatürünün güçlü araçlarından *TOPSIS* (İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama Tekniği) uygulanmıştır. Belirlenen kriter ağırlıklarının

normalize edilmiş karar matrislerine yansıtılması, ideal çözümlere olan uzaklıkların hesaplanması neticesinde her alternatif strateji için bağıntılı yakınlık katsayıları türetilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda; dikey tesis düzeninin yeniden planlanmasını, dinamik gruplama büyüklüklerinin ayarlanmasını ve kapasite kullanımını en üst düzeye çıkaran yönlendirme mantığını birleştiren "Dikey Tesis Yerleşim Optimizasyonu" isimli senaryo varyantı, tüm talep yoğunluğu seviyelerinde en başarılı performansı sergileyerek optimal karar seti olarak tescillenmiştir.

Elde edilen bulgulara göre, bu bütünleşik politika trafik yoğunluğunun zirve yaptığı periyotlarda oluşan yığılmaları etkin biçimde dağıtırken ortalama bekleme sürelerinde %20,39'luk iyileşmeyi beraberinde getirmiş, talebin seyreldiği zaman dilimlerinde (çalışmada bu durum orta ve düşük talep seviyeleriyle ifade edilmiştir) sistemin anlık yanıt verebilirlik kabiliyetini artırarak bekleme sürelerinde yaklaşık %50'lik, transit sürede ise %28'e varan optimizasyonla efektif bir zaman yönetimi sağlandığını kanıtlamaktadır. Bu akademik çalışma, sağlık sistemleri yönetimi ile endüstri mühendisliği optimizasyon tekniklerinin arakesitinde başarılı bir vaka örneği sunarak dikey taşıma altyapılarının salt algoritmik düzenlemeler ve dinamik atama yöntemleri ile donanımdan bağımsız olarak iyileştirilebileceğini literatüre kazandırmaktadır. Sonuç olarak tasarlanan veri odaklı karar destek sistemi, operasyonel verimliliği artırmanın yanı sıra dezavantajlı grupların sağlık hizmetlerine kesintisiz erişimini güvence altına alarak Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamındaki Sağlık ve Kaliteli Yaşam (SKH-3), Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı (SKH-9) ile Eşitsizliklerin Azaltılması (SKH-10) ideallerine somut katkı sunmaktadır.

152 – Makine Öğrenimi Kullanarak Vakıf Üniversiteleri için Sıralama Tahmini

Yasin Göçgün *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Aleyna Bozdoğan *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Zeliha Nur Karakuş *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Hayrun Nisa Şahin *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin bölüm bazlı taban sıralamalarını geçmiş yıllara ait verileri kullanarak yüksek doğrulukla öngörmek amacıyla makine öğrenmesi temelli bir tahmin modeli geliştirilmesini ele almaktayız. Türkiye'de yükseköğretim kurumlarına giriş sınavlarında artan rekabet ve yaşanan gelecek kaygısı, aday öğrenciler için üniversite ve bölüm tercihlerindeki belirsizliği kritik bir sorun haline getirmektedir. Bu belirsizlik sadece öğrenciler için değil, aynı zamanda kontenjan doluluk oranlarını ve stratejik planlamalarını optimize etmeye çalışan vakıf üniversitesi yöneticileri için de karar verme güçlükleri doğurmaktadır. Bu çalışmada, vakıf üniversitelerinin bölüm bazlı taban sıralamalarını tarihsel veriler ışığında yüksek doğrulukla öngören makine öğrenmesi temelli bir model geliştirmeyi ele almaktayız.

Projenin metodolojik çerçevesinde, veriler web kazıma (web scraping) yöntemleri ile güncel kaynaklardan dinamik bir şekilde elde edilmekte; veri seti, eksik veri tamamlama (imputation) ve kategorik değişkenlerin sayısal vektörlere dönüştürülmesi (one-hot encoding) gibi titiz ön işleme süreçlerinden geçirilmektedir. Model geliştirme aşamasında Random Forest, Gradient Boosting ve KNN dahil olmak üzere yedi farklı makine öğrenmesi algoritması test edilmekte; performans değerlendirmesi MAE, MSE ve RMSE gibi hata metrikleri üzerinden gerçekleştirilerek en yüksek doğruluk oranına sahip optimize edilmiş algoritma belirlenmektedir.

Elde edilen tahmin sonuçları, tercih aşamasındaki adayların daha rasyonel kararlar vermesine olanak tanırken, kurum yöneticilerinin de kontenjan planlamalarını veriye dayalı stratejilerle kurgulamasına yardımcı olacaktır. Bu çalışma, Türkiye'deki yükseköğretim yerleştirme süreçlerinde belirsizliği minimize eden, sürdürülebilir ve yüksek hassasiyetli bir karar destek aracı sunmayı hedeflemektedir.

155 – Afet ve İnsani Yardım Lojistiği Literatürünün Bibliyometrik ve Konu Modelleme Analizi

Zuhal Dursun *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi*
Mehmet Kürşat Öksüz *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi*

Küresel ölçekte artan doğal afetler, insani yardım süreçlerinde kaynakların etkin yönetimini ve hızlı koordinasyonu zorunlu kılmakta ve bu durum afet ve insani yardım lojistiği alanının önemini giderek artırmaktadır. Bu çalışma, afet ve insani yardım lojistiği literatürünün kavramsal ve metodolojik yapısını, gelişim eğilimlerini ve tematik dönüşümünü ortaya koymak amacıyla, Web of Science (WoS) veri tabanında 2005–2025 yılları arasında yayımlanan İngilizce makaleleri bibliyometrik analiz, sosyal ağ analizi ve Latent Dirichlet Allocation (LDA) konu modelleme yöntemi ile incelemektedir. Bu yönüyle çalışma, bibliyometrik analiz ile metin madenciliği temelli konu modellemeyi bütünleştirerek literatüre çok boyutlu bir analiz çerçevesi sunmaktadır.

Analiz kapsamında Biblioshiny ile performans göstergeleri değerlendirilmiş; VOSviewer kullanılarak ortak yazarlık, atıf ve anahtar kelime ağları görselleştirilmiş; Python tabanlı doğal dil işleme teknikleri ile özet metinler analiz edilerek literatürün tematik yapısı ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, alanın son yıllarda hızlanan bir büyüme eğilimi sergilediğini göstermektedir. Ayrıca literatürün ağırlıklı olarak insani yardım tedarik zinciri yönetimi, tesis yer seçimi, afet müdahale sistemleri ve lojistik ağ tasarımı gibi uygulama alanları etrafında yoğunlaştığı; buna ek olarak talep tahmini, maliyet yönetimi ve performans ölçümü gibi konuların giderek daha fazla önem kazandığı belirlenmiştir. Sonuç olarak çalışma, afet ve insani yardım lojistiği literatürünün veri odaklı ve analitik yaklaşımlara doğru evrildiğini ortaya koymakta; özellikle sürdürülebilirlik, yapay zeka ve belirsizlik altında karar verme konularının gelecekteki araştırmalar için kritik yönelimler olduğunu göstermektedir.

156 – Çok Katmanlı İnsani Yardım Dağıtımı için Palet Tabanlı Çevrimiçi Optimizasyon: Yuvarlanan Ufuk Yaklaşımı

Fatma Sibel Salman *Koç Üniversitesi*
Ahmet Alpkutay Korkmaz *Koç Üniversitesi*

Afetlerin ardından insani yardım malzemelerinin tedarik noktalarından ihtiyaç sahiplerine ulaştırılması hem zamanın hayati önem taşıdığı hem de bilginin büyük ölçüde belirsiz olduğu bir karar problemidir. Yardım malzemeleri sahaya genellikle paletler halinde ulaşır ve bir paletin içinde tam olarak ne kadar kullanılabilir malzeme bulunduğu, palet açılıp bir dağıtım merkezinde işlenene kadar kesin olarak bilinemez. Benzer şekilde, ihtiyaç noktalarındaki talep de zaman içinde dalgalar halinde ortaya çıkar ve önceden tam olarak kestirilemez. Karar verici, gelecekteki arz ve talebi görmeden, eldeki kısıtlı ve belirsiz bilgiyle her dönem yeni kararlar almak zorundadır.

Bu çalışmada, 2023 Kahramanmaraş depremine ait veriler üzerinde, tedarik tarafındaki belirsizliği merkeze alan üç aşamalı (tedarik noktası – dağıtım merkezi – talep noktası) bir insani yardım dağıtım problemi ele alınmıştır. Problem, palet düzeyinde ikili sevkiyat kararları içeren bir karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modeli olarak kurulmuştur. Amaç fonksiyonu, karşılanan talebi zaman ağırlıklı biçimde enbüyüklemektedir: erken karşılanan talep, geç karşılanan talebe göre daha yüksek değer taşır; böylece akut müdahale penceresindeki hızlı yanıt teşvik edilir.

Belirsizliği gerçekçi biçimde modellemek için iki aşamalı yuvarlanan ufuk (rolling horizon) temelli bir çevrimiçi (online) algoritma tasarlanmıştır. Her dönemde algoritma iki kademeli çalışır. Birinci kademede, henüz açılmamış paletlerin içeriği yalnızca tahmin edilerek hangi paletlerin hangi dağıtım merkezine sevk edileceğine karar verilir. İkinci kademede, sevk edilen paletler dağıtım merkezinde açılıp gerçek içerikleri görüldükten sonra, merkez-talep noktası dağıtımı kesinleştirilir. Geçmiş dönemlerde alınan kararlar sabitlenir ve ufuk bir dönem ileri kaydırılarak süreç tekrarlanır. Bu yapı, gerçek bir afet müdahalesindeki bilgi akışını taklit eder: kararlar geri alınamaz biçimde verilir ve gelecek ancak gerçekleştikçe öğrenilir.

Tahmin bilgisinin karara dönüştürülmesinde üç farklı öngörü politikası karşılaştırılmıştır: bir paletin geçmiş tahmin değerlerinin en büyüğünü, ortalamasını veya en son gözlemlenenini esas alan politikalar. Çevrimiçi çözümün başarısı, her örnek için mükemmel bilgiye sahip çevrimdışı (offline) eniyi çözüme oranı, yani rekabet oranı (competitive ratio) ile ölçülmüştür.

Model, Kahramanmaraş veri kümesi üzerinde; arz/talep oranı, tahmin hata düzeyi, palet boyutu, arz ve talebin zamansal geliş örüntüsü ve dağıtım merkezi kapasitesi gibi etkenler açısından sistematik biçimde sınanmış ve önerilen çevrimiçi algoritmanın mükemmel bilgiye sahip çevrimdışı eniyiye yakın başarımı tutarlı biçimde yakaladığı gösterilmiştir. Sonuçlar, yöntemin gerçek bir afet müdahalesinde uygulanabilecek pratik bir karar aracı olduğunu ortaya koymaktadır. Analizler ayrıca öngörü politikası seçiminin ne zaman önem kazandığını da netleştirmektedir: dağıtım merkezi kapasitesinin bağlayıcı olduğu, yani karar vericinin sınırlı sayıda paleti seçmek zorunda kaldığı koşullarda politikalar belirgin biçimde ayrışmakta ve doğru politikanın seçilmesi rekabet oranını anlamlı ölçüde iyileştirmektedir. Bu koşullarda, paletlerin geçmiş tahminlerini değerlendiren politikalar arasında en yüksek içerikli paletleri isabetle önceliklendiren politika, çevrimdışı eniyiye en yakın çözümü üreterek sahada doğrudan kullanılabilecek bir karar kuralı sunmaktadır.

Çalışmanın katkısı üç yönlüdür. Yöntemsel olarak, tedarik tarafı belirsizliğini palet düzeyinde ikili sevkiyat kararlarıyla ele alan, iki kademeli yuvarlanan ufuk temelli bir çevrimiçi yeniden eniyileme çerçevesi önerilmekte ve bu çerçevenin mükemmel bilgiye sahip çevrimdışı eniyiye yakın başarım sağladığı gösterilmektedir. Uygulamalı olarak, yöntem gerçek 2023 Kahramanmaraş verisi üzerinde sınanarak afet lojistiğinde sahada doğrudan kullanılabilecek pratik bir karar aracı sunulmakta ve farklı koşullarda hangi öngörü politikasının tercih edilmesi gerektiğine ilişkin somut bir kılavuz ortaya konmaktadır. Kavramsal olarak ise, öngörü politikası seçiminin asıl olarak dağıtım merkezi kapasitesinin bağlayıcı olduğu, yani sınırlı sayıda paletin seçilebildiği koşullarda fark

yarattığı; bu koşullarda doğru politikanın çevrimdışı eniyiye en yakın çözümü ürettiği gösterilmektedir. Bu bulgu, insani yardım lojistiğinde öngörü temelli çevrimiçi yöntemlerin gerçek operasyonel değerinin hangi koşullarda en yüksek olduğunu anlamak açısından yol göstericidir

Anahtar kelimeler: insani yardım lojistiği, çevrimiçi eniyileme, yuvarlanan ufuk, rekabet oranı, tedarik belirsizliği, karma tamsayılı programlama

158 – Kamu Anaokulları için Tesis Yeri Optimizasayonu: Zeytinburnu İlçesi Örneği

Ece Naz Acar *Işık Üniversitesi*
Elif Savaş *Işık Üniversitesi*
Emre Bektaş *Işık Üniversitesi*
İsmail Kayahan *Işık Üniversitesi*

Hızla kentleşen büyükşehirlerde okul öncesi eğitim hizmetlerinin erişilebilir ve adil biçimde sunulması, yerel yönetimlerin öncelikli sorumlulukları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, İstanbul'un Zeytinburnu ilçesinde kamu anaokullarının yer seçimi ve kapasite planlaması problemi ele alınmakta; açılacak yeni tesislerin sayısını, konumunu ve kapasitesini eşzamanlı olarak belirleyen bir yer-tahsis modeli önerilmektedir. Problem, çok amaçlı tamsayılı doğrusal programlama (ÇATDP) modeli olarak formüle edilmiş ve talep, kapasite, en çok 1 km yürüme mesafesi, asgari kapsama oranı ile kapasite dengesi kısıtları altında çözülmüştür. Açılacak tesis sayısı önceden verilmeyip model tarafından içsel olarak belirlenmektedir. Okul öncesi talep, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve İstanbul İl Millî Eğitim Müdürlüğü verilerinden tahmin edilmiş; tapu ve parsel verileri kullanılarak ada düzeyinde 956 talep noktasına mekânsal olarak dağıtılmıştır. Model MATLAB ortamında kurulmuş, 40 farklı senaryo için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bulgular, amaç ağırlıklarının model davranışı üzerinde en belirleyici etken olduğunu; sınırlı bir yatırımın dahi erişilebilirlik ve kapsama açısından ölçülebilir iyileşmeler sağladığını göstermektedir. Önerilen model, yerel yönetimlere erken çocukluk eğitimi planlamasında veri temelli karar desteği sunmaktadır.

161 – Makine Öğrenmesi ile Türkiye'de Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Üretim Potansiyelinin Tahmini ve Senaryo Bazlı Analizi

Ezgi Bilen *Pamukkale Üniversitesi*
Mehmet Ulaş Koyuncuoğlu *Pamukkale Üniversitesi*

Enerji, ekonomik kalkınmanın, teknolojik ilerlemenin ve dolayısıyla toplumsal refahın temel girdilerinden biridir. Küresel ölçekte artan nüfusla birlikte artan enerji talebi ve iklim değişikliği, ülkeleri sürdürülebilir enerji kaynakları geliştirmeye yöneltmektedir. Benzer şekilde, Türkiye'de artan nüfus, sanayileşme ve şehirleşme enerji talebini hızla artırmaktadır. Türkiye coğrafi konumu dolayısıyla yüksek güneşlenme süresine ve rüzgâr potansiyeline sahiptir. Diğer taraftan, Türkiye enerji ihtiyacının %70'inde dışa bağımlıdır ve bu ithalatın büyük kısmı olumsuzluk potansiyeli yüksek fosil yakıtlara dayanmaktadır. Bu durum hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından bir tehdit oluşturmaktadır. Güneş ve rüzgâr gibi enerji kaynakları temiz ve yenilenebilir nitelikleri sayesinde enerji güvenliği, ithalat bağımlılığının azaltılması ve karbon nötr hedeflerine yaklaşılması açısından kritik önemdedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin güneş ve rüzgâr enerjisi üretim potansiyelinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, 2001-2024 yılları arasındaki saatlik güneş ve rüzgâr enerjisi için belirlenen meteorolojik girdi özellikleri NASA POWER veri setinden elde edilmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisi açısından farklı iklimsel ve coğrafi özellikleri temsil edebilmesi amacıyla, Türkiye genelinde 7 bölgeden seçilen 14 il üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında girdi özellikleri olarak meteorolojik veriler, hedef çıktı değişkeni ise güneş ve rüzgâr enerjisi üretim potansiyeli olarak dikkate alınmıştır. Üretim potansiyelinin hesaplanmasında illere ait meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Çalışmada çoklu doğrusal regresyon, fizik bilgili sinir ağı (PINN) ve XGBoost tabanlı makine öğrenmesi modelleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırma sonucunda XGBoost modelinin PINN ve çoklu doğrusal regresyon modellerine kıyasla en yüksek tahmin doğruluğuna ulaştığı görülmüştür. Bu çalışma ile makine öğrenmesi tabanlı tahmin yönteminin, yenilenebilir enerji üretiminin öngörülmesi ve enerji planlaması ile karar destek süreçlerine katkı sağlamada potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yenilenebilir enerji, Makine Öğrenmesi, Rüzgâr enerjisi, Güneş enerjisi.

162 – Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması Çerçevesinde Üretim ve Yatırım Planlaması

İrem Sultan Ünver *Hacettepe Üniversitesi*
Çağrı Koç *Hacettepe Üniversitesi*
Eda Yücel *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Bahar Yetiş Kara *Bilkent Üniversitesi*

Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), AB'ye ithal edilen ürünlerin gömülü emisyonlarına karbon maliyeti uygulamaktadır. Bu çalışmada, söz konusu ihtiyacı karşılamak üzere Karbon Emisyonuna Duyarlı Üretim ve Yatırım Planlama Problemi tanıtılmaktadır. Problem, birden fazla ürün üreten ve her ürün için alternatif malzeme kompozisyonlarına (geleneksel ve yeşil reçeteler) sahip bir üreticiyi ele almakta olup üretici ürünlerini AB, yurt içi ve AB dışı müşterilere satmaktadır. Problemin ayırt edici özelliği, mekanizmanın asimetrik yapısının modellenmesidir. Karbon vergisi yalnızca AB müşterilerine uygulanırken yurt içi ve AB dışı müşteriler muaftır. Ayrıca SKDM kademeli bir geçiş takvimi izlemektedir. Problem, çok dönemli bir planlama ufkunda bütçe kısıtlı ekipman yatırım zamanlamasını, gerekli ekipmanların kurulmasına bağlı ürün-kompozisyon aktivasyonunu ve hedef pazarlara yönelik üretim miktarlarını eş zamanlı olarak optimize etmeyi amaçlamaktadır. Problem, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Amaç fonksiyonu toplam kârı maksimize etmektedir. Bu, birim katkı marjının ekipman yatırım maliyetleri, SKDM vergi yükümlülüğü ve aktivasyon maliyetlerinden farkının hesaplanmasıyla elde edilmektedir. Modeldeki ikili karar değişkenleri sabitlendiğinde problem dönem bazında bağımsız doğrusal programlara ayrıştığından, büyük ölçekli örneklerin etkin çözümü için çok kesitli bir Benders ayrıştırma algoritması geliştirilmektedir. Otomotiv tedarik zincirinden esinlenen kıyaslama örnekleri üzerinde deneysel hesaplamalar yürütülmektedir.

163 – Kentsel Morfoloji Odaklı Afet Lojistiği: İstanbul Deprem Senaryosu Altında Stokastik p-Medyan Tabanlı Lokasyon Atama Modeli

Zeynep Yüksel *Işık Üniversitesi*
İlayda Fırat *Işık Üniversitesi*
Sıla Kahraman *Işık Üniversitesi*
Seda Baş Güre *Işık Üniversitesi*

Yıkıcı doğa olaylarının, özellikle de büyük ölçekli depremlerin ardından hayatta kalanların temel ihtiyaçlarının hızlı ve etkin bir şekilde karşılanması, afet yönetiminin en kritik aşamalarından biridir. Bu çalışmanın literatüre en büyük katkısı; geleneksel deterministik varsayımları aşarak sismik yükler sonucu oluşacak bina çökme mekanizmalarını, sokakların fiziksel kapasitelerini ve yol kapanma durumlarını stokastik simülasyonlarla modele entegre etmesidir. Ayrıca, klasik maliyet odaklı yaklaşımların aksine, sosyal adaleti garanti altına alan, riskten kaçınan bir Mini-max stratejisi geliştirilmiştir. İstanbul gibi heterojen kentsel dokulara sahip megakentlerde, binaların yıkım tepkisi ve lojistik ağa etkisi büyük değişkenlik göstermesinden kritik öneme sahip Afet Koordinasyon Merkezleri (AKM) ve Dağıtım Noktalarının (TN) konumlandırılması, literatürdeki bu boşluk hedeflenerek incelenmiştir.

Metodolojik olarak öncelikle, sokak genişlikleri ve bina kat sayıları açısından tamamen zıt iki mahalle profili, dar sokaklı Sümer Mahallesi ve geniş yollu Adnan Kahveci Mahallesi, analiz edilmiştir. Afet sonrası yollara devrilecek enkazı modellemek için iki aşamalı bir Monte Carlo simülasyonu tasarlanmıştır. İlk aşamada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin 7.5 büyüklüğündeki deprem senaryosu verileriyle binaların hasar dereceleri kesikli düzgün dağılım ile atanmıştır. İkinci aşamada, lognormal dağılım ve üstel sönümleme katsayısı kullanılarak molozların yola taşma oranları jenerik olarak üretilmiştir. Bu enkaz genişlikleri, FEMA'nın 2 metrelik yaya güvenlik boşluğu kuralı ile kıyaslanarak sokakların kapanma eşikleri belirlenmiştir. Bu stokastik süreç sayesinde çok sayıda gerçekçi yol kapanma senaryosu elde edilmiştir.

Doğası gereği NP-Zor olan kapasite kısıtlı tesis yer seçimi ve atama probleminin hesaplama yükünü yönetilebilir seviyelere çekmek için veri ön işleme yapılmıştır. Dijkstra En Kısa Yol Algoritması kullanılarak on binlerce mikro ölçekli sokak segmenti taranmış, AKM ile Dağıtım Noktaları TN arasındaki net erişilebilirlik matrisleri oluşturularak optimizasyonun hızı artırılmıştır.

Optimizasyon aşamasında kurulan Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama modeli, beklenen ortalama ulaşım mesafesi ile en kötü senaryoda katlanılması gereken maksimum mesafe arasında bir denge kurmayı amaçlar. Mini-max yaklaşımı sayesinde en dezavantajlı afetzedenin bile yürüme mesafesi matematiksel olarak sınırlandırılmış, karşılanamayan talep durumu Big-M ceza katsayıları ile engellenmiştir. Aday tesis kapasiteleri ise %70 depo ve %30 operasyonel alan kullanım kuralı ile sınırlandırılarak gerçeğe uygun, sağlam bir lojistik ağ tasarlanmıştır.

Geliştirilen matematiksel modelin sayısal analizleri, Python üzerinden Gurobi çözücüsü kullanılarak 50 ile 700 arasında değişen stokastik yol kapanma senaryoları altında test edilmiştir. Simülasyon sonuçları, farklı kentsel dokuların afet lojistiği üzerindeki zıt etkilerini açıkça ortaya koymuştur. Dar sokaklı Sümer Mahallesi'nde enkaz kaynaklı yol kapanma oranı %4.18 seviyesine ulaşırken, geniş caddeli Adnan Kahveci Mahallesi'nde bu oran %0.77'de kalmıştır. Ancak Adnan Kahveci'nin yayılmış yerleşim yapısı, kriz anındaki ortalama yürüme mesafesini 2240 metreye çıkarırken, Sümer Mahallesi'nin kompakt yapısı fiziksel engellere ve bozulan kentsel dokuya rağmen temel erişim mesafelerini daha düşük tutmayı başarmıştır.

Optimizasyon modelinin risk parametresi lambda üzerinden yapılan maliyet-fayda analizi, sistemin operasyonel eforu ile insani fayda arasındaki optimum noktayı belirlemiştir. Sadece beklenen ortalama mesafeyi minimize etmeye odaklanan lambda 1'in politikasının karşılanamayan taleplere ve devasa ceza maliyetlerine yol açtığı görülmüştür. Sadece en kötü durum senaryosuna M odaklanan lambda 0'ın politikası ise talepleri karşılasa da ortalama mesafeyi 2017 metreye çıkarmıştır. Operasyonel kaynak kullanımı ile sosyal adalet arasındaki ideal denge lambda politikalarında uygulanmıştır. Bu risk dengeli yaklaşımda, lambda 0.6'da tesislerin kapasite kullanım

oranları %98 gibi son derece yüksek bir operasyonel verimliliğe ulaşırken, beklenen ortalama yürüme mesafesi 1622 metre seviyesinde gerçekleşmiştir.

Elde edilen yaklaşık 1.6 kilometrelik ortalama yürüme mesafesi, uluslararası ulaşım mühendisliği yaya standartlarına 1.1-1.2 m/s acil durum yürüme hızı göre afetzedelerin en yakın RCC'ye araç gerekmeksizin yaklaşık 45 dakikada ulaşabileceğini kanıtlamaktadır. Bu süre, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) acil müdahale, panik ve şok kontrolü için kritik kabul ettiği 60 dakikalık Golden Hour kuralı ile tam bir uyum içindedir. Ayrıca model, artan senaryo boyutlarına rağmen inatla aynı AKM konumlarını seçerek sistemin aşırı uç durumlarda bile gürbüz kaldığını kanıtlamıştır. Bu bulgular, oluşturulan entegre karar destek aracının afet öncesi hazırlık evresinde kaynak israfını önleyeceğini, tam kapasite kullanımını garanti altına alacağını ve insani yardım lojistiğinde sosyal adaleti sağlayacağını göstermektedir.

164 – Orman Yangınlarında Erken Tespit için Gözetleme Optimizasyonu

Mert Ali Yiğit *Hacettepe Üniversitesi*
Erdi Daşdemir *Hacettepe Üniversitesi*
Çağrı Koç *Hacettepe Üniversitesi*

Orman yangınları, günümüzde ciddiyeti giderek artan bir afet haline gelmiştir. Bu çalışmada, yangın riskli bölgenin heterojen gözetleme birimleri ile izlenmesine yönelik bir optimizasyon yöntemi önerilmektedir. İlk olarak, alanların risklerini hesaplamak için bir simülasyon modeli kullanılmıştır. Bu risklerle beraber toplam hasarı minimize etmek için her noktadaki tespit edilemeyen bir yangının çıkma ihtimalini temsil eden stokastik değişkenler tanımlanıp karar fonksiyonunda kullanılarak bir Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (MILP) modeli üretilmiştir. Yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, çalışma alanı ızgara yapısı üzerinde modellenmekte bölgedeki yakıt nem içeriği, eğim, rüzgâr hızı gibi fiziksel parametreler kullanılarak bir yangın yayılma simülasyonu çalıştırılmaktadır. Simülasyon sonucunda, bir düğümde başlayan yangının verilen zaman ufku içinde yakacağı alanların önem skorları toplanarak söz konusu düğüme ait simülasyon tabanlı önem değeri hesaplanmaktadır. Bu değer, bölgenin nüfusu, orman yoğunluğu gibi unsurlara dayanan başlangıç önem skorlarını, yangının yayılma potansiyeliyle birleştirmektedir. İkinci aşamada, simülasyondan elde edilen parametrelerle birlikte bir MILP modeli formüle edilmektedir. Model, birden fazla türde gözetleme biriminin eşzamanlı olarak konumlandırılmasına olanak tanımakta; amaç fonksiyonu, beklenen önem ağırlıklı yanmış alan miktarını minimize edecek şekilde tasarlanmaktadır. Yangın tespit olasılıkları, yangın kaynağı ile birim konumu arasındaki mesafeye bağlı olarak tanımlanmaktadır. Olasılık hesabının çarpımsal yapısını doğrusallaştırmak için model, logaritmik dönüşüm kullanarak doğrusallaştırılmıştır. Kapsamlı deneysel çalışmalarla geliştirilen yöntemin etkinliği test edilmiştir.

165 – Yerleşke İçi Ring Rotalama Problemi-ODTÜ Örneği

Sinan Gürel *ODTU*
Elçin Gelincik Ateş *ODTU*
Levent Kısa *ODTU*
Ceyda Yakut *ODTU*
Ayşegül Gökçe Yıldırım *ODTU*

Türkiye'deki üniversiteler arasında en büyük yerleşkelerden birine sahip olan ODTÜ kampüsü; akademik binalar, öğrenci yurtları, araştırma merkezleri ve sosyal tesislerin geniş bir alana yayılması nedeniyle karmaşık bir iç ulaşım yapısına sahiptir. Kampüs içerisindeki toplu taşıma hizmeti, ring olarak adlandırılan ve belirli güzergâhlar ile sefer sıklıklarına sahip hatlar aracılığıyla sağlanmaktadır. Hafta içi, hafta sonu ve günün farklı saatlerinde değişen talep yapısına uyum sağlamak amacıyla farklı rota ve sefer planları uygulanmaktadır. Ancak mevcut sistemde değişen kullanıcı taleplerine tam olarak cevap verilemediği, ihtiyaç duyulan bazı bölgeler arasında bağlantı eksiklikleri bulunduğu ve bazı talep çiftleri için yolculuk sürelerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, ODTÜ yerleşkesindeki ring hatlarının güzergâhlarının ve sefer sıklıklarının yeniden tasarlanarak tüm ulaşım taleplerinin karşılanması ve toplam yolculuk süresinin azaltılması amaçlanmaktadır. Problem, toplu taşıma ağ tasarımı literatüründe yer alan Hat Planlama Problemi (Transit Line Planning Problem) kapsamında ele alınmış ve bu çerçevede modellenmiştir. Çalışmada kullanılan talep verileri; üniversitenin ilgili idari birimlerinden temin edilen saatlik giriş-çıkış verileri, yurt yerleşim verileri ve öğrenciler ile yerleşke kullanıcılarının gözlemlerinden elde edilen seyahat talebi bilgilerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur.

Önerilen modelde yerleşke ulaşım ağı bir grafik yapısı üzerinde temsil edilmiş ve potansiyel ring hatları aday hat kümesi olarak tanımlanmıştır. Karar değişkenleri aracılığıyla aday hatlar arasından işletilecek hatlar seçilmekte, kullanıcı talepleri ise seçilen hatlar üzerinde rotalanmaktadır. Model, kullanıcıların gerçekleştireceği aktarma ve seyahat sürelerini dikkate alırken aynı zamanda işletilecek toplam hat sayısına ilişkin kısıtları da içermektedir. Böylece kullanıcı odaklı performans ölçütleri ile operasyonel uygulanabilirlik birlikte değerlendirilmiştir.

Matematiksel model ticari bir optimizasyon çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar mevcut ring sistemi ile karşılaştırılmıştır. Hesaplama sonuçları, önerilen hat planının mevcut sisteme kıyasla toplam yolculuk süresinde yaklaşık %30 oranında iyileşme sağlayabildiğini göstermektedir. Ayrıca mevcut sistemde 86 talep çiftinin yalnızca 67'sine hizmet verilebilirken, önerilen plan ile tüm talep çiftlerinin ulaşımı sağlanabilmiştir. Elde edilen bulgular, veri odaklı optimizasyon yaklaşımlarının üniversite yerleşkelerinde toplu taşıma hizmetlerinin etkinliğini artırmada önemli faydalar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

166 – Deniz Platformlarında Kullanılan Hava Savunma Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi

Bilal Toklu *Gazi Üniversitesi*
Elif İsen *Gazi Üniversitesi*

Muhrip gemilerinin bekasının sağlanması için her türlü havadan gelen asimetrik tehdide karşı katmanlı savunma kabiliyetine sahip sensör ve silah sistemleri bakımından tam entegre; yüksek seviyede komuta-kontrol yapısına sahip sistemlerle donatılması gerekmektedir. Bu nedenle hava savunma performansının değerlendirilmesi, tek bir ölçüte indirgenemeyen, çok kriterli ve çoğu zaman belirsizlik içeren bir karar problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada deniz platformlarında kullanılan hava savunma sistemlerinin performansının değerlendirilmesine yönelik kavramsal bir zemin oluşturulmaktadır. Farklı görev önceliklerine ve teknolojik altyapılara sahip deniz hava savunma sistemlerinin (A1-A4) performansı, bulanık çok kriterli karar verme (B-ÇKKV) yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Benzer çalışmalarda gözlemlenen öznel yanlılığı minimize etmek adına kriter ağırlıkları, nesnel bir teknik olan Bulanık CRITIC yöntemiyle hesaplanmış; alternatiflerin nihai hiyerarşisi ise Bulanık TOPSIS yöntemiyle belirlenmiştir. Değerlendirme modelinde: menzil, tepki süresi, isabet kabiliyeti, atış hızı, çoklu hedef takip kapasitesi olmak üzere beş temel operasyonel kriter ele alınmıştır. Yapılan askeri literatür çalışması ve operasyonel gereksinimler doğrultusunda oluşturulan model sonuçları, çoklu hedef takip kapasitesinin ve reaksiyon süresinin en belirleyici parametreler olduğunu ve mevcut senaryoda A3 alternatifinin genel performans bakımından öne çıktığını göstermektedir. Çalışma, deniz platformu tasarımına yönelik analitik bir karar destek mekanizması sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hava savunma sistemleri, çok kriterli karar verme, Bulanık CRITIC, Bulanık TOPSIS, deniz platformları, katmanlı savunma.

169 – Karar Ağacı Algoritması Geliştirilmesiyle Bebek Maması Kategorisinde Planogram Tasarımı

Gizemsu Çimen *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Beyza Özer *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Simay Ortaboy *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Küresel perakende endüstrisi her yıl çeşitli ürünlerin ticareti ve ihtiyacı ile giderek büyümektedir (Fariza, Ayu, Qurtubi and Purnomo, 2024). Bu durum işletmeler için var olan kaynakların kullanımını maksimize etmek amacıyla raflardaki ürünlerin doğru yerleştirilmesi problemini doğurur (Fariza, Ayu, Qurtubi and Purnomo, 2024). Perakende raf planlaması, kullanılabilir alan veya raftaki her bir ürünün sayısı ve pozisyonu ile ilişkilendirilir (Fariza, Ayu, Qurtubi and Purnomo, 2024). Perakende sektörünün giderek daha rekabetçi hale gelmesiyle birlikte, ürün bulunabilirliğini, doğru yerleşimi ve planogram özelliklerine uyumu sağlamak, satışları en üst düzeye çıkarmak ve müşteri deneyimini iyileştirmek için kritik öneme sahiptir. (Pietrin, Paolanti, Mancini, Frontoni & Zingaretti, 2024).

Planogramlar tüketim ürünlerinin perakende raflarındaki yerleşimini ve atamasını tanımlayan diyagramlardır ve alan verimliliğini artırmak ve müşteri deneyimini iyileştirmek için tasarlanırlar (Silverio, Cantalupo, Custode and Iacca, 2025) Planogram tasarımı çeşitli faktörler baz alınarak yapılır: satılan ürün türü, binanın konumu ve müşterilerin demografik yapısı (Goel and Sharma, 2020).

Projemizin amacı, bebek ürünleri satan bir perakende firmasının mağazalarına bebek maması kategorisindeki ürünleri için bir planogram tasarımı yaparak firmanın raf yerleşimini ve satışlarını optimize etmek ve literatürde karşılaştığımız bu spesifik açığı kapatmaktır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için Makine Öğrenmesi yöntemlerinden biri olarak Karar Ağacı algoritması geliştirmeyi uygun gördük.

Makine Öğrenmesi bilgisayarın öğrenebileceği algoritmalar yaratmaktan ibarettir denebilir (Nasteski, 2017). Öğrenme ise veri setindeki istatistiksel düzenlilikleri veya örüntüleri bulma sürecidir (Nasteski, 2017). Makine Öğrenmesi ile problemler en basit haliyle, seçilen veri setinin iyi bir temsili olan bir model inşa ederek çözülebilirler (Nasteski, 2017). Veri madenciliğinde sınıflandırma algoritmaları büyük miktarda veriyi işleme konusunda kullanışlıdır (Charbutv and Abdulazeez, 2021). Denetimli ve denetimsiz öğrenme en çok kullanılan iki öğrenme yöntemidir. Karar Ağacı ise denetimli öğrenmenin en önemli algoritmalarından biridir. Karar ağaçları bize verinin olası sınıflandırmasını gösteren akış şeması grafikleridir ve matematiksel metotlarla araştırılabilirler (Lu, Ye and Zheng, 2022). İlişkiler sınıflandırma için kullanılırken düğümler de amaçları temsil eder (Charbutv and Abdulazeez, 2021).

Biz projemizde çeşitli yollarla toplayacağımız verileri analiz ederek yazacağımız algoritma ışığında firmanın satışlarını artıracak bir planogram tasarımı elde etmeyi hedefliyoruz. Bu bağlamda projemizin Makine Öğrenmesi gibi ileri bir teknolojiyi kullanması, veri analitiği temelli bir planogram tasarımı geliştirmesi ve bu sayede firmanın operasyonel verimliliğini ve kaynak kullanımını optimize etmeyi amaçlaması ve literatürde keşfettiğimiz bir açığı doldurması nedeniyle yenilikçi teknolojilerin sanayi uygulamalarına entegre edilmesi yoluyla Sürdürülebilir Kalkınma Amacı 9.5'in özünü desteklemektedir. Aynı zamanda projemiz, veri bilimini kullanarak karşılaşılan endüstri mühendisliği problemine çözüm sunmaktadır.

Yapılan literatür taraması sonucunda planogram tasarımı ve yapay zekâ kullanımı konusunda pek çok çalışma yapıldığı görülmüş olsa da, bebek maması gibi spesifik bir kategoriye yönelik yapılmış bir iyileştirme çalışmasına rastlanılmamıştır. Bu doğrultuda projemizin çıktılarından biri olacak bitirme tezimizin literatüre bu niş konuda katkı sağlayacağını öngörmekteyiz. Projemizi başarıyla yürütmek için izlenecek adımlar şu şekildedir:

- Mağaza çevresi verileri ile veri setindeki noktaların kümeleme ile segmente edilmesi.
- Elde edilen kümeleme sonuçları doğrultusunda 1 segment adına planogram tasarımı için model geliştirilmesi
- Geliştirilen modelin algoritmasının kurulup bu algoritmanın çözülmesi

Bulunan sonuçların mevcut raf yerleşim durumuyla ve rakip şirketlerle karşılaştırılıp yapılması amaçlanan optimizasyonun oranının belirlenmesi. Projemiz şu anda yapım aşamasındadır, haziran sonunda bitmesi beklenmektedir.

173 – Evolution of Machine Learning-driven Compiler Optimizations for Parallel Computing: A Systematic Bibliometric Analysis

Makbule Özge Özler *Istanbul Technical University*

The rapid evolution of heterogeneous hardware architectures and deep learning (DL) workloads has transformed compiler optimization from manual heuristics into data-driven and autonomous processes. As the complexity of modern GPUs that are consisting of thousands of cores and specialized units like Tensor Cores, increases, traditional optimization methods often unable to reach peak efficiency. This study presents a systematic bibliometric analysis to map the academic structure and development over time of machine learning (ML)-driven compiler optimizations for parallel computing. Utilizing a dataset of 130 peer-reviewed articles (2015–2026) indexed in Web of Science and Scopus databases, we conducted co-citation and co-word analyses via VOSviewer to identify dominant research trends. By transforming unstructured bibliographic data into structured clusters of trends, the proposed study operates as a strategic guide decision-support tool for R&D prioritization in parallel computing.

The analysis identified five distinct thematic clusters that define the current research environment: (1) Domain-specific architectures for CNNs, (2) Core GPU/CUDA infrastructure and intermediate representations, (3) Hardware-software co-design for throughput enhancement, (4) Energy- efficient autotuning, and (5) Sparse/dynamic computation strategies. The findings reveal a significant paradigm shift post-2022, where Large Language Model (LLM)-driven code generation and real-time cost modelling have replaced basic memory management and static heuristics. Furthermore, a burgeoning research hotspot around "sustainable AI" underscores a transition toward performance-per-watt metrics, driven by the environmental costs of large-scale model training. This review provides a strategic roadmap for researchers to cope and navigate the complexities of modern parallel computing, identifying cross-platform pre-trained cost models and LLM-based decompilation as prospective state-of-the-art. By synthesizing a decade of innovation, the study offers a framework for achieving scalable and efficient AI deployments on next-generation hardware architectures.

174 – Hızlı Teslimat Sektöründe Gerçek Zamanlı Analitik Çözümler: Kurye-Görev Atamalarında Verimlilik Dönüşümü

Utku Boyar *Trendyol Go by Uber Eats*

Trendyol Go by Uber Eats hızlı teslimat sektöründe faaliyet gösteren bir şirkettir. Satıcı, son kullanıcı, kurye ve platform ilişkileri etrafında işlemesiyle dinamik bir yapıya sahip olan sektör, buna bağlı olarak büyük ölçekli ve gerçek zamanlı analitik çözümler gerektirmektedir. Bu bağlamda lojistik sevk (dispatch) kararlarında makine öğrenmesi temelli tahminleme ve buradan gelen tahminleri girdi olarak kullanan matematiksel modelleme yöntemleri rol oynamaktadır.

Makine öğrenmesi ve matematiksel modelleme temelli sistem ile, son kullanıcı tarafından oluşturulan siparişlerin uygun kuryelerle eşleştirilmesi operasyonunun uçtan uca otomasyonu yapılmıştır. Makine öğrenmesi katmanı siparişlerin teslimat zamanını tahminlemekte, matematiksel modelleme katmanı ise bu tahminleri parametre olarak kullanarak şirketin stratejisine uygun olarak dizayn edilmiş amaç fonksiyonlarını eniyilemektedir.

Son kullanıcılar uygulama üzerinden sipariş oluşturduğunda, farklı makine öğrenmesi modelleri yardımıyla bir Eşleştirme Aramaya Başlama Zamanı (Matching Start Time) hesaplanmakta, siparişler kendileri için belirlenen bu zamana kadar rotalama motoruna girerek başka siparişlerle gruplanmakta, ilgili zaman geldiğinde ise eşleştirme havuzuna girerek uygun kuryeler ile eşleştirilmektedir. Oluşturulan rotalar, Eşleştirme Aramaya Başlama Zamanı gelinceye kadar bir plan niteliğindedir ve periyodik olarak çalışan rotalama motoru tarafından anlık sipariş havuzu dikkate alınarak değiştirilebilir statüye sahiptir. Sonrasında ise ilgili rotalar "görev" ismini alarak eşleştirme havuzuna dahil edilir ve bu aşamadan sonra rotalar üzerinde değişiklik yapılmaz.

Görev-Kurye Eşleştirme Motoru periyodik olarak çalışarak henüz bir kuryeye atanmamış görev ve anlık olarak bir görevde / sipariş tesliminde olmayan kurye listelerini alır. Böylece bir eşleştirme havuzu oluşturur. Havuz; kurye ve görev düğümleri (node) ile onlar arasındaki olası eşleşmeleri temsil eden kenarlardan (edge) oluşan bir iki taraflı çizge (bipartite graph) olarak modellenebilir.

Eşleştirilen görev ve kuryeler periyodik olarak oluşturulan eşleştirme havuzundan çıkarılırken eşleştirilmeyenler sıradaki havuzlarda da bulunmaya devam eder; aynı zamanda yeni oluşturulan görevler ile önceden atandığı görevi tamamlayarak boşa çıkan kuryeler de sıradaki havuza dahil edilir.

Eşleştirme havuzuna giren görevlerin olası atanma zamanlarının tahminlenmesi için, her eşleştirme periyodunun başında gerçek zamanlı olarak çalışan bir makine öğrenmesi modeli bulunur. Model, tablosal veri üzerinde çalışmaya uygun ağaç bazlı LightGBM algoritmasını temel alır. İki taraflı çizge yapısının içerdiği bilgilerden yararlanabilmek amacıyla çizge seviyesindeki özellikler, çeşitli istatistiksel işlemlerle LightGBM algoritmasının işleyebileceği tablosal formatta öznitelikelere çevrilmiştir. Bu öznitelikler üç sınıfta değerlendirilebilir:

- Çizgenin genelini temsil eden global özellikler. Örnek: toplam düğüm ve kenar sayıları
- Görevin çizge içindeki özel durumunu temsil eden lokal özellikler. Örnek: Görevi temsil eden düğümün kenar sayısı
- Görevin havuz ve dolayısıyla çizgeden bağımsız olarak sahip olduğu diğer özellikler

Bu sınıflar altında oluşturulmuş öznitelikleri girdi olarak alan model, çıktı olarak görevin tahmini atanma zamanını verir ve bu tahminler, Eniyileme Katmanı içinde model parametreleri olarak kullanılır.

Görev-Kurye Eşleştirme Problemi, ilgili iki taraflı çizgede iki parçalı eşleme problemi (bipartite matching) olarak tanımlanabilir. Problemin modellenmesi ve çözülmesinde Tam Sayılı Programlama metodu kullanılır ve çözücü (solver) olarak CPLEX'ten faydalanılır.

Görev-Kurye Eşleştirme Problemi'nin periyodik olarak çözülen bir eniyileme problemi olması, çeşitli ardışık karar verme (sequential decision making) metodolojilerinden yararlanılmasını uygun kılmaktadır. Bu bağlamda, görev statüsüne gelmeye yaklaşmış rotalar ile halihazırda bir sipariş tesliminde olan ancak yakın zamanda uygun olması beklenen kuryeler, aday görev ve kuryeler olarak eşleştirme havuzuna dahil edilmektedir. Eniyileme modeli bu

aday görev ve kuryeleri de değerlendirerek bir eşleştirme kararı verir. Ancak yalnızca Eşleştirme Aramaya Başlama Zamanı gelmiş görevler ile halihazırda uygun olan kuryeler arasında yapılan eşleştirmeler uygulamaya alınır; kalan eşleştirmeler, bir tür planlama kararı olarak değerlendirilir ve takip eden eşleştirme havuzları için bağlayıcı değildir. Bu anlamda ön-eşleştirme mekanizması, bir tür Model Öngörülü Kontrol (Model Predictive Control) metodu olarak değerlendirilebilir.

Tahminleme katmanında kullanılan model, bahsi geçtiği gibi eşleştirme havuzunu tanımlayan çizgenin özelliklerini girdi olarak almaktadır. Bu da bu katmanda tablosal veri işlemeye uygun ağaç bazlı bir model yerine direkt olarak çizge yapısını işlemek için tasarlanmış çizge sinir ağları kullanımını umut vaat edici kılmaktadır. Buna göre, manuel öznitelik mühendisliği gereksinimini ortadan kaldırma amacıyla çizgenin girdi olarak yapay sinir ağına verilerek öznitelik oluşturmanın modelin kendisine bırakıldığı bir yapı kurgulanmış ve bu yapının denenen simülasyon çalışmalarında tahminleme kalitesini artırdığı gözlenmiştir.

Ortalama eşleştirme mesafesi, şirketimizin operasyonel verimlilikte hedeflediği temel metriklerden olup kuryelerin atama anında görevin başlangıç mağazasına olan ortalama mesafelerini ölçmektedir. Görev-Kurye Eşleştirme sistemi içerisinde geliştirilen Makine Öğrenmesi Temelli Tahminleme Katmanı ve Ön-Eşleştirme Mekanizması, kümülatif olarak değerlendirildiğinde bu metrikte %11 oranında iyileşme sağlamıştır.

175 – A Comparative Technical Analysis of Hydrogen-Powered Urban Buses via an Integrated MEREC-OCRA Methodology

Makbule Özge Özler *Istanbul Technical University*
Biset Toprak *Istanbul Sabahattin Zaim University, Galatasaray University*

Climate change, primarily driven by fossil fuel consumption, constitutes a major global environmental challenge. Decarbonizing the transportation sector, particularly public transit systems, is crucial to mitigating these impacts. Consequently, European regulations increasingly motivate countries to replace conventional diesel fleets with sustainable alternatives, such as battery-electric buses (BEBs) and hydrogen fuel cell buses (HFCBs). While each technology offers distinct advantages, HFCBs—owing to their high energy density and rapid refueling—play a critical role in achieving carbon-neutral targets within sustainable urban transportation strategies. Selecting the optimal alternative is a complex decision-making problem involving multiple, often conflicting criteria. To evaluate four HFCBs based on seven technical criteria, this study proposes an integrated methodology that uses the Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREC) to determine objective criterion weights and the Operational Competitiveness Rating Analysis (OCRA) to rank alternatives. The MEREC findings indicate that refueling time (0.2805), battery capacity (0.2383), and operational range (0.2014) emerge as the most critical factors in evaluating technical performance, while vehicle length (0.0143) has the least impact. Based on these criteria weights, the OCRA results reveal that alternative A4 achieves the highest overall preference rating of 0.5941, ranking first among the alternatives, followed by A3, A2, and A1. Furthermore, a comparative analysis using the Additive Ratio Assessment System (ARAS) and the Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS) methods validates these results, confirming the robustness and consistency of the framework. This integrated approach provides a rigorous scientific decision-making tool for local authorities to select the most technically efficient and competitive HFCBs during fleet modernization processes. Future research could extend this framework by integrating the environmental, economic, and social dimensions of the triple bottom line (TBL) sustainability approach.

176 – Başkent Üniversitesi Öğrencileri Arasında Üretken Yapay Zekâ Araçlarının Benimsenmesi: Yapısal Eşitlik Modeli Analizi

Çağan Öncel *Başkent Üniversitesi*
Kumru Didem Atalay *Başkent Üniversitesi*

Bu araştırmanın amacı, üniversite öğrencilerinin üretken yapay zekâ uygulamalarına yönelik kabul düzeylerini Birleşik Teknoloji Kabul ve Kullanım Teorisi (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, UTAUT) çerçevesinde incelemektir. Çalışmaya Başkent Üniversitesinin farklı fakültelerinde öğrenim gören 393 öğrenci (268 kadın, 125 erkek; yaş ortalaması = 22,29) gönüllü olarak katılmıştır. Veri toplama aracı olarak Karaoğlan Yılmaz, Yılmaz ve Ceylan (2023) tarafından geliştirilen Üretken Yapay Zekâ Kabul Ölçeği kullanılmıştır. Verilerin analizinde açıklayıcı faktör analizi (AFA), doğrulayıcı faktör analizi (DFA), yapısal eşitlik modellemesi (YEM) analizleri uygulanmıştır. Doğrulayıcı faktör analizi dört faktörlü ölçüm modelinin verilerle kabul edilebilir düzeyde uyumlu olduğunu göstermiştir ($\chi^2/sd = 3.51$; CFI = 0.938; TLI = 0.928; RMSEA = 0.080; SRMR = 0.055). Yapısal eşitlik modeli bulguları, Performans Beklentisinin ($\beta = 0.66$; $p < .001$) ve Sosyal Etkinin ($\beta = 0.13$; $p = 0.029$) Davranışsal Niyet üzerinde anlamlı ve pozitif etkiler oluşturduğunu; Çaba Beklentisinin Davranışsal Niyet üzerindeki, Kolaylaştırıcı Koşulların ve Davranışsal Niyetin ise Kullanım Davranışı üzerindeki yollarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ortaya koymuştur. Model, Davranışsal Niyetteki varyansın %65.9'ini açıklamaktadır. Bulgular, öğrencilerin üretken yapay zekâ uygulamalarına yönelik niyetinin oluşumunda algılanan akademik fayda ve sosyal çevrenin merkezi bir rol oynadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Üretken yapay zeka, UTAUT, teknoloji kabulü, davranışsal niyet, yapısal eşitlik modeli

178– Müşteri Şikayetlerine Dayalı Ürün Türlerinin Performans Değerlendirilmesi: Aralık Değerli Pisagor Bulanık Kriter Ağırlıkları ile TOPSIS Tabanlı Bir Yaklaşım

Zeynep Nalbantoğlu *Bahçeşehir Üniversitesi*
Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Kıral Özkan *Bahçeşehir Üniversitesi*

Günümüz üretim sistemlerinde müşteri şikayetleri, ürün kalitesinin değerlendirilmesi, süreç performansının izlenmesi ve sürekli iyileştirme faaliyetlerinin yönlendirilmesinde önemli bir bilgi kaynağıdır. Özellikle oluklu mukavva sektöründe ortaya çıkan müşteri şikayetleri; üretim süreçleri, ürün kalitesi ve lojistik faaliyetlere ilişkin kritik geri bildirimler sağlamaktadır. Buna karşın işletmelerde müşteri şikayetleri çoğunlukla yalnızca operasyonel düzeyde değerlendirilmekte, çok kriterli karar verme yaklaşımları kullanılarak ürün performansının sistematik biçimde analiz edilmesine yönelik çalışmalar sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmada, müşteri şikayetlerinden yararlanılarak farklı ürün türlerinin performanslarının çok kriterli karar verme yaklaşımıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında, oluklu mukavva sektöründe faaliyet gösteren bir işletmeye ait toplam 159 müşteri şikâyeti kaydı analiz edilmiştir. Şikâyet verileri içerik analizi yöntemiyle incelenmiş; baskı problemleri, kesim-slot-kalıp problemleri, mukavemet ve kâğıt kalitesi problemleri, yapışma ve kat ayrılması problemleri, fiziksel hasar ve ezilme, eksik veya yanlış ürün, lojistik problemleri ile barkod ve etiket problemleri olmak üzere sekiz değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Alternatifler ise plaka, kutu ve kalıplı kutu olmak üzere üç farklı ürün türünden oluşturulmuştur. Farklı ürün gruplarının üretim hacimlerinden kaynaklanabilecek karşılaştırma yanlılığını ortadan kaldırmak amacıyla müşteri şikayetleri üretim miktarlarına göre normalize edilmiştir. Değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıkları, karar vericilerin belirsizlik içeren değerlendirmelerini modele yansıtabilmek amacıyla Aralık Değerli Pisagor Bulanık Kümeler yaklaşımı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS yöntemine entegre edilerek ürün türlerinin performansları sıralanmıştır. Analiz sonuçları, kalıplı kutu ürün grubunun en yüksek performansa sahip alternatif olduğunu göstermektedir. Kutu ürün grubu ikinci sırada yer alırken, plaka ürün grubunun özellikle mukavemet ve kâğıt kalitesi kaynaklı müşteri şikayetleri nedeniyle iyileştirmeye daha fazla ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Ayrıca kriter ağırlıkları incelendiğinde, mukavemet ve kâğıt kalitesi problemlerinin ürün performansını etkileyen en önemli değerlendirme kriteri olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, müşteri şikayetlerinin yalnızca kalite kontrol süreçlerinde kullanılan operasyonel veriler olmadığını göstermektedir. Ayrıca çok kriterli karar verme yöntemleri ile bütünleştirildiğinde kalite iyileştirme faaliyetlerinin önceliklendirilmesi ve karar destek süreçlerinin geliştirilmesi açısından etkin bir araç olarak da kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışmanın, müşteri odaklı kalite yönetimi uygulamalarına ve veri temelli karar verme süreçlerine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Müşteri Şikayetleri, Ürün Performans Değerlendirmesi, TOPSIS, Aralık Değerli Pisagor Bulanık Kümeler, Çok Kriterli Karar Verme, Oluklu Mukavva Sektörü

179 – Yeniden Yapılandırılabilir Üretim Sistemleri ve Endüstri 4.0

Bilge Nur Güneş *Marmara Üniversitesi*
Bahar Sennaroğlu *Marmara Üniversitesi*

Yeniden yapılandırılabilir üretim sistemleri, yüksek ürün çeşitliliği, düşük üretim hacimleri ve özel siparişleri içeren müşteri taleplerini istenen zamanda ve istenen kalite seviyesinde karşılayabilmek için geliştirilmiştir. Bu sistemler, müşteri taleplerindeki ani değişikliklere göre üretim sisteminin yapısını üretim kapasitesi ve işlevselliği bakımından hızlı ve verimli bir şekilde düzenlemek için Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanır. Endüstri 4.0 teknolojileri, nesnelerin interneti, bulut bilişim, sis bilişim, uç bilişim, siber güvenlik, dijital ikiz, gelişmiş robotlar, üç boyutlu üretim, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve makine öğrenmesini içerir. Yapılandırılabilir üretim sistemlerinin altı temel özelliği, ölçeklenebilirlik, özelleştirilebilirlik, dönüştürülebilirlik, modülerlik, entegre edilebilirlik ve teşhis edebilirliktir. Bu çalışmada, yeniden yapılandırılabilir üretim sistemlerinin özellikleri ve kurulmasında Endüstri 4.0 teknolojilerinin rolü literatüre dayalı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca, bu sistemlerin kullanıldığı endüstriyel alanlara ve sürdürülebilir üretimle olan bağlantısına çalışmada yer verilmiştir.

180 – Ayrık Zamanlı Anahtarlamalı Doğrusal Sistemler için Eniyileme Temelli Çözüm Yaklaşımı

Deniz Tuncer *Sabancı Üniversitesi*
Burak Kocuk *Sabancı Üniversitesi*

Çalışmamız, ayrık zamanlı anahtarlamalı doğrusal sistemler (discrete time switched linear systems) için eniyileme temelli modelleme ve çözüm yaklaşımlarını ele almaktadır. Anahtarlamalı sistemler, birden fazla alt sistem (mod) arasında seçim yapılabilen sistemlerdir. Her bir alt sistem farklı bir doğrusal dinamikle tanımlanır ve sistemin karakteri, anahtarlama sinyaline göre değişir. Bu yapı, kontrol, enerji sistemleri ve iletişim ağları gibi uygulamalarda karşımıza çıkabilir. Anahtarlamalı sistemlerin analizinde genellikle sistemin kararlılığını artırmak hedeflenmiş olup küresel eniyileme yöntemleri çoğu zaman göz ardı edilmiştir. Eniyileme açısından bakıldığında, genellikle kuadratik bir maliyet fonksiyonunun toplamının ayrık zaman adımları boyunca enküçüklenmesi amaçlanır.

Anahtarlamalı doğrusal sistemlerde sistemin sonraki durumu, mevcut durum vektörü, aktif alt sisteme ait sistem matrisleri ve kontrol değişkenleri kullanılarak bir özyineleme bağıntısı şeklinde tanımlanır. Çalışmamızda, ayrık zamanlı anahtarlamalı doğrusal sistemlerin özyinelemeli dinamiklerini içeren ayrık (disjunctive) karma tamsayılı kuadratik programlama modeli önermekteyiz. Bu sayede, Gurobi çözücüsü kullanılarak eniyi çözümler etkin bir şekilde elde edilebilmektedir.

181 – Çok Kamyonlu ve Çok İHA'lı Operasyonlarda Çok Amaçlı Rota Planlama: Ark Tabanlı Modelleme ve Yol Tabanlı Çözüm Yaklaşımı

Cevat Enes Karaahmetoğlu *Hacettepe Üniversitesi*
Diclehan Tezcaner Öztürk *Hacettepe Üniversitesi*

Bu çalışmada, birden fazla kamyon ve birden fazla insansız hava aracından oluşan hibrit kara-hava operasyonları için çok amaçlı bir rota planlama ve senkronizasyon problemi ele alınmaktadır. Problemde kamyonlar İHA'lar için hareketli kalkış ve geri dönüş platformları olarak değerlendirilmekte; müşteriler kamyon, İHA veya uygunluklarına göre her iki taşıma modu ile hizmet alabilmektedir. İHA'lar bir kalkış ve geri dönüş arasında birden fazla müşteri ziyaret edebilmekte, kalkış/geri dönüş noktalarını ve kamyonları seçebilmekte ve görevler batarya kapasitesi, uçuş süresi, taşıma kapasitesi, zaman uyumu, uçuşa kapalı bölgeler ve kamyon yol kısıtları gibi operasyonel koşullara tabi olmaktadır. Çalışmada temel amaçlar olarak toplam operasyonel maliyetin ve operasyon tamamlanma zamanının eş zamanlı olarak iyileştirilmesi dikkate alınmaktadır.

Araştırmanın ilk aşamasında, problemin karar yapısını ayrıntılı biçimde temsil eden ark tabanlı bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model, kamyon rotalarını, İHA uçuşlarını, taşıma ve hizmet kararlarını, kalkış/geri dönüş ilişkilerini, zaman senkronizasyonunu ve batarya tüketimini karar değişkenleri ve kısıtlar aracılığıyla aynı matematiksel yapı içinde ele almaktadır. Küçük ölçekli örnekler üzerinde maliyet ve tamamlanma zamanı amaçları arasındaki ödünleşimler incelenmiş; modelin problem tanımı, doğrulama ve kıyaslama açısından güçlü bir temel sunduğu görülmüştür. Bununla birlikte, kamyon ve İHA sayısı, müşteri sayısı ve senkronizasyon kararları arttıkça ark tabanlı modelin çözüm süresinin hızla büyüdüğü gözlemlenmiştir.

Bu nedenle çalışmanın devamında, daha ölçeklenebilir bir yol tabanlı kesin çözüm yaklaşımı geliştirilmektedir.

Bu yaklaşımda ana problem müşteri kapsama, kamyon servis kararları ve seçilen İHA görevlerinin koordinasyonunu temsil ederken, uygun İHA görevleri kaynak kısıtlı en kısa yol yapısındaki fiyatlandırma problemleri ile üretilmektedir. Mevcut araştırma aşamasında, anonim İHA görevlerinin ana problemde yeterli senkronizasyon bilgisi taşımadığı gözlemlenmiş; bu nedenle kalkış ve geri dönüş olaylarını daha açık temsil eden ana problem yapıları, dal-ve-kontrol mantığı ve olay-temelli uygulanabilirlik kontrolleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, yol tabanlı ayrıştırmanın ölçeklenebilir kesin yöntemler için umut verici olduğunu; ancak ana problemde kalkış/geri dönüş olayları, zaman uyumu ve sınırlı İHA kaynaklarının yeterli biçimde temsil edilmesinin kritik olduğunu göstermektedir. Devam eden çalışma, bu kesin yaklaşımın güçlendirilmesi, çok amaçlı Pareto analizine genişletilmesi ve büyük ölçekli örnekler için sezgisel, meta-sezgisel ve öğrenme destekli çözüm stratejileri ile tamamlanmasını hedeflemektedir.

1

183 – Kümeleme Tabanlı ve Çok Kriterli Proje Değerlendirme Yaklaşımı

Ceyda Gündüz *Hacettepe Üniversitesi*
Ceren Tuncer Şakar *Hacettepe Üniversitesi*

Rekabetin yoğun yaşandığı pazarlarda firmaların yalnızca yeni ürün geliştirmesi yeterli görülmemektedir. Bunun yanında, mevcut ürün ve projelerin değerini koruyacak şekilde etkin biçimde yönetilmesi de önem taşımaktadır. Özellikle maliyeti yüksek ve yaşam döngüsü uzun olan ürünlerin yer aldığı sektörlerde, geçmişte geliştirilen projelerin yeniden gözden geçirilmesi ve devam edip etmeyeceklerine bu değerlendirmeler doğrultusunda karar verilmesi stratejik açıdan kritik bir konudur. Bu değerlendirmelerin projelerin sadece teknik özellikleriyle değil; bütçe uyumu, ihracat potansiyeli, dış tedarik bağımlılığı, teslimat performansı ve kuruma sağladığı stratejik katkı gibi farklı ölçütlerle yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, ticarileşmiş projelerin değerlendirilmesine yönelik kümeleme yöntemleri ile desteklenmiş çok kriterli bir proje puanlama sistemi önerilmektedir. Araştırmanın ilk aşamasında geçmiş proje verileri üzerinde çeşitli kümeleme yöntemleri uygulanmış, projelerin benzer özelliklerine göre anlamlı gruplar altında toplanabildiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, proje portföyü içinde düşük ihracat odaklı yerel projeler, ihracat potansiyeli yüksek stratejik projeler, yüksek bütçeli gelişim projeleri ve dış tedarik oranı yüksek projeler gibi farklı proje profillerinin bulunduğunu; kümeleme yaklaşımının bu proje profillerini ayırt etmede başarılı olduğunu göstermiştir. Bu durum, tüm projeleri tek bir kriter setiyle değerlendirmek yerine, benzer özellik taşıyan projeleri kendi koşulları içinde ele almanın daha doğru olacağını ortaya koymuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında, her küme için farklı kriterler ve kriter ağırlıkları belirlenerek Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle puanlama yapılması planlanmaktadır. Örneğin ihracat odaklı projelerde pazar başarısı ve teslimat performansı daha önemli hale gelirken, yüksek bütçeli projelerde kaynak kullanım etkinliği ve geri dönüş oranı daha fazla ağırlık kazanabilecektir. Kümeleme algoritmalarıyla belirlenen proje profillerini ÇKKV tabanlı bir puanlama sistemine özgün bir şekilde entegre eden bu çalışmanın, proje puanlama sürecinde daha dengeli, anlaşılabilir ve stratejik hedeflerle uyumlu sonuçlar sunacağı düşünülmektedir.

184 – Kırsal Su-Enerji Sistemlerinin Güneş Enerjisi ve Depolama Entegrasyonuna Dayalı Optimizasyonu

Gamze Yetimler Kostur *Gebze Teknik Üniversitesi*
Gülsena Kurt *Gebze Teknik Üniversitesi*
Nisanur Ateş *Gebze Teknik Üniversitesi*

Kırsal bölgelerde artan su ve enerji ihtiyacı, iklim değişikliği, kuraklık ve kaynak kısıtları ile birlikte değerlendirildiğinde, entegre ve sürdürülebilir sistem çözümlerine olan gereksinim giderek artmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının su yönetim sistemleri ile birlikte ele alınması hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha dayanıklı kırsal altyapıların oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda, enerji ve su sistemlerinin birlikte optimize edilmesi, kırsal kalkınma ve kaynak verimliliği açısından önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, kırsal alanların sulama ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemleri temel alınarak, sistemin sürekliliğini ve dayanıklılığını artırmak için depolama sistemleri ile entegre bir yapı ele alınmıştır. Bu kapsamda, saatlik zaman dilimlerinde çalışan ve enerji üretimi, su pompalama ve depolama süreçlerini birlikte ele alan bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Önerilen model, yatırım ve işletme maliyetlerini minimize ederken su talebinin karşılanamaması durumunda oluşan ceza maliyetlerini de dikkate alan bir amaç fonksiyonuna sahiptir. Bu doğrultuda model, 24 saatlik bir planlama ufkunda PV kapasitesi ve su deposu büyüklüğünü eş zamanlı olarak belirleyen bir doğrusal programlama modelidir. Çalışmada ayrıca farklı sistem koşullarını temsil eden senaryolar oluşturularak sistem performansı analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen yaklaşım, örnek bir uygulama üzerinden değerlendirilmiş olup, Türkiye'de kırsal bir bölgede gerçekleştirilen analiz ile modelin uygulanabilirliği sunulmuştur.

185 – Maliyet Sızıntılarını Önlemede Ekonomik Sipariş Miktarı ve Kalite Maliyetleri Entegrasyonu: Bir Kahve Zinciri Uygulama Çalışması

Süeda Yurdakonar *Antalya Bilim Üniversitesi*
Ali Engin Dorum *Antalya Bilim Üniversitesi*
Emre Atay Tümer *Antalya Bilim Üniversitesi*
Derya Yalçın *Antalya Bilim Üniversitesi*

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi'nde hizmet vermekte olan bir kahve zinciri işletmesinde karşılaşılan görünmez stok erimesi ve envanter takip süreçlerinde tutarsızlık problemleri incelenmiştir. Sahadaki başlıca sorunların kayıt dışı fireler, takip edilemeyen müşteri ikramları ve sarf malzemelerindeki anlık stok tükenmeleri olduğu tespit edilmiş; bu sorunların yol açtığı malzeme eksikliğinin hizmet hattında duraksamalara neden olduğu gözlemlenmiştir. Çalışanlar açısından bu durum hizmet duruşu yaşanmasına, ergonomik olmayan hareketlerde bulunulmasına ve hizmet güvenliği risklerinin artmasına yol açmaktadır. Sahada gözlenen bu belirtiler, çalışma kapsamında "maliyet sızıntısı" olarak kavramsallaştırılmıştır; ancak Türkçe literatürde bu kavrama ilişkin yerleşik bir tanım bulunmadığından, çalışma kapsamında şu tanım önerilmiştir: "Maliyet sızıntısı, örgütsel operasyonlarda tahminlenen ile gerçekleşen arasında, kayıt dışı kaldığı için ölçülemeyen ve raporlanamayan kaynak kayıplarından ortaya çıkan maliyettir." Bu tanım, işletmedeki kayıt dışı fire, takip edilemeyen ikram ve ani stok tükenmesi gibi somut göstergelerle ilişkilendirilerek saha düzeyinde sınanmaktadır.

Literatürde EOQ modelleri ağırlıklı olarak üretim işletmelerinin stok yönetimi bağlamında ele alınmakta, COQ ile birlikte hizmet odaklı gıda-içecek işletmelerine entegre biçimde uygulanması ise sınırlı kalmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) ve Kalite Maliyetleri (COQ) yaklaşımlarını mevcut envanter ve kalite kontrol süreçlerine entegre eden yeni bir Kalite Kontrol Sistemi Modeli önermektir. Model; bardak, pipet gibi kritik sarf malzemelerinde EOQ uygulamasıyla hizmet duraksamalarının kökten engellenmesini, COQ uygulamasıyla da kayıt dışı firelerin ve telafi ikramlarının sistematik biçimde izlenip azaltılmasını hedeflemektedir.

Yöntem kapsamında, hizmet süreçlerini etkileyebilecek olası etkenlerin operasyonlar üzerinde anlamlı bir etkisi olup olmadığı H0 ve H1 hipotez testleriyle sınanacak; istatistiksel olarak anlamlı bulunan etkenler EOQ ve COQ hesaplamalarına parametre olarak dahil edilecektir. Maliyet sızıntısının tespitinde iki yöntem birlikte kullanılacaktır: (i) saha çalışanlarının uzman görüşüne başvurulması ve (ii) beklenen ile gerçekleşen tüketim/stok değerleri arasındaki farkın veriye dayalı olarak ölçülmesi. Bu doğrultuda çalışanlara yönelik bir anket uygulanacak, alınan geri bildirimler doğrultusunda modele farklı yöntemler eklenebilecektir.

Ürün grupları, uygulanacak yaklaşıma göre ikiye ayrılmıştır: sıcak kahve, soğuk kahve, sıcak meşrubat ve soğuk meşrubat kategorileri EOQ modeliyle; tatlılar, ekstra ürünler ve kasa önü ürünleri ise COQ modeliyle ele alınacaktır. EOQ analizinde talep, elde tutma maliyeti, sipariş verme maliyeti ve tedarik süresi parametreleri kullanılacaktır. COQ analizinde ise süreç kalitesini düşürebilecek etkenlerin tespiti için işletmeden pratikte temin edilebilecek dört temel veri kalemi belirlenmiştir: dönem başı-dönem sonu stok sayım kayıtları, kalibrasyon ölçüm kayıtları, pasta/tatlı satış performans verisi ve telafi ikramı kayıtları.

Hizmet akışının EOQ ile stabilize edilmesi sonucunda müşteri bekleme sürelerinin azalacağı ve dış hata maliyeti niteliğindeki telafi ikramlarının ortadan kalkacağı öngörülmektedir. Aynı şekilde olası stok krizlerinin ve çalışanların hizmet sürecinde karşılaşabileceği hatalı uygulamaların önlenmesiyle personelin standart ve güvenli koşullarda hizmet vermesi, kayıt dışı firelerin iç hata maliyeti boyutunun en aza indirilmesi beklenmektedir.

Önerilen modelin katkısı, salt maliyet kontrolü ile sınırlı kalmamaktadır. Stok seviyelerinin EOQ ile optimize edilmesi ve kayıt dışı firelerin COQ ile izlenmesi, gıda ve sarf malzemesi israfını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe; maliyet sızıntılarının sistematik olarak kapatılması işletmenin uzun vadeli kârlılığını ve operasyonel sürekliliğini güvence altına alarak ekonomik sürdürülebilirliğe; çalışanların standart ve güvenli koşullarda hizmet vermesi ise hizmet kalitesi ile çalışan refahını birlikte koruyarak sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, kalite kontrol süreçlerini yalnızca finansal bir sorun olarak değil, sürdürülebilir işletmecilik pratiklerinin bir bileşeni olarak da ele almaktadır.

Sonuç olarak, EOQ ve COQ yaklaşımlarının sistemli bir kalite süreçleri modeli çerçevesinde entegre edilmesiyle kahve zinciri işletmelerinde kalite kontrol süreçlerinden kaynaklanan maliyet sızıntılarının en aza indirilmesi ve önerilen modelin benzer hizmet işletmelerine genellenebilir, sürdürülebilir bir çerçeve sunması hedeflenmektedir.

186 – Weibull Tabanlı Interval Hesabı ve Doğrusal Programlama ile Uçak Komponent Bakım Paketlerinin Optimizasyonu: Gerçek Filo Verisi Üzerine Bir Uygulama

Rümeysa Özgişi İstanbul Teknik Üniversitesi / *Gözen Digital Aviation*
Özgür Kabak İstanbul Teknik Üniversitesi

Havacılık sektöründe bakım maliyetlerinin toplam işletme giderleri içindeki payının yüksekliği, bakım planlama süreçlerinin operasyonel verimliliğe doğrudan etkisi nedeniyle dikkat gerektirmektedir. Havacılık sektöründe operasyonel sürdürülebilirliğin korunması, parça arıza karakteristiklerinin doğru analiz edilmesini ve bu analizlerin uygulanabilir bakım takvimlerine dönüştürülmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, veri analitiği ile matematiksel optimizasyonu birleştiren uçtan uca hibrit bir model mimarisi geliştirilmiştir.

Bu araştırma için kullanılan veri seti, bir havayolu işletmesinde 23 yıllık kapsamlı parça söküm kayıtlarından oluşmaktadır. Elde edilen ham veri seti; eksik gözlemler tamamlanmış, uç değerler filtre edilmiş, ayrıca uçuş saatleri ve çevrimleri (FH) ile normalize edilerek 2-Parametreli (2P) Weibull dağılım modeli ile analiz edilmiştir. Parça karakteristikleri belirlenmiş, interval değerleri hesaplanan ve elde edilen parametreler Airbus OEM teorik limitlerine göre karşılaştırdıktan sonra, model uçtan uca doğrulanmış ve operasyonel gerçekler ile üreticinin verileri arasında sapma paylarını ortaya çıkarmıştır. Bu şekilde geliştirilen Karar Destek Sistemi (DSS) modeli, bakım ekiplerine dinamik bakım planları oluşturma imkanı sunan aynı zamanda gelecekte Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) onay süreçlerine sunulacak olası bakım aralığı (interval) değişiklik taleplerine bilimsel bir altlık sağlamıştır.

Elde edilen Weibull modelinden dinamik parça ömür karakteristikleri optimizasyon modellerin girdilerini oluşturmuşlardır. Planlı uçuş takvimi 3 ay için simüle edilmiştir ve her komponent için slot bazında kalan uçuş ömürleri hesaplanmıştır. 500 dakikanın üzerinde yer süresine sahip ve sadece AYT istasyonunda gerçekleşen geçişler potential bakım slotu olarak belirlenmiştir.

İstasyon iş gücü süre kapasitesi, emniyet kritik parça değişim pencereleri ve teknik tampon süreleri kısıtları altında bir Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama modeli PuLP kütüphanesi ile Python ortamında kurulmuştur. Amac fonksiyonu toplam bakım paket sayısını minimizasyonunu amaçlayan model, slot başına 1500 dakikalık çalışma süresi, minimum paket yoğunluğu için soft constraint yapısı, Hard Time (HT) komponentler için %5 erken değişim penceresi ve ömür dolmadan zorunlu değişim gereklilikleri ile Soft Time (ST) komponentlerin herhangi bir ceza fonksiyonu iş paketlerine eklenmemesini kapsayan kısıt seti üzerine kurulmuştur. Erken değişim penceresi %5 olan HT parçalar için erken değişim eşiği parametresi kurulmuş ve eşiğin pencerede geçerli slot bulunamaması durumunda otomatik genişleme kapasitesi eklenmiştir.

Kurulan model Antalya (AYT) merkezli TC-XXX kuyruk numaralı Airbus A320 uçağının gerçek uçuş verileri üzerinden bir kavram kanıtı çalışması olarak kurgulanmış ve önümüzdeki yaz dönemi için bakım paketleri planlamıştır. Elde edilen sonuçlar, bakım paketlerinin birleştirilmesi yoluyla hangar ziyareti sayısının azaltılabildiğini ve hiçbir HT komponentin ömrünü aşmadığını ortaya koymaktadır. Kavramsal doğrulaması uçtan uca tamamlanan bu hibrit metodoloji, gelecek aşamada tüm filo ölçeğine genişletilerek kapsamlı bir çalışma olarak ele alınabilir.

Anahtar Kelimeler: Uçtan Uca Hibrit Model, Weibull 2P Analizi, Airbus OEM Sapma Analizi, Interval Optimizasyonu, Proaktif Filo Yönetimi, Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP).

187 – A Novel FIT2 Gaussian Fuzzy FUCOM-QFD Framework for Designing Resilient Agri-Food Systems

Biset Toprak *Istanbul Sabahattin Zaim University, Galatasaray University*
A. Çağrı Tolga *Galatasaray University*

Global food security challenges, driven by a growing population, climate change, and recent crises like COVID-19, have exposed the severe vulnerabilities of conventional agri-food supply chains. These systemic breakdowns necessitate a transition toward resilient, localized production models. In this context, urban controlled-environment hydroponic agriculture (CEHA) systems serve as strategic solutions by decoupling food production from logistics risks and insulating crops from climate shocks and seasonal variability, thereby guaranteeing year-round production. While this physical foundation is essential, it alone is insufficient; true resilience in urban agriculture is achieved only when Agri-Food 4.0 technologies dynamically align CEHA operations with comprehensive Triple Bottom Line (TBL)-oriented goals. However, structurally aligning TBL-oriented stakeholder needs with complex technical specifications remains a critical challenge in sustainable CEHA system design. To address this challenge, this study proposes a robust multi-criteria decision-making (MCDM) framework integrating the Full Consistency Method (FUCOM) and Quality Function Deployment (QFD) within a Finite Interval Type-2 (FIT2) Gaussian fuzzy environment. This approach systematically translates TBL-oriented priorities into precise engineering specifications, mapping 17 stakeholder needs (SNs) to 30 technical design requirements (TDRs) while capturing linguistic uncertainty and hesitation of the decision-makers. The FUCOM results reveal a clear strategic focus of stakeholders on environmental and social sustainability. Specifically, high product quality, food safety and traceability, consumer acceptance, and minimizing environmental impacts are the paramount drivers for CEHA adoption. Consequently, the QFD prioritizes scalable Internet of Things (IoT) infrastructure, sensor maintenance and calibration, and AI-enabled decision support as the most critical TDRs of system design. To confirm the structural robustness and reliability of the framework, weight perturbations, a Leave-One-Out (LOO) approach, and Kendall's W test for expert consensus were performed. The proposed framework provides a scientifically grounded roadmap for designing resilient urban agricultural systems, offering agribusiness decision-makers an actionable tool to align strategic TBL goals with precise engineering specifications.

189 – Endüstriyel Yan Ürün Yönetiminde Yapay Zekâ Destekli Mobil Senkronizasyon ve Döngüsel Ekonomi Platformu Tasarımı

Sümeyra Bedir *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi*
Merve Altunay *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi*
Nazlıcan Ezeroğlu *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi*
Betül Aydın *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi*
Habibe Özpulat *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi*
Esma Akdeniz *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi*

Günümüz endüstriyel üretim sistemleri, büyük ölçüde doğal kaynakların tükenmesini hızlandıran ve işletmeler üzerine yüksek bertaraf maliyetleri yükleyen doğrusal bir "al-yap-at" modeliyle işlemektedir. Polimer kalıntıları, kimyasal çözeltiler ve atık ısı gibi çok sayıda endüstriyel yan ürün, ikincil hammadde olarak önemli bir potansiyele sahip olsa da bunların döngüsel değer zincirlerine entegrasyonu, bilgi asimetrisi, veri standardizasyonu eksikliği ve gerçek zamanlı değişim mekanizmalarının yokluğu nedeniyle söz konusu olamamaktadır.

Bu çalışmada, endüstriyel simbiyozu yapay zekâ aracılığıyla kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmış mobil tabanlı bir karar destek sistemi sunulmaktadır. Önerilen platform, yan ürün yönetimini statik ve duruma özel (ad-hoc) bir süreçten dinamik bir senkronizasyon modeline dönüştürmektedir. Sistem mimarisi, endüstriyel çıktıların teknik parametrelerini analiz etmek için Doğal Dil İşleme (NLP) ve BERT tabanlı vektörleştirme yöntemlerini kullanmaktadır. Sistem, Kosinüs Benzerliği (Cosine Similarity) kullanarak bir "Teknik Uyumluluk Skoru" hesaplayarak, Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) bünyesindeki tedarikçilerin yan ürünleri ile alıcı işletmelerin hammadde gereksinimleri arasında hassas bir eşleştirme sağlar.

Platform, teknik uyumun ötesinde, lojistik yakınlığı ve karbon ayak izi azaltımını dikkate alan çok kriterli bir karar verme çerçevesini bünyesinde barındırmaktadır. Arka plan (backend) mimarisi, ölçeklenebilirliği ve gerçek zamanlı veri akışını sağlayan bulut tabanlı mikro servislerle desteklenirken mobil arayüz, üretim sahasından doğrudan veri girişi yapılacak şekilde optimize edilmiştir. Ön bulgular, bu sistemin kaynak eşleştirme hızı ve doğruluğunu geleneksel manuel yöntemlere kıyasla önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Lojistik mesafeleri azaltan ve atıkları yeniden işlevlendiren bu sistem, döngüsel ekonomiye geçiş için dijital bir köprü sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, gerçek zamanlı atık takibi için IoT sensörlerinin entegrasyonunu ve güvenli, merkezi kontrole ihtiyaç duymayan bir hammadde ticareti için blokzincir protokollerini inceleyecektir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Simbiyoz, Döngüsel Ekonomi, Yapay Zekâ, BERT, Mobil Karar Destek Sistemleri, Sürdürülebilirlik.

190 – Afrika Kökenli Erkeklerde Prostat Kanseri Risk Faktörlerinin Analizi

Saliha Nur Uludağ *Koç Üniversitesi*
Özge Karanfil *Koç Üniversitesi*

Prostat kanseri, 2026 yılı itibarıyla Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'deki yeni erkek kanser vakalarının %31'ini ve erkek kanser ölümlerinin %11'ini oluşturacağı öngörülen küresel bir sağlık sorunu olmaya devam etmektedir (Siegel ve ark. 2026). İnsidans oranları gelişmiş ülkelerde daha yüksek olsa da mortalite açısından prostat kanseri İnsani Gelişme Endeksi (İGE) düşük olan bölgeleri, özellikle de Sahra Altı Afrika ve Karayipler'i orantısız bir şekilde etkilemektedir (Bray ve ark. 2024). Prostat kanseri, Afrika kökenli erkekleri orantısız bir şekilde etkilemesine rağmen, diğer popülasyonlarla kıyaslandığında bu grup da prostat kanseri hala yeterince incelenmemiştir. Afrika kökenli erkeklerde prostat kanserini tetikleyen unsurlara dair önemli bilgi eksiklikleri, popülasyona özgü müdahale yöntemlerinin geliştirilmesini engellemektedir.

Bu çalışma, söz konusu eksikliği gidermek amacıyla sosyo-ekonomik faktörlerin, biyolojik etkenlerin ve coğrafi bölgenin Afrikalı erkeklerdeki prostat kanseri üzerindeki etkilerini incelemeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda; Gana, Senegal, Nijerya ve Güney Afrika'yı kapsayan, Afrika Kökenli Erkekler ve Prostat Karsinomu (MADCaP) Konsorsiyumu'na ait 2016 yılı anket verileri kullanılmıştır (Odiaka ve ark. 2018). Veri temizleme ve keşifsel veri analizi sürecinin ardından; eğitimin, yaşın, aile öyküsünün ve coğrafi bölgenin hastalık şiddeti üzerindeki etkisini değerlendirmek için sistematik regresyon analizleri yürütülmüştür. Afrika popülasyonlarındaki prostat kanseri tetikleyicilerini daha iyi anlamak adına dört risk faktörüne dayalı çok değişkenli regresyon modeli kullanılmıştır. Değişkenlerin karıştırıcı etkilerini (confounding) azaltmak amacıyla kurulan bu modellerde, eşdoğrusallık ve model güvenilirliğini doğrulamak için VIF (Varyans Şişme Faktörü) ve Oster duyarlılık analizleri gibi kontrol testlerinden yararlanılmıştır.

Sonuçlar yaş, aile öyküsü ve coğrafi bölgenin hastalığın tutarlı belirleyicileri olarak tanımlamaktadır. Çok değişkenli modellerde, pozitif aile öyküsünün; toplam kanser riski, düşük dereceli kanser riski ve yüksek dereceli kanser riski kategorilerinde olasılık oranını (OR) 1,87 ile 2,91 arasına çıkardığı görülmüştür. Aynı modellerde, 56-80 yaş aralığındaki her beş yıllık yaş artışının, kanser olasılığında %19–29'luk bir artışla korelasyon gösterdiği saptanmıştır. Öte yandan, beklentilerin aksine eğitim düzeyi ile kanser riski arasında doğrusal olmayan bir ilişki gözlemlenmiştir. Orta düzey eğitim prostat kanser riskini önemli ölçüde azaltırken (OR 0,66–0,69), yüksek düzey eğitimin çok değişkenli modelde düşük dereceli prostat kanseri riskini %57 oranında artırdığı görülmüştür. Bu durum, iki farklı eğitim düzeyinde riskin iki farklı baskın faktörden kaynaklanabileceği varsayımını doğurmuştur: Orta düzey eğitimde genel refah hali etkili olabilirken, yüksek düzey eğitimde sonuçların muhtemelen "tespit yanlılığı" (detection bias) sebebiyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Genel olarak bu farklılıklar, gelecekteki risk modellerinin Afrika kökenli erkeklerdeki gerçek hastalık prevalansını doğru yansıtabilmesi için popülasyona özgü biyolojik, sosyo-ekonomik ve tarama erişimi değişkenlerini entegre etmesi gerektiğini göstermektedir.

Teşekkür: Bu çalışmanın yürütülmesindeki rehberlikleri ve veri temini sürecindeki katkıları için Prof. Dr. Illir Agalliu ve Prof. Dr. Timothy R. Rebbeck'e teşekkür ederiz.

191 – Bankacılıkta Finansal Dolandırıcılık Tespitinin Süreç Odaklı Ayrık Olay Simülasyonu ile Değerlendirilmesi

Gizemsu Çimen *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Beyza Özer *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Simay Ortaboy *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Finans sektörü, son yıllarda büyük veri uygulamalarının en yoğun kullanıldığı alanlardan biri haline gelmiştir. Bu nedenle büyük veri; finansal yönetim, risk yönetimi, finansal analiz ve finansal uygulamalara ilişkin veri yönetimi süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır (Hasan ve diğ., 2020).

Dijital işlemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte finansal dolandırıcılık olayları da artmakta ve bu durum finansal sistemlerin güvenliği ile bütünlüğü açısından önemli riskler oluşturmaktadır (Udeh ve diğ., 2024). Dolandırıcılık, finansal piyasa faaliyetleri bağlamında ele alındığında, finansal bilgilerin hukuka aykırı biçimde tahrif edilmesi veya manipüle edilmesi olarak tanımlanabilmektedir (Reurink, 2019). Finansal dolandırıcılık yalnızca bireyler ve kurumlar açısından doğrudan maddi kayıplara yol açmamakta; aynı zamanda finansal sisteme duyulan güveni zedelemekte, iş süreçlerini aksatmakta ve piyasa istikrarını tehdit etmektedir (Udeh ve diğ., 2024).

Bu noktada büyük veri analitiği, finansal dolandırıcılığın tespit edilmesi ve önlenmesinde önemli fırsatlar sunmaktadır. Büyük veri temelli yaklaşımlar sayesinde finansal işlemler içinde olağan dışı örüntüler belirlenebilmekte, anormallikler gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte ve olası risklere karşı daha proaktif yanıtlar geliştirilebilmektedir (Udeh ve diğ., 2024). Literatürde bankacılık sektöründe dolandırıcılık tespiti çoğunlukla ikili sınıflandırma problemi olarak ele alınmakta; denetimli makine öğrenmesi, denetimsiz öğrenme ve yarı denetimli anomali tespiti gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Stojanović ve diğ., 2021; Hashemi ve diğ., 2022). Bu çalışmalar çoğunlukla dolandırıcılık işlemlerini doğru biçimde tahmin etmeye odaklanmaktadır. Ancak dolandırıcılık tespitinin yalnızca bir tahmin problemi olarak değil, aynı zamanda bir süreç yönetimi problemi olarak da ele alınması gerekmektedir. Çünkü bankacılık işlemlerinde dolandırıcılığın tespit edilme biçimi; işlem akışını, kuyruk yapısını, operasyonel verimliliği ve müşteri deneyimini doğrudan etkileyebilmektedir.

Ayrık olay simülasyonu, finansal süreçlerde işlem akışlarının, kuyruk yapılarının, senaryo analizlerinin ve süreç performansının modellenmesinde kullanılabilen etkili bir yöntemdir (Da Rocha Nascimento ve diğ., 2021; Yel ve Engin, 2022). Bu çalışmada finansal dolandırıcılık tespiti yalnızca algoritmik bir sınıflandırma problemi olarak değil, bankacılık işlem sürecinin tamamını etkileyen operasyonel bir süreç problemi olarak değerlendirilmiştir. Güncel literatürde büyük veri ve yapay zekâ tabanlı dolandırıcılık tespiti yaklaşımları desteklenmekle birlikte, bu yaklaşımların ayrık olay simülasyonu ile bütünleştirildiği çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu yönüyle çalışma, dolandırıcılık tespiti sürecini işlem akışı ve süreç performansı açısından ele alarak literatüre farklı bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, Hugging Face platformundan elde edilen ve Nijerya Bankası'na ait banka işlem kayıtlarını içeren açık kaynaklı bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti; işlem tutarı, ters ibraz tutarı, dolandırıcılık bayrağı, kart türü ve ödeme yöntemi gibi değişkenleri içermektedir. Çalışmanın temel amacı, bankacılık işlem sürecinde dolandırıcılık tespit mekanizmalarının süreç performansı üzerindeki etkisini ARENA simülasyon yazılımı aracılığıyla modellemek ve alternatif senaryo üzerinden iyileştirme olanaklarını değerlendirmektir. ARENA, ayrık olay simülasyonu için kullanılan, süreçlerin dinamik yapısını modellemeye, görselleştirmeye ve analiz etmeye olanak sağlayan bir simülasyon yazılımıdır (Rasib ve diğ., 2021).

Çalışma kapsamında öncelikle veri seti incelenmiş; dolandırıcılık, ters ibraz, kart türü ve ödeme yöntemi gibi temel değişkenlere ilişkin olasılıklar belirlenmiştir. Ardından ilgili değişkenler ARENA Input Analyzer aracılığıyla dağılım analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen dağılımlar ve olayların gerçekleşme oranları dikkate alınarak bankacılık işlem sürecini temsil eden ayrık olay simülasyon modeli oluşturulmuştur. Model, 65 replikasyon ve maksimum 5000 işlem ile çalıştırılmıştır. İlk modelden elde edilen sonuçlar doğrultusunda dolandırıcılığı azaltmaya ve süreç performansını iyileştirmeye yönelik alternatif çözüm senaryosu geliştirilmiştir. Bu senaryoda, banka onay aşamasına ek bir güvenlik duvarı konarak, işlem tutarı kart limitinin %80'inden fazla olan işlemlere yeni bir kontrol

eklenmiştir. Revize edilen model aynı işlem sayısı ve replikasyon sayısı ile yeniden çalıştırılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Modelde kullanılan temel parametreler; işlem tutarı, ters ibraz tutarı, dolandırıcılık bayrağı, kart türü ve ödeme yöntemi olarak belirlenmiştir. Bu parametreler aracılığıyla hem finansal etki hem de dolandırıcılık tespit performansı değerlendirilmiştir. Performans metrikleri dört ana başlık altında ele alınmıştır: finansal etki, tespit doğruluğu, segment bazlı analizler ve istatistiksel güvenilirlik. Finansal etki kapsamında toplam dolandırıcılık tutarı ve toplam ters ibraz tutarı incelenmiştir. Tespit doğruluğu kapsamında güvenlik sistemi tarafından tespit edilemeyerek onaylanan dolandırıcılık işlemleri ile gerçekte geçerli olmasına rağmen hatalı biçimde reddedilen işlemler dikkate alınmıştır. Segment bazlı analizlerde kart türüne ve giriş yöntemine göre dolandırıcılık sayıları değerlendirilerek farklı kart türleri ve ödeme yöntemlerinin risk profilleri karşılaştırılmıştır. İstatistiksel güvenilirlik açısından ise 65 replikasyon üzerinden standart sapma ve yarı genişlik değerleri hesaplanarak simülasyon çıktılarının tutarlılığı incelenmiştir.

193 – A Fuzzy Multi-Criteria and Optimisation Framework for Designing In-Plant Milk-Run Logistics to Reduce Work-In-Process Under Uncertainty

Fatma Kaymaz Karahan *Istanbul Sabahattin Zaim University*
Doğan Şengül *Istanbul Sabahattin Zaim University*

Excessive Work-In-Process (WIP) inventory in machining facilities ties up capital, hides bottlenecks and inflates lead times. Conventional in-plant milk-run designs assume crisp values for demand, lot size and travel time. Assumptions seldom met in practice, where parameters are vague and elicited linguistically from experts. In this study, we propose an integrated fuzzy multi-criteria and fuzzy optimisation framework for converting a push-based machining shop into a pull-based milk-run system under uncertainty. In the strategic phase, Spherical Fuzzy AHP weights six criteria spanning investment cost, operating cost, ergonomics and safety, flexibility and modularity, Industry 4.0 compatibility and reliability and maintainability for tow-vehicle, modular cart and Kanban-policy selection, while Spherical Fuzzy TOPSIS ranks alternatives, cross-validated with Pythagorean and Proportional Fuzzy variants. In the operational phase, a fuzzy mixed-integer goal-programming model with triangular fuzzy demand and trapezoidal fuzzy times jointly minimises WIP, transportation cost and route imbalance, solved through Zimmermann's maxmin approach and supported by Fuzzy C-Means clustering of stations into balanced milk-run loops. The framework is benchmarked through discrete-event simulation on a machining line in Türkiye, with preliminary results indicating WIP reduction and lower route-load variance compared with deterministic baselines. The study extends Kilic et al.'s formal milk-run design methodology to a fuzzy environment and delivers the first integrated SF-MCDM and fuzzy goal-programming framework for in-plant logistics design, contributing to lean logistics decision-making under uncertainty.

194 – A Spherical Fuzzy BWM-MULTIMOORA Framework For Assessing Women's Entrepreneurship Ecosystem Enablers In Türkiye

Fatma Kaymaz Karahan *Istanbul Sabahattin Zaim University*
Doğan Şengül *Istanbul Sabahattin Zaim University*

Women's entrepreneurship ecosystems in Türkiye are shaped by interdependent enablers; access to finance, digital infrastructure, legal frameworks, social networks, education and training and cultural acceptance, whose relative importance lacks consensus and whose appraisal involves substantial expert uncertainty and hesitancy. In this study we develop a hybrid framework combining the Spherical Fuzzy Best-Worst Method (SF-BWM) for criteria weighting with Spherical Fuzzy MULTIMOORA for robust country-internal ranking of Türkiye's twelve NUTS-1 regions. Spherical fuzzy sets jointly capture membership, non-membership and hesitancy on a spherical surface, offering richer representation of three-dimensional ambiguity than intuitionistic or Pythagorean alternatives. SF-BWM minimizes pairwise comparisons while preserving consistency, making it practical for resource-constrained expert panels comprising entrepreneurship researchers, development practitioners and women entrepreneur associations. MULTIMOORA aggregates the ratio system, reference point and full multiplicative form through dominance theory, yielding rankings less sensitive to single-method assumptions. The proposal extends Bozkurt et al. (2025), who validated SF-BWM and complements MULTIMOORA precedents established by Mukul et al. (2023) and Büyüközkan et al. (2025) for Turkish ecosystem evaluation, while addressing a clear gap. Sensitivity analysis on best- and worst-criterion selections verifies ranking stability and supports evidence-based policy prioritization across Türkiye's regions for ecosystem-level interventions targeting women entrepreneurs.

195 – Stokastik Yarı-Açık Çok Depolu Elektrikli Araç Rotalama Problemi: İki Aşamalı Optimizasyon ve Simülasyon Yaklaşımı

Hakan Erdeş *Konya Teknik Üniversitesi*
Saadettin Erhan Kesen *Konya Teknik Üniversitesi*

Bu çalışma, elektrikli araçların lojistik operasyonlarında giderek artan rolü ve sürdürülebilirlik odaklı dönüşüm bağlamında, Elektrikli Araç Rotalama Problemi'nin bir versiyonunu ele almaktadır. Artan karbon emisyonu kaygıları, enerji arzındaki belirsizlikler ve elektrikli araç teknolojilerindeki gelişmeler, lojistik sektöründe elektrikli araç kullanımını hızlandırmıştır. Bununla birlikte, elektrikli araçların sınırlı menzil, uzun şarj süreleri ve şarj istasyonlarındaki yoğunluk gibi operasyonel zorlukları, klasik araç rotalama problemlerinden farklı modelleme yaklaşımlarını gerekli kılmaktadır. Literatürde Elektrikli Araç Rotalama Problemi üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, bu çalışmaların önemli bir kısmı deterministik olarak ele alınmaktadır. Oysa gerçek hayatta özellikle şarj istasyonlarındaki bekleme süreleri gibi belirsizlikler, operasyonel performansı doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlayarak stokastik unsurları ve gerçekçi şarj kararlarını entegre eden yeni bir model önermektedir.

Çalışmada ele alınan problem, Stokastik Yarı-Açık Çok Depolu Elektrikli Araç Rotalama Problemi olarak tanımlanmaktadır. Bu problemde, homojen bir elektrikli araç filosu, farklı lokasyonlarda konumlanmış müşterilere hizmet vermektedir ve her müşteri belirli talep, servis süresi ve son teslim tarihlerine sahiptir. Araçlar bir depodan çıkmakta ancak farklı bir depoda rotalarını tamamlayabilmektedir (yarı-açık rota). Araçların şarj ihtiyacı, birden fazla markanın hizmet verdiği kamuya açık şarj istasyonlarında karşılanmaktadır. Bu markalar farklı şarj hızları ve fiyatlandırma politikaları sunmaktadır. Problemin en kritik belirsizlik kaynağı ise şarj istasyonlarındaki kuyruk (bekleme) süreleridir; bu süreler istasyona varıldığında gerçekleşmekte ve önceden kesin olarak bilinmemektedir. Çalışmanın amacı, hem şarj maliyeti hem de müşteri teslimatlarındaki gecikmeden kaynaklanan maliyetin toplamı olarak ifade edilen operasyonel maliyeti en aza indirmektir.

Önerilen çözüm yaklaşımı iki aşamalı bir yapıdan oluşmaktadır. İlk aşamada, Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli kullanılarak araç rotaları, şarj istasyonu ziyaretleri ve marka seçimleri belirlenmektedir. Bu aşamada kuyruk süreleri, M/M/c kuyruk modeli kullanılarak elde edilen beklenen değerler üzerinden deterministik olarak modele dahil edilmektedir. İkinci aşamada ise simülasyon tabanlı bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu aşamada, ilk aşamada elde edilen rotalar sabit tutulmakta; ancak şarj istasyonlarındaki bekleme süreleri stokastik olarak üretilmektedir. Araçlar istasyona ulaştıklarında mevcut markalar arasında gerçekleşen kuyruk sürelerine göre en düşük maliyeti sağlayacak seçimi adaptif olarak yapabilmektedir. Bu yapı, gerçek hayatta belirsizliği zaman içinde simüle ederek daha gerçekçi bir performans değerlendirmesi sunmaktadır.

Önerilen modelin performansını değerlendirmek amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan test problemleri uyarlanmış ve çeşitli senaryolar altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde farklı filo büyüklükleri, müşteri son teslim tarihi seviyeleri ve müşteri dağılım yapıları dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, simülasyon tabanlı değerlendirmenin çoğu durumda Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama modeline kıyasla daha düşük toplam maliyetler ürettiğini göstermektedir. Ortalama olarak yaklaşık %10 oranında maliyet iyileşmesi gözlemlenmiştir. Bu iyileşmenin temel nedeni, deterministik modelin beklenen kuyruk sürelerine dayanarak gecikme maliyetlerini genellikle olduğundan fazla tahmin etmesidir. Buna karşılık simülasyon, gerçekleşen kuyruk sürelerini dikkate alarak daha esnek ve gerçekçi kararların alınmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, bazı durumlarda olumsuz kuyruk gerçekleşmeleri nedeniyle maliyetlerin arttığı da gözlemlenmiştir; bu durum problemin risk duyarlılığını ortaya koymaktadır.

Sonuçlar ayrıca operasyonel parametrelerin sistem performansı üzerindeki etkilerini de ortaya koymaktadır. Araç sayısının artırılması gecikmeleri önemli ölçüde azaltmakta ve sistemin belirsizliğe karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır. Benzer şekilde, daha geniş teslimat zaman aralıkları sistem performansını iyileştirmektedir. Müşterilerin lokasyon olarak dağılımı da önemli bir faktör olup, kümelenmiş yapılar daha istikrarlı sonuçlar verirken, rastgele ve dağınık yapılar belirsizliğin etkisini artırmaktadır. Genel olarak bu çalışma,

elektrikli araç rotalama problemlerinde stokastik unsurların dikkate alınmasının ve simülasyon tabanlı yaklaşımların kullanılmasının, daha gerçekçi ve etkin operasyonel kararlar elde edilmesinde kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

197 – Şehir İçi Kurye Operasyonlarında Kapasite ve Vardiya Kısıtlı Rota Optimizasyonu

Zeynep Asude Coşar *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Berk Kara *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Hayriye Ok *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Zehra Sukas *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Emirhan Kılıç *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Şehir içi kurye operasyonları; yüksek durak sayısı, değişken günlük talep yapısı, araç kapasitesi, vardiya süresi, servis süresi ve hizmet seviyesi beklentileri nedeniyle karmaşık bir planlama problemidir. Günlük operasyonlarda hangi aracın hangi durakları hangi sırayla ziyaret edeceği, kaç araç veya vardiya kullanılacağı, toplam mesafe ve operasyon süresinin nasıl azaltılacağı önemli karar alanlarıdır. Bu kararların manuel yöntemlerle verilmesi; kaynak kullanımında dengesizliklere, gereksiz mesafe artışına, operasyon süresinin uzamasına ve maliyetlerin yükselmesine neden olabilmektedir. Bu çalışma, şehir içi kurye operasyonlarında rota planlama sürecini daha sistematik, ölçülebilir ve karar destek odaklı hâle getirmek amacıyla geliştirilmiştir.

Çalışmanın temel amacı, kapasite ve vardiya kısıtlarını dikkate alan, gerçek yol ağına dayalı ve çoklu sefer yapısını destekleyen bütünleşik bir rota optimizasyonu yaklaşımı geliştirmektir. Problem, Araç Rotalama Problemi çerçevesinde ele alınmış; teslimat ve toplama operasyonlarına ilişkin gerçek saha kısıtları modele dâhil edilmiştir. Modelde yalnızca toplam mesafenin azaltılması değil; paket miktarı, durak sayısı, servis süreleri, araç kapasitesi, rota süresi, vardiya süresi ve araçların birden fazla sefer yapabilmesi gibi operasyonel unsurlar da dikkate alınmıştır. Böylece çalışma, teorik bir optimizasyon modeli olmanın ötesinde, günlük operasyon planlamasında kullanılabilecek uygulanabilir bir karar destek yapısı sunmayı hedeflemektedir.

Geliştirilen sistem; veri ön işleme, mesafe ve süre matrisi oluşturma, başlangıç rota üretimi, meta-sezgisel iyileştirme, çoklu sefer planlama ve performans raporlama aşamalarından oluşmaktadır. İlk aşamada günlük operasyon verileri ayrıştırılmış; durak konumları, durak tipleri, paket adetleri ve talep bilgileri modele uygun hâle getirilmiştir. Rota planlarının gerçekçi olabilmesi için duraklar arası mesafe ve seyahat süreleri kuş uçuşu uzaklık yerine gerçek yol ağı üzerinden hesaplanmıştır. Bu amaçla OSRM tabanlı mesafe ve süre matrisleri oluşturulmuş ve optimizasyon modelinin temel girdisi olarak kullanılmıştır.

Başlangıç çözümleri, mesafe ve talep önceliklendirmesine dayalı yapıcı bir sezgisel yaklaşım ile oluşturulmuştur. Daha sonra çözüm kalitesini artırmak amacıyla Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde mevcut çözümün belirli bölümleri yok etme operatörleriyle çıkarılmış, ardından onarma operatörleriyle yeniden oluşturulmuştur. Açgözlü ve pişmanlık tabanlı ekleme stratejileri birlikte kullanılarak daha kaliteli rota yapıları elde edilmeye çalışılmıştır. Hesaplama verimliliğini artırmak amacıyla aday liste stratejisi uygulanmış, böylece her iterasyonda tüm olası seçenekler yerine daha anlamlı alternatifler değerlendirilmiştir. Servis sürelerinin modele eklenmesiyle rota süreleri daha gerçekçi biçimde hesaplanmış, optimizasyon sonrası çoklu sefer yaklaşımıyla araçlara rota ataması yapılmış ve vardiya kısıtları altında operasyon planı oluşturulmuştur.
Geliştirilen sistem Pazartesi-Cuma günlerine ait gerçek operasyon verileri üzerinde test edilmiştir. Beş günlük veri seti kapsamında toplam 18.929 durak ve 49.250 paket için rota planları oluşturulmuştur. Ana optimize edilmiş rota çıktısında sistem toplam 226 rota üretmiş; toplam seyahat mesafesi yaklaşık 38.576,9 km, toplam operasyon süresi ise 1.801 saat olarak hesaplanmıştır. Araç-vardiya ataması ve çift sefer konsolidasyonu sonrasında ise 224 senaryo rotası 221 araç/vardiyaya atanmıştır. Günlük durak ve paket sayılarındaki değişime bağlı olarak rota sayıları, sefer yapısı ve operasyon süresi farklılaşmıştır. Bu durum, şehir içi kurye operasyonlarında sabit ve manuel planlama yaklaşımları yerine talep yoğunluğuna uyum sağlayabilen esnek karar destek sistemlerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Çalışmanın temel katkısı, rota optimizasyonu sürecini veri hazırlama, gerçek yol ağı entegrasyonu, servis süresi modelleme, meta-sezgisel iyileştirme, çoklu sefer planlama ve performans raporlamasıyla birlikte ele alan bütünleşik bir yapı sunmasıdır. Elde edilen bulgular, önerilen yaklaşımın şehir içi kurye operasyonlarında rota planlama, kaynak kullanımı, kapasite yönetimi ve operasyonel performans takibi açısından uygulanabilir bir karar destek sistemi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda modelin trafik yoğunluğu, zaman pencereleri, farklı araç tipleri, öncelikli gönderiler ve gerçek zamanlı yeniden planlama özellikleriyle geliştirilmesi mümkündür.

198 – İnsan–Robot İş Birlikli Ergonomik İki Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Elif Ecem Çeltek *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Gelişen teknolojiyle birlikte robotların montaj hattı sistemlerinde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle insan–robot iş birliği hem üretim verimliliğini artırması hem de çalışanların maruz kaldığı ergonomik riskleri azaltma potansiyeli nedeniyle son yıllarda daha fazla önem kazanmıştır. Büyük boyutlu ve yüksek hacimli ürünlerin üretiminde ise iki taraflı montaj hatları, alan kullanımı ve üretim akışı açısından önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, insan–robot iş birliğine sahip iki taraflı montaj hattı dengeleme problemi ele alınmaktadır. Çalışmada ergonomik risk faktörleri görev atama sürecine dahil edilmiştir. Çalışmanın amacı; çevrim süresini, iş birlikçi robotların enerji tüketimini ve çalışanların ergonomik yükünü azaltırken, ergonomik risklerin iş istasyonları arasında daha dengeli dağıtılmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda problem, karma tam sayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Literatürde kullanılan ergonomik montaj hattı dengeleme problemine ait veri setlerinden yararlanılarak önerilen model çözülmüştür.

201 – Çok Katmanlı Yapay Zekâ ve Robotik Süreç Otomasyonu ile Tedarik Zinciri

Deniz İlaslan *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Kutay Pekşen *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Melissa Bilge Karadere *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Zehra Kamışlı Öztürk *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Bu çalışma tedarik zinciri yönetiminde karar alma süreçleri ve bu kararların sistemlerde uygulanmasını bütünleşik bir yapı altında ele almayı amaçlamaktadır. Çalışma, Eczacıbaşı VitrA Karo işletmesinin tedarik zincirindeki eksiklikler temel alınarak gerçekleştirilmiştir ve diğer işletmelere de uyarlanabilir. İşletmenin büyük ölçekli bir yapıda olmasından dolayı yönetimi zorlaşan yüksek hacimli veri akışı, bilgi kaynaklarının dağınık olması ve departmanlar arası kopukluklar nedeniyle bahsedilen temel faaliyetler ciddi bir verimsizlik riski taşımaktadır.

Bu kapsamda, çalışmada çok katmanlı bir yapı ile yapay zekâ (YZ), robotik süreç otomasyonu ve büyük dil modellerinin birlikte kullanıldığı bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Süreç madenciliği ve BPMN yöntemleri ile mevcut süreçler analiz edilmiş, darboğazlar ve otomasyona uygun adımlar belirlenmiştir. Talep tahmini, risk analizi ve segmentasyon gibi kararlar için denetimli, denetimsiz ve zaman serisi tabanlı yapay zekâ modelleri kullanılmış; elde edilen çıktılar optimizasyon modelleri ile desteklenmiştir. Uygulama kapsamında her departmanın ihtiyacına göre ayrı ajanlar geliştirilmiştir. Satın Alma birimi için taşıma maliyetlerini doğrudan etkileyen parametrelerin takibi ve tahminine yönelik bir ajan oluşturulmuş, üretilen çıktılar operasyonel karar önerilerine dönüştürülmüştür. Dış Tedarik birimi için fason stok kayıtları üzerinde risk sınıflandırması yapılmış; acil müdahale gerektiren vakalar tespit edilerek ekiplere iletilmiştir. Üretim Planlama birimi için ise firmanın ürün portföyü, satış performansı ve üretim kapasitesi verilerine göre risk gruplarına ayrılmıştır. Tamamlanan otomasyon projeleriyle birlikte haftada 80 adam/saatlik zaman tasarrufu ölçülmüştür. Alınan kararların ERP/SAP sistemlerinde otomatik olarak uygulanması ise RSO bileşeni aracılığıyla sağlanmıştır.

Önerilen yapı, yalnızca tahmin ve analiz üretmekle kalmayıp, bu çıktıları otonom biçimde operasyonel süreçlere entegre etmesi açısından literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Çalışmanın, tedarik zinciri süreçlerinde verimlilik artışı, manuel iş yükünün azaltılması ve sürdürülebilir karar alma mekanizmalarının geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Robotik Süreç Otomasyonu, Yapay Zekâ, Tedarik Zinciri, Süreç Madenciliği, Kurumsal Kaynak Planlaması.

202 – Firma Değerlendirmeleri İçin Bir Kalite Olgunluk Modeli

Ayça Çetin *Hacettepe Üniversitesi*
Murat Caner Testik *Hacettepe Üniversitesi*
Ceren Tuncer Şakar *Hacettepe Üniversitesi*

Firmalar devamlı olarak gelişen teknolojiye ve yeniliklere ayak uydurmaya çalışmakta, genişlemeci ve talepkâr ulusal ve uluslararası pazarlarda rekabet etmektedirler. Bu sebeple, sektördeki değişimleri sürekli olarak takip etmeli ve kendilerini daha iyi bir konuma taşımak için çalışmalıdırlar. Bunun için de kendilerini değerlendirmeye tabi tutmalı ve iyileştirmeleri gereken noktaları belirleyerek gerekli aksiyonları almalıdırlar. Firmalarda gerçekleştirilen süreçlerin kalitesini değerlendirmek amacıyla birçok kalite ve performans değerlendirme modeli geliştirilmiştir. Bunların ortak amacı belirli kalite standartlarının hangi düzeyde karşılandığını değerlendirmek ve iyileştirmelere açık olan noktaları saptamaktır. Kurumsallaşmış ve standartlaşmış değerlendirme çerçevelerine ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, EFQM (Avrupa Kalite Yönetimi Vakfı) Mükemmellik Modeli, Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü ve CMM-I (Yetenek Olgunluk Model Entegrasyonu) örnek verilebilir. Akademik çalışmalarda önerilen araştırma temelli çeşitli olgunluk modelleri de bulunmaktadır. Bunlar kalite yönetimi ve Endüstri 4.0 gibi alanlara hizmet eden, birbirinden farklı yapılara sahip olan modellerdir. Bu çalışmada, firmaların kendilerini değerlendirmelerine ve sektörlerindeki diğer firmalarla karşılaştırmalarına olanak tanıyan yeni bir olgunluk modeli geliştirilmiştir. Model, sistem ve ürün yaşam döngüsü temeline oturtulmuştur. Modelin kullanılmasıyla firmalar hangi seviyede bir olgunluğa sahip olduklarını görebilecek, olgunluk seviyesinin artırılması gereken noktaları belirleyebilecek ve yapılması gereken iyileştirmeleri saptayabileceklerdir. Yapılacak sıralama sayesinde sektördeki diğer firmalara göre kendi mevcut durumlarını kıyaslayabileceklerdir.

203 – Makine Öğrenmesi ve Çok Kriterli Karar Verme ile Kestirimci Bakım Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi

Rabia Ece Naz *Ostim Teknik Üniversitesi*
Melisa Kübra Postallı *Ostim Teknik Üniversitesi*
Sude Ünal *Ostim Teknik Üniversitesi*
Nisa Nur İlhan *Ostim Teknik Üniversitesi*
Emre Yazıcı *Ostim Teknik Üniversitesi*

Endüstriyel işletmelerde üretim sürekliliğinin sağlanması ve maliyetlerin minimize edilmesi açısından bakım yönetimi kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel bakım yaklaşımları çoğunlukla periyodik ya da arıza sonrası müdahaleye dayalı olup, bu durum plansız duruşlara ve yüksek maliyetlere yol açabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, makine arızalarını önceden tahmin eden ve aynı zamanda bakım önceliklendirmesi yapabilen bütünleşik bir karar destek sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, gerçek üretim ortamını temsil eden açık kaynaklı AI4I 2020 veri seti kullanılmıştır. Veri seti; sıcaklık, tork, dönüş hızı ve takım aşınması gibi makine performansına ilişkin parametreleri içermektedir. İlk aşamada, makine arızalarının tahmin edilmesi amacıyla Makine Öğrenmesi (ML) yöntemlerinden Random Forest algoritması kullanılmıştır. Model geliştirme sürecinde veri ön işleme, eğitim-test ayrımı ve sınıf dengesizliği dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre modelin genel doğruluk oranı %95,75 doğruluk ve %72 geri çağırma (Recall) performansı elde edilmiştir. Özellik önem analizi sonucunda tork (%31,5), dönme hızı (%28,3) ve takım aşınmasının (%21,0) arıza oluşumunu etkileyen en önemli değişkenler olduğu belirlenmiştir.

İkinci aşamada, yalnızca tahminleme yapmak yerine bakım kararlarını desteklemek amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Bu kapsamda bakım önceliklendirmesi için arıza olasılığı, takım aşınması, tork değeri ve makine kritiklik seviyesi olmak üzere dört temel kriter belirlenmiştir. Kriterler ağırlıklandırılarak her makine için bir bakım öncelik skoru hesaplanmış ve böylece sistem, hangi makinelerin öncelikli bakım gerektirdiğini belirleyebilir hale getirilmiştir.

Geliştirilen yaklaşım, makine öğrenmesi ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla bakım kaynaklarının daha etkin yönetilmesine ve plansız duruşların azaltılmasına katkı sağlayabilecek bütünleşik bir karar destek sistemi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci bakım, Makine öğrenmesi, Random Forest, Çok kriterli karar verme, AHP, Karar destek sistemi

207 – A Reinforcement Learning Approach for Solving the Bottleneck Traveling Salesman Problem with Time Windows

Solmaz Ghazanfar Ahari *Middle East Technical University*
Buğra Öztürk *Middle East Technical University*

The Bottleneck Traveling Salesman Problem (BTSP) is a well-known NP-hard combinatorial optimization problem. Unlike the classical Traveling Salesman Problem (TSP), which adopts a minisum objective aimed at minimizing the total travel distance, the BTSP seeks to minimize the maximum edge weight in a Hamiltonian tour. This objective is particularly relevant in time-critical applications, such as emergency medical services and the distribution of perishable goods, where reducing the maximum response time is crucial for ensuring service equity and operational reliability.

In this study, we investigate the Bottleneck Traveling Salesman Problem with Time Windows (BTSPTW), which combines bottleneck optimization with strict temporal constraints. We propose a Reinforcement Learning (RL)-based framework to address these challenges simultaneously. To the best of our knowledge, this study constitutes the first application of RL to the BTSPTW reported in the literature. The proposed approach incorporates a lazy-mask decoding mechanism that utilizes feasibility masks together with a backtracking procedure to effectively handle time-window constraints.

Computational results are promising and demonstrate that the proposed RL framework can efficiently generate high-quality feasible solutions for the BTSPTW. These findings highlight the potential of learning-based optimization methods for solving complex constrained routing problems. To benchmark this method, we developed a heuristic based on previous methods in the literature and adapted them to solve BTSPTW. The results of the experiments on the same test dataset show that the LazyMask decoding mechanism finds higher quality solutions in less time in comparison to the proposed heuristic.

208 – A Heuristic Solution Approach to the Job Shop Scheduling Problem: Shifting Bottleneck Implementation at SARTEKS TEXTILE

Sena Karakuş *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Günümüz tekstil sektöründe, yüksek kapasiteli üretim tesislerinde kaynakların etkin kullanımı ve süreçlerin optimizasyonu, rekabet avantajının korunması açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, İstanbul ve Lüleburgaz'da faaliyet gösteren, günlük 40 ton üretim kapasitesine ve 60'tan fazla makine parkuruna sahip Sarteks Örme Kumaş Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş. bünyesindeki üretim süreçlerini ele almaktadır. İşletmenin çok aşamalı üretim sistemi: boyama, ram, şardon ve makas gibi birimler arasında karmaşık rota yapıları ve makine bağımlılıkları içermektedir. Bu karmaşıklık, operasyonel darboğazlara (özellikle tesiste gerçek bir dinamik darboğaz görevi gören ram makinesinde) ve verimlilik kayıplarına yol açan bir "Atölye Tipi Çizelgeleme" (Job Shop Scheduling) problemi oluşturmaktadır.

Proje kapsamında, söz konusu çizelgeleme probleminin çözümü için Ötelemeli Darboğaz Sezgisel Yöntemi (Shifting Bottleneck Heuristic - SBH) tabanlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, koyu renkten açık renge geçişlerde zorunlu olan yıkama (hazırlık/setup) süresi, şardonlu ve şardonsuz kumaş türleri
için farklı operasyonel rotalar ve spesifik makine kapasiteleri gibi gerçekçi kısıtları yapısında barındırmaktadır. Çözüm yaklaşımı, Python programlama dili kullanılarak standartlaştırılmış ve kodlanmıştır.

Çalışmanın temel amacı, toplam gecikmeyi en aza indirmek, makine atama sürelerini azaltmak ve teslim tarihlerine uyumu artırarak genel üretim verimliliğini optimize etmektir. Sayısal deneylerden elde edilen veriler, önerilen yöntemin tesisin detaylı üretim planlaması için gösterdiği performansı ve etkinliği ortaya koymaktadır. Sonuçlar, Ötelemeli Darboğaz Sezgisel Yöntemi uygulamasının genel süreç verimliliğinde %5,15'lik bir iyileşme sağladığını ve üretim ortamının getirdiği zorlukları başarıyla çözdüğünü göstermektedir.

209 – Toplu Taşıma Sistemlerinde Bütünleşik Araç ve Görev Çizelgelemesi

Taner Bilgiç *Boğaziçi Üniversitesi*
Hakan Özden *Boğaziçi Üniversitesi*
Benji Altaras *Boğaziçi Üniversitesi*

Toplu taşıma sistemlerinin tasarımı ve planlamasının ilk aşamalarında ağ tasarımı, güzergâh planlama ve tarife belirleme ile yolcu taşıma talebinin en etkin şekilde karşılanması sağlanır. Tarifeler belirlendikten sonra araç planlaması ve görev çizelgeleme aşamaları, en düşük maliyetli sistemi tasarlamayı amaçlar. Bu iki aşama genellikle önce araç planlama sonra görev çizelgeleme şeklinde ayrı yapılır. Bu çalışmada bir matematiksel optimizasyon modeli ile hem araç planlama hem de görev çizelgelemeyi bütünleşik çözmeyi öneriyoruz. Model, araç planlama için akış değişkenleri, görev çizelgeleme için ise küme ayrışımı değişkenleri kullanan karışık tamsayılı bir matematiksel programdır. Araç blokları için özelleştirilmiş bir zaman-uzay ağı gösterimi ile görevler için ayrı bir ağ gösterimi kullanır. Bu sayede, görece büyük çaplı problemleri optimal olarak çözmek mümkün olmaktadır. Havayolu sektöründe karşılaşılan benzer problemlerde çoğu zaman amaç kâr etmek iken bir kamu hizmeti olarak sunulan toplu taşıma sistemlerinde amaç sosyal faydayı en iyilemektir. Bu çalışmada kurduğumuz modeli, ağ gösterimlerinin özelliklerini ve optimal çözümleri İETT'nin Hisarüstü'nden geçen otobüs hatlarını örnek olarak kullanarak gösteriyoruz. Modelin daha büyük ölçekte problemleri çözmek için gereksinimlerini, trafik nedeniyle gecikmelerin ve değişik otobüs tiplerinin (Elektrik, CNG, Hidrojen vb) modele eklenmesi olanaklarını tartışıyoruz.

211 – Afet Sonrası Geçici Barınma ve Enerji Lojistiği Karar Destek Sistemi: Kadıköy İlçesi İçin Bir Optimizasyon Modeli

Ece Erkul *Işık Üniversitesi*
Aslı Eren *Işık Üniversitesi*
Ceren Yaşar *Işık Üniversitesi*
Assist. Prof. Dr. Füsun Recal *Işık Üniversitesi*

Beklenen İstanbul depremi, Kuzey Anadolu Fay Hattı'na olan yakınlığı sebebiyle büyük bir risk taşımakta olup, olası bir afet sonrasında çok sayıda insanın barınma ihtiyacının acilen karşılanmasını gerektirecektir. Bu çalışma, afet sonrası Kadıköy ilçesinde ortaya çıkacak geçici barınma ihtiyacını ve bu alanların acil enerji lojistiğini entegre bir şekilde ele alan bir optimizasyon modeli sunmaktadır. Geliştirilen model, afet yönetimi kapsamında iki temel probleme eşzamanlı çözüm aramaktadır: afetzedelerin güvenli barınma alanlarına optimum şekilde atanması ve bu alanlardaki jeneratörlerin çalışması için gerekli yakıtın sağlanması.

Çalışma kapsamında Kadıköy'deki 21 mahalle hedeflenmiş, olası toplanma alanları olarak 15 adet İSPARK açık otoparkı belirlenmiş ve enerji ikmali için 18 akaryakıt istasyonu modele dahil edilmiştir. Gerekli demografik ve mekansal veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Açık Veri Portalı ve Google Earth uydu görüntüleri üzerinden elde edilmiştir. Metodolojik olarak, çok amaçlı Karmaşık Tamsayılı Doğrusal Programlama (MILP) yaklaşımı kullanılarak bir matematiksel model kurulmuştur. Modelin temel amaçları; yaya yürüme mesafelerini ve yakıt tankerlerinin sefer mesafelerini en aza indirmektir. Eşzamanlı olarak, toplanma alanlarındaki aşırı yığılmaları önlemek için bir güvenlik marjı kısıtı eklenmiş ve 5 günlük planlama ufku boyunca günlük yakıt envanteri dengesi sağlanmıştır.

Çalışmanın en önemli katkılarından biri, acil durum yöneticileri için MATLAB üzerinde geliştirilen kullanıcı dostu bir Karar Destek Arayüzü sunmasıdır. Bu interaktif araç sayesinde karar vericiler, karmaşık matematiksel algoritmalarla doğrudan uğraşmadan, değişen nüfus talepleri (-%20 ile +%20 arası) ve farklı atama kuralları (mahalle bütünlüğünü koruyan blok atama veya kapasite kullanımını maksimize eden bölünmüş, kişi bazlı atama) gibi çeşitli senaryoları anlık olarak test edebilmektedir. Olası bir altyapı hasarı veya kullanılamama durumunda, karar verici arayüz üzerinden ilgili otoparkı sistemden çıkararak alternatif senaryoları test edebilmektedir.

Sonuçlar, geliştirilen modelin kısıtlı kaynakların belirsizlik altında en adil ve optimum şekilde dağıtılmasını sağlayan etkili bir karar destek aracı olduğunu göstermektedir. Modelin esnek ve parametrik veri yapısı sayesinde, kurulan sistem yalnızca Kadıköy ile sınırlı kalmayıp yeni mekansal verilerin girilmesiyle İstanbul'un diğer ilçelerine de kolayca uyarlanabilmektedir. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nı (özellikle Hedef 3, 9, 10 ve 11) doğrudan destekleyen bu proje, afet dirençliliğini artırma ve sürdürülebilir altyapı planlaması noktasında hem literatüre hem de pratik uygulamalara önemli bir katkı sunmaktadır.

212 – Metal Endüstrisinde Sürdürülebilir Teknoloji Yönetimi Süreçlerinin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği

Adem Erik *Tarsus Üniversitesi*
Ayça Zenginoğlu *Aksaray Üniversitesi*
Sakhi Mohammad Hamıdy *İstanbul Arel Üniversitesi*

Metal işleme sektöründe artan rekabet, kaynakların verimli kullanılması, çevresel etkilerin azaltılması ve çalışan odaklı sürdürülebilir uygulamaların geliştirilmesi, işletmelerin teknoloji yönetimi süreçlerini daha bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmesini gerekli kılmaktadır. Özellikle teknoloji edinimi, teknolojinin kullanımı, uyarlanması, korunması ve ticarileştirilmesi gibi süreçler; ekonomik performansın yanı sıra çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik açısından da önemli etkiler oluşturmaktadır. Bu çalışmada metal endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerde teknoloji yönetimi süreçlerinin sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi amacıyla süreç odaklı ve bulanık çok kriterli karar verme temelli bir değerlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Çalışma kapsamında ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik olmak üzere üç temel kriter boyutu ele alınmıştır. Ekonomik sürdürülebilirlik boyutunda maliyet etkinliği, süreç süresi, kaynak optimizasyonu, yatırım geri dönüşü, verimlilik artışı, pazar rekabetçiliği ve inovasyon değeri dikkate alınmıştır. Çevresel sürdürülebilirlik boyutunda enerji ve malzeme verimliliği, atık azaltımı, emisyon kontrolü, toksisite, yeniden kullanılabilirlik ve yaşam sonu yönetimi değerlendirilmiştir. Sosyal sürdürülebilirlik boyutunda ise çalışan eğitimi, iş güvenliği, sağlık ve iyi oluş, tehlikelere maruziyet, ergonomi, mevzuata uyum ve paydaş katılımı gibi kriterler ele alınmıştır. Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi için Alfa Düzeyine Dayalı Bulanık Shannon Entropi yöntemi kullanılmış, teknoloji yönetimi süreçlerinin değerlendirilmesi ve sıralanması için ise Bulanık Pisagor TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Değerlendirme yapısı süreçsel (makro), sürdürülebilirlik boyutları ve operasyon (mikro) düzeylerinde olmak üzere üç aşamalı olarak kurgulanmıştır. Makro düzeyde süreçlerin genel sürdürülebilirlik performansları belirlenmiş, boyutsal düzeyde ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik açısından ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiş, mikro düzeyde ise her bir süreci oluşturan operasyonlar değerlendirilmiştir. Ayrıca teknoloji yönetiminin tanımlama, edinim, kullanım, koruma ve yararlanma gibi temel unsurları açısından sürdürülebilirlik performansı incelenerek iyileştirme öncelikleri ortaya konulmuştur. Çalışmanın, metal sektöründe sürdürülebilir teknoloji yönetimi uygulamalarının geliştirilmesine, süreç bazlı performans boşluklarının belirlenmesine ve işletmelerin stratejik karar alma süreçlerine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Teknoloji Yönetimi, Sürdürülebilirlik, Metal Endüstrisi, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık Shannon Entropi, Bulanık Pisagor TOPSIS.

213 – İstanbul M2 Metro Hattında Yolcu Yoğunluğu Tahmini ve Tren Sıklığı Optimizasyonu için Makine Öğrenmesi Destekli Dijital İkiz Yaklaşımı

İbrahim Erdem Kalkan Çukurova *Üniversitesi*
Adem Erik *Tarsus Üniversitesi*

Kent içi raylı sistemlerde artan yolcu talebi, işletmelerin sefer planlama, kapasite yönetimi ve yolcu bekleme sürelerinin azaltılması konularında daha dinamik karar destek sistemlerine ihtiyaç duymasına neden olmaktadır. Özellikle büyükşehirlerde metro hatlarında günün farklı saatlerinde, istasyon bazında ve dönemsel olarak değişen yolcu yoğunlukları, geleneksel çizelgeleme yaklaşımlarının yetersiz kalmasına yol açabilmektedir. Bu çalışmada İstanbul M2 Yenikapı–Hacıosman metro hattında yolcu yoğunluğunun tahmin edilmesi ve tren sıklığının operasyonel koşullara göre optimize edilmesi amacıyla makine öğrenmesi destekli bir dijital ikiz mimarisi önerilmiştir. Çalışma kapsamında M2 hattına ait üç aylık yolcu geçiş verileri incelenmiş; saatlik, günlük, aylık ve istasyon bazlı yoğunluk örüntüleri analiz edilmiştir. Çalışmada sistem mimarisi fiziksel katman, veri işleme katmanı ve dijital katman olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Fiziksel katmanda turnike verileri, müşteri sayıları ve istasyon bilgileri gibi gerçek zamanlı veriler yer almaktadır. Bunun dışında hava durumu, resmi tatiller, okul takvimi, büyük etkinlikler ve arıza/gecikme bilgileri gibi dışsal değişkenlerle zenginleştirilmiştir. Veri işleme katmanında bu veriler temizlenmekte, saat, gün, hafta sonu bilgisi, zirve saat göstergesi, geçmiş dönem yolcu sayıları ve istasyon özellikleri gibi modele uygun değişkenlere dönüştürülmektedir. Dijital katmanda ise XGBoost, LightGBM, LSTM, vb. gibi makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak istasyon bazlı yolcu yoğunluğu tahmin edilmiştir. Ayrık olay simülasyonu ile tren kapasitesi, yolcu gelişleri, kuyruk oluşumu ve bekleme süreleri modellenmiştir. Çalışmada metro işletmesinde yalnızca yolcu yoğunluğu tahmin edilmemiş aynı zamanda bu tahminleri kullanarak tren sıklığı kararlarını destekleyen aktif bir dijital ikiz yapısı oluşturulmuştur. Çalışma raylı sistem işletmeciliğinde kapasite kullanımı, yolcu memnuniyeti, enerji verimliliği ve karar destek süreçleri açısından katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijital İkiz, Makine Öğrenmesi, Metro Yolcu Yoğunluğu, Ayrık Olay Simülasyonu, Tren Sıklığı Optimizasyonu, Raylı Sistemler

216 – Türkiye Elektrik Talebi Tahmini: Veri Odaklı Çözüm Çerçevesi

Şevval Nesibe Arslan *Hacettepe Üniversitesi*
Dilara Nur Kedici *Hacettepe Üniversitesi*
Merve Atak *Enerjisa Üretim*
Kıvanç Akyıldız *Enerjisa Üretim*

Bu proje, Türkiye elektrik talebinin saatlik düzeyde tahmin edilmesi amacıyla; geçmiş tüketim profilleri, nüfus ağırlıklı HDD/CDD değişkenleri, takvim etkileri, tatil göstergeleri ve makroekonomik göstergeleri birlikte kullanan veri odaklı bir tahmin modeli geliştirmiştir. 2022–2024 verileriyle geliştirilen model, 2025 test yılı ve 2026 Ocak–Mayıs gerçekleşen tüketim verileriyle doğrulanmış; regresyon, LASSO tabanlı etkileşim analizi, XGBoost ve SHAP yöntemleriyle hem tahmin doğruluğu hem de yorumlanabilirlik sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, modelin elektrik talebinin mevsimsel, saatlik ve ekonomik dinamiklerini başarılı biçimde yakaladığını; fiyat tahmini, portföy yönetimi, dengesizlik maliyetlerinin azaltılması, bakım planlaması ve ticari pozisyon alma süreçlerinde enerji piyasası katılımcılarına operasyonel ve finansal katkı sunabilecek uygulanabilir bir karar destek aracı olduğunu göstermektedir.

217 – Türkiye'de Mevsimsel Grip (Tip H3N2) Dinamiklerinin Modellenmesi ve Analizi

Gazel Günaydın *Acıbadem Üniversitesi*
Prof. Dr. Yaman Barlas *Acıbadem Üniversitesi*

Mevsimsel grip, dünyanın tüm bölgelerini etkileyen önemli morbidite ve mortalite sorunlarına yol açmaktadır. Hastalığın bulaş dinamiklerinin anlaşılması, etkili halk sağlığı önlemlerinin uygulanması açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, yaşa göre sınıflandırılmış kompartmantal bir SEIR modeli kurarak Türkiye'de influenza tip H3N2'nin bulaş dinamikleri hakkında içgörüler elde etmeyi amaçlamaktadır. Model, Türkiye'den elde edilen sürveyans verileri kullanılarak doğrulandıktan ve geçerliliği test edildikten sonra; enfeksiyonlar, hastaneye yatışlar ve ölümler gibi hastalık yükünü belirleyen temel değişkenler üzerinde farklı halk sağlığı politikalarının etkileri analiz edilmiştir. Bu politika senaryoları; aşılanma oranlarının artırılması, fiziksel mesafe, maske kullanımı ve el hijyeni gibi sağlıklı davranışların benimsenmesi ile semptomatik okul çağındaki çocukların izolasyonunun artırılmasını içermektedir. Farklı senaryolarla yapılan analizler, yaş grupları arasındaki karmaşık ilişkiyi ortaya koymuş ve bir yaş grubunun benimsediği tek bir sağlıklı davranışın dahi diğer gruplara da önemli ölçüde fayda sağlayabildiğini göstermiştir.

218 – Akciğer Kanseri İnsidansı ve Mortalite Tahmini için Yarı-Markovyen Bir Mikro-Benzetim Yaklaşımı: Türkiye Örneği

Yusuf Seçerdin *Başkent Üniversitesi*
Haluk Damgacıoğlu *Medical University of South Carolina*

Sigara ve tütün bağımlılığı günümüzde eriştiği seviye nedeniyle tüm dünyada halk sağlığını etkileyen en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) raporlarına göre dünyada her yıl 5 milyon kişi sigara ve benzeri tütün ürünlerinin kullanımıyla ilişkilendirilen hastalıklardan etkilenmektedir. Devletler bu sorunla baş edebilmek için tam yasaklama, satışının yasaklanması, zarar azaltma, içerik düzenleme, bölgesel veya dönemsel yasaklama, minimum yaş kısıtlaması gibi çeşitli yasal düzenlemeler ve kamu sağlığı politikaları geliştirmektedir. Bu kapsamda, bu müdahalelerin sigara kullanımına ve ilişkili halk sağlığı sorunlarına ne şekilde etki edeceğinin araştırılması büyük önem arz etmektedir.

Yaklaşık 16 milyon yetişkinin sigara içicisi olduğu, 15 yaş ve üzeri nüfusun dörte birinden fazlasının her gün sigara içtiği Türkiye özelinde ise sigara bağımlılığının DSÖ yetkilileri tarafından sigara salgınının (tütün epidemisi) evreleri bağlamında kritik bir noktada yer aldığı yorumu yapılmaktadır. Sigara tüketimi Türk toplumunda görülen kanser türleri için başlıca risk etkenlerinden biridir. Ülkemizde 1990'lı yıllardan beri tütün kontrolü çalışmaları yürütülmektedir. Ancak mevcut tütün kontrol müdahalelerinin sigara tüketiminin ve sigarayla ilişkili kanser türlerinin (malignite) azaltılması üzerindeki uzun vadeli etkilerinin henüz nicel olarak modellenmemiş olması literatürdeki temel boşluğu oluşturmaktadır. Bu çalışma, mevcut tütün kontrolü çalışmaları sayesinde 2010'dan 2050'ye kadar olan süreçte tütün kullanımı ile sigarayla ilişkili kanser vakalarının görülme sıklığı (insidansı) ve ölüm oranları (mortalite) üzerindeki gözlemlenebilecek olası azalmayı tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

Çalışma kapsamında, bir yarı Markovyen ayrık olaylı benzetim modeli geliştirilmektedir. Önerilen model, mikrobenzetim olarak bilinen birey düzeyinde çalışmakta ve nüfus genelindeki sigara içme yaygınlığını tahmin etmektedir. Modelde ele alınan popülasyon mevcut sigara içicileri, sigarayı bırakmış olanlar ve hiç sigara içmemiş kişilerden oluşmaktadır. Nüfusun ele alınan bu farklı durumlarda kalış süresi dikkate alındığı için önerilen model yarı Markovyen özelliktedir. Modelde, sigara kaynaklı akciğer kanseri için risk oranları kullanılmaktadır; risk oranları ise yaş, cinsiyet ve sigara içme yaygınlığına dayanan kanser türüne özgü potansiyel etki oranları aracılığıyla hesaplanmaktadır.

Gelecekteki akciğer kanser vakası sayılarına ilişkin tahminler elde edebilmek için, yakın geçmişte gözlemlenen sigara tüketimi eğiliminin devam edeceği varsayılmaktadır. Modelde kullanılan veriler arasında kayıtlı kanser verileri, tahmini nüfus büyüklüğü, yayınlanmış etki büyüklükleri ve ulusal günlük sigara içme yaygınlığı bulunmaktadır. Kayıtlı akciğer kanseri vakaları verileri, İzmir ve Antalya kanser kayıt merkezleri tarafından toplanan ve DSÖ ile paylaşılan veri setine dayanmaktadır; bu veri seti yaş, cinsiyet ve görülme sıklığı gibi ayrıntıları içermektedir. Sigara tüketimi ve tütün bağımlılığı ile ilgili diğer istatistikler için Yeşilay tarafından yayımlanan "2025 Tütün Raporu"ndan; yasal düzenlemeler ve kamu sağlığı politikaları için ise Türkiye Sağlık Politikaları Enstitüsü tarafından yayımlanan Elektronik Sigara ve Yeni Nesil Tütün Ürünleri Politika Değerlendirme Raporu'ndan faydalanılmaktadır. Model, geçmiş kanser kayıtlarıyla kalibre edilmekte ve geçerlenmektedir.

Önerilen mikro benzetim modeli sigaraya başlama modülü, sigarayı bırakma modülü ve yeniden başlama (nüksetme) modülü gibi birden fazla bileşenden oluşmakta ve R programlama dili kullanılarak geliştirilmektedir. Sigaraya başlama modülü sigara içmeyen kişileri ve sigarayı bırakmış kişileri, sigarayı bırakma modülü halihazırda sigara içen kişileri ve yeniden başlama modülü ise daha önce içici olup sigarayı bırakmış kişileri ele almaktadır. Hâlâ devam etmekte olan bu çalışmada, geliştirilen benzetim modelinden elde edilen ilk bulgular ve sonuçlarla ilgili olarak tütün kontrolü politikalarının etkinliği tartışılacaktır.

219 – Çok Aktarmalı Hava Kargo Rota Seçiminin Yapay Zekâ Destekli Optimizasyonu

Didem Babalık Altunbaş *ATÜ Duty Free*
Dr. Ögr. Üyesi Tuğba Kıral Özkan *Bahçeşehir Üniversitesi*

Hava kargo taşımacılığı, zaman hassasiyeti ve kapasite kısıtları nedeniyle karmaşık bir lojistik problem alanı oluşturmaktadır. Çok aktarmalı ağ yapılarında rota seçimi; maliyet, süre, bağlantı güvenilirliği ve gecikme riski gibi birçok kriteri içeren karmaşık bir karar problemidir. Özellikle uzun mesafeli taşımacılıkta yakıt tüketimi, aktarma süreleri ve kapasite kısıtları gibi dinamik faktörler bu süreci daha da zorlaştırmaktadır. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği verilerine göre 2026 yılında hava kargo talebi artış göstermeye devam etmektedir. Bu durum, daha etkin ve veri odaklı optimizasyon yöntemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır.

Bu çalışmada, çok aktarmalı hava kargo ağlarında rota seçimi problemi ele alınmış ve uçuş gecikme riskini de dikkate alan yapay zekâ destekli bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Modelin temel amacı, en düşük maliyetli rotayı belirlemek yerine; maliyet, uçuş süresi ve gecikme riskini aynı anda dikkate alarak karar vericilere Pareto-optimal alternatifler sunmaktır. Bu amaç çerçevesinde Öncelikle Bureau of Transportation Statistics (BTS) 2025 yılı uçuş verileri kullanılarak XGBoost algoritması ile gecikme riski tahmin edilmiş, ardından tahmin edilen risk değerleri NSGA-II algoritması kullanılarak maliyet ve uçuş süresi ile birlikte çok amaçlı rota optimizasyonuna entegre edilmiştir. Analizlerde mevsimsellik ile kalkış ve varış havaalanlarının günlük trafik yoğunluğu değişkenleri de modele dâhil edilmiştir.

Model; JFK–LAX, MIA–LAS, ATL–SEA, ORD–SFO ve DFW–BOS olmak üzere farklı coğrafi ve operasyonel özelliklere sahip beş senaryo üzerinde uygulanmıştır. Senaryolarda sırasıyla 667, 712, 737, 713 ve 737 alternatif rota değerlendirilmiş; NSGA-II algoritması bu rotalar arasından sırasıyla 10, 11, 4, 6 ve 11 Pareto-optimal çözüm belirlemiştir. Bu senaryolardan JFK–LAX güzergâhında, en düşük maliyetli rota JFK–DTW–MDW–LAX, en kısa süreli rota JFK–STL–MCI–LAX, en düşük gecikme riskine sahip rota ise JFK–MCI–STL–LAX olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, ATL–SEA senaryosunda yalnızca 4 Pareto-optimal çözüm elde edilmesi, bu güzergâhta maliyet, uçuş süresi ve gecikme riski açısından uygun alternatiflerin diğer senaryolara kıyasla daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, önerilen modelin toplam taşıma maliyetini, toplam uçuş süresini ve gecikme riskini eş zamanlı olarak minimize ederek tek bir optimum çözüm yerine karar vericilere farklı operasyonel önceliklere uygun Pareto-Optimal rota alternatifleri sunduğunu göstermektedir..

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Hava Kargo, Rota Optimizasyonu, Çok Aktarmalı Uçuşlar, Lojistik Ağ Tasarımı

220 – Paslanmaz Çelik Tedarik Fiyatlarının Eş-Bölgeselleştirilmiş Varyasyonel Gauss Süreci ile Günlük Tahmini

Başak Ulusoy Özkan *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*
Aydın Sipahioğlu *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*

Sanayi işletmelerinde, tedarik edilen hammaddelerin güncel piyasa değerini saptamak ve kısa vadeli fiyat eğilimlerini öngörmek, satın alma yönetimi için stratejik bir önem taşımaktadır. Güncel piyasa değerinin bilinmesi; tedarikçi tekliflerinin nesnel bir referans çerçevesinde değerlendirilmesini, işletmenin müzakere gücünün artırılmasını ve bilgi eksikliğinden doğabilecek yüksek maliyetli alımların önlenmesini sağlamaktadır. Fiyat eğilimlerinin öngörülmesi ise stratejik açıdan daha yüksek bir katma değer sunmaktadır. Yükseliş beklentisi durumunda planlanan siparişler erkene alınabilirken, düşüş öngörüsünde tedarik süreçleri ötelenerek fırsat maliyetleri minimize edilebilmektedir.

Paslanmaz çelik fiyatı çok bileşenli bir yapıya sahiptir. Avrupa üreticilerinde fiyat genellikle taban fiyat (base price), ürün özelliklerine bağlı ekstralar ve aylık ilan edilen alaşım sürşarjı (alloy surcharge) toplamıdır. Türkiye'deki genel uygulama günlük değişebilen her şey dahil fiyat verilmesi şeklindedir. Taban fiyat; arz-talep dengesi, enflasyon, enerji-işçilik maliyetleri ve ithalat rejimi ile şekillenmektedir. Alaşım sürşarjı nikel ve krom (özellikle ferro-nikel) emtia fiyatlarına bağlıdır. Bu nedenle fiyat, tek değişkenli zaman serisi olarak değil, açıklayıcı dışsal değişkenleri olan, dönemsel yapısal kırılmalar barındıran ve gürültülü gözlemler içeren bir süreç olarak ele alınmalıdır.

Bu çalışmada, bir Türk sanayi firmasının on yıllık verisi kullanılarak, dokuz farklı kalınlıktaki AISI 304 paslanmaz çelik ürünü için kestirimci analitik yaklaşımıyla olasılıksal bir zaman serisi modeli geliştirilmiştir. Standart Gauss olabilirliği aykırı gözlemlere karşı kırılgandır. Bu nedenle çalışmada ağır kuyruklu Student-t olabilirliği kullanılmıştır. Kapalı form çözümü olmayan bu yapı esnek bir makine öğrenmesi algoritması olan Varyasyonel Gauss Süreci (VGP) üzerinden yaklaşık Bayesçi çıkarım yapılarak çözülmüştür. Çoklu çıktı tahmini için İçsel Eş-Bölgeselleştirme Modeli (ICM) kullanılarak dokuz ürün ortak bir gizli faktörle ilişkilendirilmiş ve seyrek verili ürünlerin tahmin gücü artırılmıştır.

Model yapısı paslanmaz çelik fiyatlarını oluşturan bileşenlerle eşleştirilmiştir. Taban fiyat, ortalama fonksiyon (mean function) ile temsil edilmektedir. Pandemi öncesi, pandemi sonrası ve yeni ithalat rejimi dönemlerindeki taban fiyatı oluşturan enflasyon, enerji ve işçilik maliyetleri bu ortalama fonksiyon aracılığıyla modellenmiştir.

Zamana bağlı hareket ayrışmaları Matérn 5/2 ve Matérn 3/2 çekirdeklerinin (kernel) toplamıyla modellenmiştir. Çekirdek, zaman veya farklı bir boyuttaki iki girdinin birbirine olan yakınlığını, bu girdilerin üreteceği çıktıların benzerlik derecesine dönüştüren bir kovaryans yapısıdır. Matérn 5/2, iki kez türevlenebilir yapısıyla fiyatlardaki pürüzsüz ve yumuşak geçişli makro eğilimleri yakalarken; Matérn 3/2, yalnızca bir kez türevlenebilir yapısıyla piyasadaki ani şokları ve sert dalgalanmaları temsil etmektedir. Böylece fiyatın hem genel yönü hem de anlık reaksiyonları, gerçeğe uygun esneklikte modellenmiştir. İki zaman çekirdeği toplanıp ICM çekirdeği ile çarpılarak ürünler arasındaki korelasyon yapısı zamanın farklı ölçeklerdeki dinamikleriyle bütünleştirilmiştir.

Alaşım sürşarjı mekanizması, dört dışsal değişken (Ferro-Nikel, Nikel Katot, iki farklı FerroKrom kalitesi) üzerinden doğrusal çekirdeklerle modellenmiştir; tüm ürünler aynı alaşım sınıfında yer aldığından emtia etkisi üründen bağımsızdır. Nikel için 35 günlük, krom için 120 günlük hareketli ortalamalar kullanılmıştır. Bu ortalamalar yayımlanan alaşım sürşarjı formüllerinin bilgi gecikmesi ile uyumludur.

Gözlem hatalarının ağır kuyruklu ve çarpık olduğu eğitim artıklarının analiziyle doğrulanmıştır. Bu çarpıklık arz-talep dengesizlikleri, acil alımlar ve navlunun yanlış muhasebeleştirilmesi gibi süreçlerden kaynaklanmaktadır. Fiyatlar logaritma dönüşümüne, dışsal değişkenler ayrıca zskor standardizasyonuna tabi tutulmuştur. Model ana eğilimi doğrudan temsil ettiğinden, düzensiz ve seyrek veriye ayrıca durağanlaştırma uygulanmamıştır. Tahminlerde gelecekten herhangi bir veri sızıntısı yoktur.

Eğitim verisi 184 farklı zaman noktasında sonlandırılarak modeller ayrı ayrı eğitilmiştir. Eğitilen modellerden 30 günlük ufukta toplam 905 fiyat tahmini elde edilmiştir. Olasılıksal tahmin değerlendirmesinde literatürdeki yaygın metrikler kullanılmıştır. Nokta hatası için MAPE %2.03, MdAPE %1.48; ölçekten bağımsız metrikler için MASE 0.71 ve Theil U2 0.65 elde edilmiştir. MASE ve Theil U2 metrikleri model tahmininin naif kıyas (naive baseline) ve

rastgele yürüyüş modellerine göre yaklaşık %29-%35 daha başarılı olduğunu göstermektedir. Yön doğruluğu (tahminin son gözleme göre yukarı/aşağı yönünün gerçekleşenle uyumu) %71.7'dir. Tahmin Aralığı Kapsama Olasılığı (PICP) %50, %80 ve %95 nominal seviyelerde sırasıyla %48.8, %80.1 ve %98.7 olup %95'te yaklaşık 3.7 puanlık aşırı kapsama (overcoverage) gözlenmiştir. Tahmin hatalarının dağılımı Hansen çarpık Student-t dağılımına uydurulmuş, çarpıklık $\lambda = -0.074$ ölçülmüştür.

Geliştirilen bu olasılıksal model, sanayi işletmelerine geleceğe yönelik fiyat eğilimlerini öngörme ve güven aralıkları üzerinden fiyat belirsizliklerini saptama imkânı sunmaktadır. Ayrıca geriye dönük fiyat analizi yapabilme özelliğiyle, kurumsal satın alma denetimleri için yenilikçi, şeffaf ve veri odaklı bir olasılıksal referans modeli ortaya koymaktadır.

222 – Havacılık Savunma Sanayii Üretim Tesisinde İç Lojistik Optimizasyonu

Murat Seçmen *Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ*
Erdi Daşdemir *Hacettepe Üniversitesi*

Bu çalışmada, bir havacılık ve savunma sanayiinde faaliyet gösteren üretim tesisinde kompozit parçaların istasyonlar arası transferini yöneten taşıma araçlarının rotalama problemi ele alınmıştır. Bu problem, parça hazır olma zamanları ve vardiyaya dayalı zaman pencereleri olan, iki amaçlı toplamalı-dağıtımlı araç rotalama problemi olarak tanımlanabilir ve literatürde daha önce incelenmemiş özgün bir yapı sunmaktadır. Gerçek üretim ortamında farklı kapasitelere sahip tesis içi araçlar ve parçaların hazır olma zamanı gibi operasyonel kısıtları göz önünde bulundurarak vardiya boyunca birden fazla rota gerçekleştirilmekte; parçalar ilgili kaynak istasyonlardan toplanıp hedef istasyonlara dağıtılmaktadır. Çalışmada iki çatışan hedef eş zamanlı optimize edilmektedir: tüm araçların son turları sonunda depoya döndükleri zamanlar toplamı ve her parçanın hazır olma anından teslimat tamamlanma anına kadar geçen toplam bekleme süresi minimize edilmektedir. Geliştirilen model, topla-dağıt öncelik kısıtlarını, araç kapasitelerini ve hazır olma zamanı uygunluğunu kapsayan bir karma tam sayılı programlama modelidir. İki amaç arasındaki kesin Pareto çözümler, Artırılmış Epsilon-Kısıt Yöntemi ile elde edilmiş, küçük ölçekli örnekler (4–6 parça) Gurobi ile çözülmüştür. Büyük ölçekli örnekler için uygun çözümler bulan ve Solomon'un ekleme yönteminden esinlenilen bir sezgisel geliştirilmiş; çözüm kalitesi kesin Pareto cephesi ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar farklı düğüm yapıları ve parça sayıları üzerinde yürütülmekte, bulgular operasyonel süre ile tam zamanında üretim performansı arasındaki ödünleşimi nicel olarak ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: İç Lojistik, Araç Rotalama, Karma Tam sayılı Programlama, Zaman Penceresi, Epsilon Kısıt Yöntemi, Solomon Ekleme Sezgiseli

233 – Proje Yönetiminde Yapısal Risk Analizi Yaklaşımı ile Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi

Arda Özcan *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Aysu Akdüzen *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Emircan Gündüz *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Merve Ulusoy *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Sudenaz İrkilmez *İstanbul Kültür Üniversitesi*
Dr. Öğretim Üyesi Zeynep Gergin *İstanbul Kültür Üniversitesi*

Projeler, eş zamanlı yürütülen çok sayıda teknik ve yönetimsel süreç içermesi nedeniyle yüksek düzeyde belirsizlik barındıran dinamik sistemlerdir. Riskler çoğunlukla birbirini tetikleyerek karmaşık sorunlara dönüşmektedir, ancak geleneksel değerlendirme yaklaşımları proje risklerini birbirinden bağımsız olarak, olasılık ve etki boyutlarıyla analiz etmekte ve aralarındaki yapısal ilişkileri yeterince dikkate almamaktadır. Bu durum özellikle büyük ölçekli projelerde risklerin yanlış önceliklendirilmesine ve kaynakların verimsiz kullanımına yol açabilmektedir. Bu çalışma, proje risklerini aralarındaki nedensellik ilişkilerini de dikkate alarak bütüncül biçimde analiz eden yenilikçi bir metodolojik çerçeve ile bunu uygulayan etkileşimli bir karar destek aracı geliştirmeyi hedeflemektedir.

Çalışma, Türkiye genelinde 200'den fazla büyük ölçekli inşaat projesinde görev almış, ortalama 30 yıllık deneyime sahip uzman kadrosuyla faaliyet gösteren Entegre Proje Yönetim Danışmanlık Mühendislik Tic. A.Ş. ile iş birliği içinde yürütülmüştür. Firmanın arşivinden derlenen 10 farklı projeye ait toplam 479 risk kaydı içerik analizi yöntemiyle incelenmiş; benzer nitelik taşıyan riskler, finansal, operasyonel, teknik, proje yönetimi ve dışsal olmak üzere beş ana kategori ve inşaat projelerinin temel süreçleri gözetilerek 20 risk başlığı altında sınıflandırılmıştır. Daha sonra, risklerin bütüncül analizi için birbirini tamamlayan üç analitik yöntem bütünleşik bir çerçeve içinde kullanılmıştır. İlk olarak, Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (ISM) yöntemi ile uzman görüşlerine dayalı ikili risk ilişkileri Yapısal Öz-Etkileşim Matrisi'ne (SSIM) aktarılmış 7 düzeyli bir risk hiyerarşisi kurulmuştur. Devamında, MICMAC analizi ile matristeki satır ve sütun toplamları üzerinden her riskin tetikleyici gücü ve bağımlılık gücü hesaplanarak riskler sürücü, bağlantı, bağımlı ve otonom olmak üzere dört işlevsel kategoriye ayrılmıştır. Son aşamada ise klasik risk öncelik skorunu (RPN) elde edilen tetikleyici güçle ağırlıklandıran özgün bir entegrasyon modeli (RPNDR) geliştirilmiştir. Bu model, farklı projeler arasında karşılaştırılabilir ve bağlam duyarlı bir önceliklendirme altyapısı sunmaktadır.

Modelin uygulanması sonucunda elde edilen bulgular, risklerin önem derecelerinin sistem yaklaşımıyla nasıl değiştiğini çarpıcı bir şekilde göstermiştir. Yalnızca klasik RPN yöntemi uygulandığında "Maliyet tahmini kaynaklı hatalar (R11)" ve "Malzeme tedarik gecikmeleri (R5)" en yüksek puanlı riskler olarak belirirken; yapısal ISM-MICMAC analizi "Kontrol edilemeyen dışsal faktörler (R20)" ve "Saha/zemin kaynaklı teknik sorunlar (R8)" faktörlerinin sistemdeki en güçlü tetikleyici riskler olduğunu ortaya koymuştur. Geliştirilen entegre model (RPNDR) kullanıldığında ise, R8 ve R20 gibi doğrudan yüksek etki/olasılık göstermese de sistemi kökten tetikleyen riskler öncelik listesinin üst sıralarına taşınmış ve stratejik müdahale noktaları olarak saptanmıştır.

Geliştirilen metodolojik altyapı, Python programlama dili ve Streamlit kütüphanesi kullanılarak PREVIA (Project Risk Evaluation and Visual Impact Analyzer) adlı etkileşimli bir karar destek aracına dönüştürülmüştür. Modüler mimariye sahip sistem, SSIM işleme, erişilebilirlik hesaplama, ISM seviyelendirme, MICMAC analizi ve bütünleşik önceliklendirme bileşenlerini bağımsız modüller aracılığıyla yönetmektedir. Kullanıcı, kurumun risk kataloğunu proje süreci ve kategorisine göre filtreleyerek proje bağlamına uygun alt kümeyi seçebilmekte, her risk için RPN parametrelerini girebilmekte ve ardından ISM hiyerarşi diyagramı, MICMAC etki–bağımlılık grafiği ile projeye özgü en kritik beş riskin sıralandığı önceliklendirme tablosunu içeren görsel çıktılara ulaşabilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma risklerin hem sistemdeki yapısal konumlarını hem de projeye özgü kritikliklerini eş zamanlı değerlendiren özgün bir model ortaya koymaktadır. Bu bütünleşik yaklaşım, risk yönetiminin yalnızca sonuç odaklı bir sıralama faaliyeti olmaktan çıkarak nedensellik ilişkilerini açık kılan analitik bir karar destek sürecine dönüşebileceğini somut biçimde ortaya koymuştur. PREVIA aracı, bu analitik perspektifi şeffaf ve kullanıcı dostu bir ortama taşıyarak yaklaşımın kurumsal düzeydeki uygulanabilirliğini güçlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Risk Yönetimi, Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (ISM), MICMAC Analizi, Risk Öncelik Numarası (RPN), Karar Destek Sistemi

235 – Bütünleşik Nakit Yönetimi: Şubeler, Ana Kasalar ve ATM'ler için Kompozit Bir Yapay Zekâ Platformu

Şükrü İmre *Yapı Kredi Bankası*
Mehmet Yılmaz *Yapı Kredi Bankası*
Mert Vargün *Yapı Kredi Bankası*
Hikmet Selim Talu *Yapı Kredi Bankası*
Hakan Korul *Yapı Kredi Bankası*
İşyar Peker *Yapı Kredi Bankası*
Eren Duralı *Yapı Kredi Bankası*
Yunus Şevli *Yapı Kredi Bankası*
Merve Koçyiğit *Yapı Kredi Bankası*
Cemil Kahveci *Yapı Kredi Teknoloji*
Ümmühan Tosun *Yapı Kredi Teknoloji*
Hatice Yılmaz *Yapı Kredi Teknoloji*
Selen Alkan *Yapı Kredi Teknoloji*
Talya Okan Benli *Yapı Kredi Teknoloji*
Murat Özkul *Yapı Kredi Teknoloji*
Nergis Arafal Altan *Yapı Kredi Teknoloji*
Atilla Özbek *Yapı Kredi Teknoloji*
Pelin Bilen *Yapı Kredi Teknoloji*
Orkun Aydın *Yapı Kredi Bankası*
Ecem Onaylı *Yapı Kredi Bankası*
Alperen Tır *Yapı Kredi Bankası*
Ozan Çelik *Yapı Kredi Bankası*
Barış Kayalar *Yapı Kredi Bankası*
Eray Tekin *Yapı Kredi Bankası*
Nebahat Soyal *Yapı Kredi Bankası*

Bankacılık operasyonlarında nakit yönetimi; şubeler, anakasalar ve ATM'ler gibi birbirine bağlı ancak geleneksel olarak birbirinden bağımsız yönetilen üç ayrı kanalı kapsamaktadır. Bu kanalların izole biçimde optimize edilmesi, sistem genelinde yapısal verimsizliklere yol açmaktadır; zira bir kanalda alınan karar diğerini doğrudan etkilerken mevcut yaklaşımlar bu bağımlılığı görmezden gelmektedir. Bu çalışma, yaklaşık 700 şube, 6000 ATM ve 35 anakasayı bünyesinde barındıran ulusal ölçekte bir ticari bankada yürütülen ve söz konusu üç kanalı tek bir bütünleşik karar zekâsı çatısı altında ele alan yapay zekâ platformunun tasarımını, uygulamasını ve elde edilen sonuçlarını sunmaktadır.

Projenin çıkış noktasını birbirine bağlı üç temel operasyonel sorun oluşturmaktadır. Birincisi, şube yöneticilerinin hizmet kesintisi yaşamamak adına geliştirdiği ihtiyat refleksinin yüzlerce şubede kümülatif etkiyle 1,5 milyar TL'yi aşan âtıl nakde dönüşmesidir; bu sermaye ne getiri üretmiş ne de herhangi bir müşteriye hizmet etmiştir. İkincisi, 35 bölge için ATM ikmal kararlarının her sabah bölge başına iki ila üç saatlik manuel hesaplama gerektirmesi ve bu süreçte emekli maaşı haftaları ile kurumsal maaş günleri gibi öngörülebilir yoğunluk dönemlerinde ATM'lerin boşalmasına zemin hazırlanmasıdır. Üçüncüsü ise yaşanan nakit kesintilerinin yol açtığı müşteri memnuniyetsizliğidir. Söz konusu sorunların her biri ayrı ayrı bilinmekteydi; eksik olan, üçünü eş zamanlı ve bütünleşik biçimde çözebilecek bir sistem mimarisiydi.

Platform üç ana bileşenden oluşmaktadır. Şube Nakit Tahmin Modeli kapsamında her şubenin aylık optimum nakit ihtiyacını tahmin etmek amacıyla XGBoost algoritması kullanılmıştır. Model; ticari işlem yoğunluğu, nakit

işlemlerden türetilen değişkenler, müşteri segmenti dağılımı ve mevsimsellik dahil 29 değişken üzerine inşa edilmiştir. Tahmin çıktısı, şubeye özgü geçmiş varyansa dayalı güvenlik tamponu, gişe sayısına bağlı emniyet stoku ve istatistiksel âtıl nakit bileşeninden oluşan katmanlı bir yapıyla zenginleştirilmiştir. Bu çok bileşenli yapı, tek bir tahmin modelinin ötesine geçerek gerçek operasyonel koşulları matematiksel olarak içselleştirmektedir.

Anakasa Tahmin ve Hedefleme Sistemi kapsamında anakasalara giren ve çıkan nakit akışları üstel hareketli ortalama yöntemiyle modellenmiş; tahmin çıktısı tasarlanan akıllı bir karşılaştırma algoritmasına girdi olarak sunularak her anakasa için aylık nakit hedefleri belirlenmiştir. ATM Karar İkmal Sistemi ise dört alt probleme ayrılmıştır: (1) maaş günleri, ATM konumu ve özellikleri, geçmiş işlem değişkenleri ile resmi ve dini bayramlara kalan gün sayısı dahil 30 değişken kullanan 14 ayrı LightGBM modeliyle 7 günlük para çekme ve yatırma tahmini; (2) transfer ve fonlama maliyetleri ile sefer kısıtlarını birleştiren başabaş analizine dayalı algoritmik ikmal/boşaltma kararı; (3) bir sonraki ikmal döngüsüne kadar kullanılmayıp anakasaya geri dönecek artık nakit miktarını (residual cash) minimize etmeyi hedefleyen kupür bazlı kaset optimizasyonu; (4) bölgesel sefer kısıtları çerçevesinde ATM önceliklendirmesi. Kupür optimizasyon algoritması; hangi kasete, hangi kupürden ve ne miktarda yükleme yapılırsa artık nakdin minimize edileceğini matematiksel olarak çözmekte, mekanik kapasite kısıtlarını ise katı kısıt olarak modele dahil etmektedir. İlgili çözüm kuruma özgü geliştirilmiş olup fikrî mülkiyet kapsamında değerlendirildiğinden metodolojik detaylar kısmi olarak sunulmuştur.

Sistemin temel yenilikçi yanı, tahmin ve optimizasyon modellerinin izole bileşenler olarak değil; birbiriyle beslenen ve koordineli çalışan bir karar zekâsı sistemi olarak tasarlanmış olmasıdır. Her lokasyonun kendine özgü talep dinamiklerini modelleyen bu yapı, tek bir tahmin mantığını tüm ağa uygulayan geleneksel yöntemlerin doğasındaki kısıtı ortadan kaldırmaktadır.

Platform 12 aylık geliştirme sürecinin ardından üç fazda hayata geçirilmiş ve tüm temel performans göstergelerinde ölçülebilir iyileşme sağlanmıştır. Sermaye verimliliği açısından sistem genelinde 2,5 milyar TL âtıl nakit aktif kullanıma kavuşturulmuştur. Yıllık 10 milyon dolar net finansal faydanın yaklaşık %90'ı bu âtıl nakdin getiriye dönüştürülmesinden, kalan %10'u ise gereksiz seferlerin azaltılmasıyla elde edilen lojistik tasarruflardan kaynaklanmaktadır. Lojistik ve nakit taşıma giderlerinde %10 düşüş gerçekleşmiş, müşteri memnuniyeti skorlarında %5 iyileşme sağlanmıştır. Süreç verimliliği açısından 35 bölge için bölge başına iki ila üç saat süren manuel ATM ikmal hesaplamaları tüm ağ için dakikalara inmiştir. Model doğruluk performansı değerlendirildiğinde şube nakit tahmin modelinde MAPE %20, anakasa tahmin modelinde MAPE %13, ATM para çekme modelinde MAPE %28, ATM para yatırma modelinde ise MAPE %45 olarak gerçekleşmiştir. Para yatırma tahminindeki %45 MAPE, işlemin stokastik doğasından kaynaklanmakta olup emniyet stoku tamponları aracılığıyla absorbe edilmekte; operasyonel etkisi elde edilen finansal iyileşme göstergelerinin bütünü tarafından doğrulanmaktadır.

Bu çalışma, çok kanallı nakit yönetiminin bütünleşik bir optimizasyon problemi olarak ele alınmasının hem teknik açıdan uygulanabilir hem de operasyonel açıdan dönüştürücü olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nakit yönetimi, ATM ikmal optimizasyonu, talep tahmini, kupür optimizasyonu, emniyet stoku, çok kanallı optimizasyon

244 – Talep Tahmini Tabanlı Dinamik Fiyatlandırma ve Kapasite Optimizasyonu: Şehirlerarası Otobüs Taşımacılığında Bir Gelir Yönetimi Yaklaşımı

Demirkan Tüfekçi Kadir Has Üniversitesi
Efe Gözüm Kadir Has Üniversitesi
Semih Emre Tutkun Kadir Has Üniversitesi
Sude Çalışkan Kadir Has Üniversitesi
Yağız Şener Kadir Has Üniversitesi
Zeynep Bektaş Kadir Has Üniversitesi

Şehirlerarası otobüs taşımacılığı sektörü, sabit araç kapasitesine karşılık değişken, belirsiz ve zamana bağlı yolcu talebi nedeniyle karmaşık karar verme problemleri içermektedir. Talep düzeyinin rota, fiyat, kalkış zamanı, seyahat süresi ve operasyonel koşullara göre farklılaşması; firmaların fiyatlandırma, kapasite kullanımı ve gelir yönetimi kararlarını doğrudan etkilemektedir. Geleneksel uygulamalarda fiyatlandırma kararları ile operasyonel kapasite planlama süreçleri çoğunlukla birbirinden bağımsız yürütülmekte, bu durum düşük talep dönemlerinde kapasite israfına, yüksek talep dönemlerinde ise potansiyel gelirin kaybedilmesine yol açmaktadır. Bu nedenle şehirlerarası otobüs taşımacılığında talep tahmini, dinamik fiyatlandırma ve kapasite tahsisi kararlarını bütünleşik biçimde ele alan veri odaklı karar destek yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, şehirlerarası otobüs taşımacılığında gelir yönetimi ve operasyonel kararları birlikte değerlendiren bütünleşik bir optimizasyon yaklaşımı geliştirmektir. Bu kapsamda yolcu talebinin tahmin edilmesi, talep yapısına ve kalan kapasiteye bağlı olarak bilet fiyatlarının dinamik biçimde belirlenmesi ve sınırlı araç kapasitesinin rotalar arasında daha verimli şekilde tahsis edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti şehirlerarası otobüs rotalarına ilişkin kalkış ve varış noktası, otobüs tipi, kalkış zamanı, seyahat süresi, bilet fiyatı ve mevcut koltuk sayısı gibi değişkenleri içermektedir. Bu değişkenler yalnızca talep tahmini için değil uygulanan fiyatlandırma kararlarının operasyonel bağlamını temsil etmek için de kullanılmıştır. Veri seti üzerinde ön işleme ve özellik mühendisliği adımları uygulanmış, talep yapısını anlamlandırmak amacıyla regresyon temelli modeller değerlendirilmiştir. Yolcu talebindeki doğrusal olmayan ilişkileri temsil edebilmek için polinomsal, logaritmik ve etkileşim terimlerini içeren çoklu doğrusal regresyon yapısı kullanılmıştır.

Mevcut veri seti zamana bağlı rezervasyon bilgilerini içermediğinden satış dönemi boyunca talebin oluşumunu temsil etmek amacıyla sentetik rezervasyon eğrileri oluşturulmuştur. Bu aşamada talebin zaman içerisinde birikimli biçimde oluştuğu varsayılmış ve oluşturulan rezervasyon yapısı dinamik fiyatlandırma modeline girdi olarak entegre edilmiştir. Elde edilen talep fonksiyonu ve simülasyon verileri kullanılarak dinamik programlama tabanlı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Model, bilet satış döneminin farklı aşamalarında fiyat kararlarını ve mevcut kapasiteyi birlikte dikkate almakta; böylece fiyatlandırma ve kapasite tahsisi kararlarının eş zamanlı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Çalışmada ele alınan iç içe dinamik optimizasyon probleminin çözümünü kolaylaştırmak amacıyla iki farklı yaklaşık çözüm yöntemi önerilmiştir. Bunlardan ilki olan simülasyon tabanlı yaklaşık çözüm yöntemi, farklı kapasite durumlarında uygulanan farklı fiyatlandırmalarda beklenen geliri bir simülasyon yaklaşımı ile elde edip, iç içe problemin dinamik fiyatlandırma kısmı yerine yaklaşık bir doğrusal denklem koyma fikrine dayanmaktadır. İkinci yaklaşım olan deterministik yaklaşık çözüm yöntemi ise dinamik fiyatlandırma yapısını daha sade ve tek seviyeli bir karar modeline dönüştürerek kapasite tahsisi problemiyle bütünleştirmektedir. Bu iki yaklaşım, modelin hem hesaplama açısından uygulanabilirliğini artırmayı hem de karar vericilere farklı senaryolar altında karşılaştırılabilir çıktılar sunmayı amaçlamaktadır.

Önerilen bütünleşik optimizasyon modeli iki ayrı yaklaşık çözüm yöntemi ile de çözülerek farklı rota ve araç senaryoları altında test edilmiş ve mevcut statik fiyatlandırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, talep tahmini, dinamik fiyatlandırma ve kapasite tahsisini birlikte ele alan bütünleşik modelin statik fiyatlandırmaya kıyasla her durumda daha yüksek gelir sağladığını göstermektedir. Örnek olarak; 5 araç ve 5 rota

senaryosunda, önerilen model, simülasyon tabanlı yaklaşık çözüm yöntemi ile çözüldüğünde statik fiyatlandırmaya göre yaklaşık %51,8 oranında daha yüksek gelir sağladığı görülmüştür. Bu sonuç, yalnızca fiyatların dinamik olarak belirlenmesinin değil, aynı zamanda kapasitenin rotalar arasında verimli biçimde dağıtılmasının da gelir yönetimi performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Optimizasyon modellerinin çıktıları; rota bazlı fiyat kararları, tahsis edilen kapasite düzeyleri, beklenen gelirler ve statik fiyatlandırma ile karşılaştırmalı performans sonuçları üzerinden değerlendirilmiştir. Böylece önerilen yapı yalnızca teorik bir optimizasyon modeli olarak değil, aynı zamanda yöneticilerin farklı talep ve kapasite senaryolarını inceleyebileceği pratik bir karar destek yaklaşımı olarak kurgulanmıştır. Modelin farklı senaryolara uyarlanabilir olması, özellikle sınırlı veri koşullarında faaliyet gösteren taşımacılık firmaları için uygulanabilirliğini artırmaktadır.

255 – Çok Ürünlü Üretim Tesislerinde Zaman Pencereli ve Tekrar Ziyaretli Rota Planlaması

İrem Çatalkaya *Hacettepe Üniversitesi*
Diclehan Tezcaner Öztürk *Hacettepe Üniversitesi*
Erdi Daşdemir *Hacettepe Üniversitesi*

Bu çalışmada, büyük ölçekli bir havacılık ve savunma sanayii üretim tesisinde parçaların kaynak istasyonlarından hedef istasyonlarına zamanında iletilmesini sağlayan çok amaçlı bir iç lojistik araç rotalama problemi ele alınmıştır. Problemde toplam teslimat gecikmesini minimize eden optimal araç rotalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Problem; araçların sabit kapasite ve günlük vardiya süresi kısıtları altında çalıştığı, istasyonların eş zamanlı kullanım kapasitelerinin sınırlı olduğu, çok araçlı, çok istasyonlu, çok turlu bir yapıdadır. Modelin özgün katkısı, istasyona özgü kümülatif ziyaret sayaçları aracılığıyla parça alma-bırakma sırasını takip eden değişken kurgusu üzerine inşa edilmiş olmasıdır. Akış koruma, araç kapasitesi, ziyaret sıralama ve istasyon eş zamanlı kullanım kapasitesi kısıtlarını bütünleşik biçimde içeren problemin karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model her araç-istasyon-ziyaret kombinasyonuna özgü kümülatif sayaçlar tanımlayarak çözmekte ve parçanın alındığı ya da bırakıldığı ziyaret numarasını doğrudan karar değişkeni olarak modele dahil etmektedir. 10 parça, 2 araç ve 5 istasyondan oluşan test örneği için 600 karar değişkeni ve 1.727 kısıt içeren model, yaklaşık iki dakika içinde toplam gecikmenin sıfıra indiği optimal çözüme ulaşılmıştır. Deney çalışmalarımız farklı setler ile devam etmektedir. Geliştirilen model tesisin mevcut iç taşıma yönetim sistemiyle entegre edilecek, araç-operatör eşleştirmesi, gerçek zamanlı rota takibi ve teslimat kaydını kapsayan bir yazılım altyapısıyla desteklenecektir.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama, İç Lojistik, Karma Tamsayılı Programlama, Üretim Planlaması, Gecikme Minimizasyonu

258 – Güvenlik Hizmetlerinde Çok Amaçlı Bir Nöbet Çizelgeleme Problemi: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı ve Karar Destek Sistemi Tasarımı

Cemil Şimşek *Jandarma ve Sahil Güvenlik Akademis*

Kamu güvenliği kurumları kesintisiz hizmet sunan ve operasyonlarını 7 gün 24 saat esasına göre sürdüren organizasyonlardır. Bu tür kurumlarda nöbet çizelgelemesi hem operasyonel gereksinimlerin karşılanması hem de personel arasında adil bir iş yükü dağılımının sağlanması açısından kritik bir planlama problemidir. Özellikle hafta sonu ve resmî tatil gibi özel günlerde gerçekleştirilen nöbetlerin dengeli dağıtılması, kurumsal verimlilik, çalışan memnuniyeti ve örgütsel adalet algısı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bununla birlikte birçok kamu kurumunda nöbet planlaması hâlen analitik temellere dayanmayan, büyük ölçüde deneyim ve sezgiye dayalı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu durum, görev yükü dağılımında sistematik bir dengesizlik oluşmasına ve planlama sürecinin karar vericiler açısından karmaşık ve zaman alıcı hale gelmesine neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, 7/24 faaliyet gösteren bir kamu güvenliği kurumunun nöbet planlama sürecini iyileştirmek amacıyla çok amaçlı bir optimizasyon modeli ve bu modeli temel alan bir karar destek sistemi önerilmektedir. Önerilen yaklaşım, karma tamsayılı doğrusal programlama (Mixed Integer Linear Programming – MILP) çerçevesinde geliştirilmiş olup hem operasyonel kısıtları hem de kurumsal adalet politikalarını eş zamanlı olarak dikkate almaktadır. Kurumda hâlihazırda kullanılan nöbet kategorileri ve bu kategorilere atanan ağırlıklı puan sistemi model içerisine entegre edilerek mevcut uygulama analitik bir optimizasyon yapısına dönüştürülmüştür. Model, günlük görev gereksinimleri, personel mazeretleri, ardışık nöbet kısıtları, maksimum görev sayıları ve özel gün nöbetleri gibi operasyonel kısıtları içermekte; aynı zamanda personelin kümülatif nöbet puanları ile aylık görev dağılımını dengelemeyi amaçlayan çok amaçlı bir amaç fonksiyonu içermektedir. Önerilen model, geliştirilen karar destek sistemi içerisinde uygulanmış ve gerçek bir kamu güvenliği kurumundan elde edilen veriler kullanılarak test edilmiştir. Sistem, veri yönetimi, optimizasyon tabanlı planlama ve analitik değerlendirme modüllerinden oluşan bütünleşik bir yapı sunmaktadır. Bu yapı sayesinde nöbet çizelgeleri otomatik olarak oluşturulmakta, görev yükü dağılımı nicel adalet ölçütleri kullanılarak analiz edilmekte ve karar vericilere alternatif planlama senaryolarını değerlendirme imkânı sağlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, önerilen optimizasyon tabanlı yaklaşımın mevcut sezgisel planlama yöntemlerine kıyasla hem nöbet puanı dağılımı hem de özel gün görevlerinin paylaşımı açısından daha dengeli ve ölçülebilir sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Bu çalışma, kamu güvenliği kurumlarında nöbet çizelgelemesi problemini ele alan sınırlı sayıdaki araştırmaya katkı sağlamakta ve kurumsal puanlama politikalarını matematiksel optimizasyon modeli içerisine entegre eden bir karar destek sistemi yaklaşımı önermektedir. Bulgular, 7/24 hizmet sunan kamu kurumlarında adil, sürdürülebilir ve veri temelli nöbet planlamasının sağlanmasında optimizasyon tabanlı karar destek sistemlerinin önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

261 – İşgörenlerin Eğilimlerini Gözeten Ücretli İzin Planlama Sistemini Desteklemek için Bir Karar Modeli

Gözde Önder Uzun *Başkent Üniversitesi*
İmdat Kara *Başkent Üniversitesi*
Özge Küçük *Başkent Üniversitesi*
Havva Tekin *Başkent Üniversitesi*

İşletmelerde işgören memnuniyetinin sağlanması, verimliliğin artırılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Çoğu işletmelerde, izin süreçlerinde karşılaşılan problemler, işgörenlerin izin tercihleri ile üretim ihtiyaçları arasındaki uyumsuzluklardan kaynaklanmaktadır. Bu durum hem üretim hedeflerine ulaşmayı zorlaştırmakta hem de işgören hoşnutsuzluğuna neden olmaktadır. Bu nedenlerle, işletmelerde, işgören memnuniyetini artırırken üretim sürekliliğini koruyan adil, dengeli ve sürdürülebilir bir yıllık izin planlama sistemi geliştirilmesi gereklidir. İlgili kaynaklarda, izin planlama sistemini matematiksel modellerle destekleyen bütünleşik bir yaklaşım öneren çalışmaya rastlanamamıştır. Bu bildiride, önerilen bir karar modeli ile desteklenen ücretli izin planlama sistemi sunulmaktadır. Çalışmanın temel amacı; yıllık ücretli izin planlamasında öznel yaklaşımların payını azaltarak, planlanan üretimin gerektirdiği işgörenlerin sayı ve nitelikleriyle, ücretli izin hak eden işgörenlerin izin tercih önceliklerini birlikte değerlendiren, şeffaf ve sistematik bir yapı oluşturmaktır. Önerilen yaklaşım, işletmede çalışan işgörenlerin izin hakları, geçmiş izin kullanımları, yetkinlikleri ve üretim süreçlerine olan etkileriyle, üretim planlarına bağlı olarak devreler itibariyle her bir kısımda izne ayrılabilir işgören sayılarını temel parametreler olarak ele alıp, işgörenlerin izne çıkabilecekleri devreleri belirlemek için, onların memnuniyetini olabildiğince artıran çözümler üretebilen bir karar modeline dayanmaktadır. Geliştirilen model, önce atama yapılan en uzak tercih sıralamasını asgari yapan bir amaç fonksiyonu ile şekillenmiş, daha sonra farklı amaç fonksiyonlarıyla da ele alınabileceği belirtilmiştir. Son olarak, işgörenlerin kıdem ve önceki izinlerini de değerlendiren çok amaçlı hale getirilmiştir. Önerilen yaklaşım, bir firmada yapılan ayrıntılı sistem analizine dayalı olarak örneklenmiştir. Geliştirilen model, firmada derlenen veriler kullanılarak, IBM ILOG CPLEX paket programıyla, farklı amaçlar için çözülmüş, elde edilen sonuçlar insan kaynaklarının değerlendirmesine sunulmuştur. Önerilen sistemin, üretim süreçlerinde bir sapma olmadan, işgörenlerin tercihlerini dikkate alan izin planlaması için insan kaynakları müdürlüğüne önemli destek sağlayabileceği gözlenmiştir.

263 – Genelleştirilmiş Birebir Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi İçin Değişken Komşu İniş Tabanlı Sezgisel Bir Yöntem

Nurşah Yılmaz Erdeş *Konya Teknik Üniversitesi*
İsmail Karaoğlan *Konya Teknik Üniversitesi*

Lojistik alanında önemli bir yer tutan Araç Rotalama Problemi (ARP), müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak araçlar için en verimli güzergâhların belirlenmesini hedeflemektedir. Bu problemin en temel halinde, her müşterinin yalnızca bir kez ziyaret edilmesi, rotaların depodan başlayıp yine depoda sona ermesi ve araçta taşınan yükün kapasite sınırını aşmaması gibi temel kısıtlar bulunmaktadır.

ARP, farklı çeşitlerde ele alınmakta olup bunlardan biri de Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (TDARP)'dir. Bu problemde, araçlarla dağıtım taleplerinin yanı sıra toplama talepleri de karşılanmaktadır. TDARP; Birden çoğa-çoktan bire TDARP, Çoktan-çoğa TDARP ve Birebir TDARP olmak üzere üç farklı başlık altında sınıflandırılabilir. Birden çoğa-çoktan bire TDARP'de, bazı ürünler depodan müşterilere taşınırken bazı ürünler müşterilerden depoya geri taşınmaktadır. Çoktan-çoğa TDARP'de, müşteri talepleri ortak ürünlerden oluşmakta ve bir nokta birden fazla ürün için çıkış veya varış noktası olabilmekte iken Birebir TDARP'de, her bir ürünün yalnızca bir çıkış noktası ve bir varış noktası bulunmaktadır.

Bu çalışma, müşteri düğümlerinin hem toplama hem de dağıtım noktası olduğu ve araçların depodan ürünlerle çıkıp teslim edilemeyen ürünlerle geri döndüğü Birebir TDARP'nin daha genel bir versiyonunu ele almaktadır. Problemde müşteri düğümlerine ait talepler bulunmakta ve bu talepler sınırlı kapasitesi olan aynı özellikteki araçlar ile karşılanmaktadır. Ayrıca, araçların önceden belirlenmiş bir tur süresi içerisinde depoya geri dönmesi gerekmektedir. TDARP, NP-Zor bir yapıya sahip olan ARP'nin bir çeşidi olduğu için matematiksel modellerle kısa sürede kesin çözüm elde etmek genellikle mümkün değildir. Bu nedenle söz konusu problem için kısa sürede optimal veya optimale yakın sonuçlar elde edebilmek amacıyla bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

Önerilen yaklaşımda, başlangıç çözümünü oluşturmak amacıyla En Yakın Ekleme Sezgiseli kullanılmış, ardından dört farklı komşuluk yapısına dayanan Değişken Komşu İniş (DKİ) algoritması uygulanmıştır. DKİ algoritmasında, çözüm uzayı sistematik bir şekilde farklı komşuluk yapılarına geçiş yapılarak araştırılmakta ve bir komşulukta iyileştirme sağlandığında arama süreci yeniden ilk komşuluk yapısına döndürülmektedir. Yöntemin performansını değerlendirmek için rassal oluşturulan 45 test örneği üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar literatürdeki bir matematiksel modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bulgular, sezgisel yaklaşımın 16 test örneğinde bir saniyeden kısa sürede en iyi çözümleri bulabildiğini, diğer örneklerde ise rekabetçi sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

271 – Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme ve Gri Sistem Yaklaşımı ile Yüzücü Performansının Değerlendirilmesi

Cansu Altan Koyuncu *Antalya Bilim Üniversitesi*
Erdal Aydemir *Süleyman Demirel Üniversitesi*

Bu çalışma, 2016–2018 yılları arasında kısa ve orta mesafe serbest stil (50 m, 100 m, 200 m ve 400 m) yarışlarına katılan yüzücüler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın temel amacı, yüzücü performansını etkileyen çok boyutlu değişkenleri dikkate alarak sporcuların elit düzeyde olup olmadıklarını belirlemektir. Bu kapsamda, 12 değişkenden oluşan bir yüzücü veri seti kullanılmıştır. Öncelikle, kriter ağırlıklarının daha tutarlı ve uzman görüşüne dayalı şekilde belirlenmesi amacıyla Sezgisel Bulanık FUCOM yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem sayesinde, performans kriterlerinin göreli önem düzeyleri belirsizlik ortamında etkin bir biçimde hesaplanmıştır. Elde edilen ağırlıklar, Gri Sistem Teorisi kapsamında yer alan Sabit Ağırlıklı Gri Kümeleme Modeli ile entegre edilmiştir. Bu model aracılığıyla yüzücüler, önceden tanımlanan performans sınıflarına (elit ve elit olmayan) atanmıştır. Gri kümeleme yaklaşımı, eksik ve belirsiz bilgilerin bulunduğu durumlarda sınıflandırma başarısını artırması açısından tercih edilmiştir. Çalışma sonuçları, önerilen hibrit yaklaşımın yüzücü performansının değerlendirilmesinde etkili ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca, elde edilen bulgular antrenörler ve spor bilimciler için karar destek mekanizması sunarak, sporcuların performans seviyelerinin daha objektif bir şekilde belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

282 – Türkiye'deki Büyükşehirlerin Sağlıklı Şehirler ve Toplumlar Bağlamında Performans Analizi

Nazlı Begüm Aktaş *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Muhammet Efdal Yılmaz *İstanbul Medipol Üniversitesi*
Ahmet Çelebi *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Günümüzde hızla artan kentleşme, hava kirliliği, çevresel bozulma ve sağlık sistemleri üzerindeki artan baskı gibi çok boyutlu sorunları beraberinde getirmektedir. Bu gelişmeler, şehir ve toplumlarının performanslarının sadece ekonomik değil; sürdürülebilirlik, halk sağlığı ve yaşam kalitesi açısından da değerlendirilmesi gerekliliğini öne çıkarmaktadır. Bu bağlamda, Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) "Sağlıklı Şehirler" yaklaşımı ile Birleşmiş Milletler'in (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (özellikle SKA 3: Sağlık ve Refah ve SKA 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) ile kentsel çevrelerin insan sağlığı üzerindeki etkisinin merkeze alınarak değerlendirilmesi ihtiyacını desteklemektedir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye'deki 30 büyükşehrin "Sağlıklı Şehir" performansını değerlendirmek amacıyla Kategorik Veri Zarflama Analizi (VZA) yaklaşımı benimsenmiştir. Analiz sürecinde şehir performansı; kentsel sağlık altyapısı, yeşil alan varlığı, yaşam kalitesi ve sürdürülebilirlik göstergelerini içeren çok boyutlu kriterler çerçevesinde ele alınmıştır. Şehirler, benzer yapısal özelliklerine göre K-Means kümeleme yöntemi kullanılarak gruplandırılmış ve her bir şehrin yalnızca kendi benzerleri ile karşılaştırılması sağlanarak daha gerçekçi ve anlamlı bir etkinlik değerlendirme süreci ortaya koyulmuştur. Bu doğrultuda, şehirler nüfus büyüklüklerine göre kategorize edilmiş ve etkinlik ölçümleri Kategorik VZA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen etkinlik skorlarının istatistiksel güvenilirliğini artırmak amacıyla iki aşamalı bootstrap yaklaşımı uygulanmış; son aşamada ise şehir performansını etkileyen dışsal faktörler kesikli regresyon analizi ile incelenmiştir. Böylece yalnızca göreli etkinlik düzeyleri değil, aynı zamanda performans farklılıklarının altında yatan belirleyiciler de ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, çalışma şehir performansını "Sağlıklı Şehirler" çerçevesi doğrultusunda ele alarak hem metodolojik hem de uygulamaya yönelik katkılar sunmaktadır. Elde edilen bulguların, düşük performans gösteren metropol alanların belirlenmesinde, şehirler arası farklılıkların daha sağlıklı analiz edilmesinde ve Türkiye'nin kalkınma planları ile uyumlu sürdürülebilir kentsel politika önerilerinin geliştirilmesi açısından karar vericilere yol gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sağlıklı Şehirler, Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar, Kategorik VZA, İki Aşamalı Bootstrap Yöntemi

332 – Thirty-Day Readmission After Cholecystectomy: A National Machine Learning Analysis

Fatma Pakdil *Eastern Connecticut State University*
Steve Muchiri *Eastern Connecticut State University*
Kehan Gao *Eastern Connecticut State University*
Garrett Dancik *Eastern Connecticut State University*
Ece Pakdil *University of Connecticut*
Huseyin N. Aydin *Hartford Health Care & Quinnipiac University*

Hospital readmissions remain an important quality and outcome measure in the U.S. healthcare system, with reducing preventable readmissions representing a national priority. Machine learning (ML) methods have gained increasing attention for readmission prediction due to their ability to capture complex, nonlinear relationships and handle high-dimensional data. This study evaluates multiple ML approaches to predict 30-day readmission among adult patients undergoing cholecystectomy using data from the Nationwide Readmissions Database. Seven classifiers, CatBoost, Naïve Bayes, logistic regression, random forest, deep learning, support vector machine (SVM), and LightGBM, were trained and tested. Each model was developed using both a full set of 38 variables and a reduced set of 19 variables selected using feature importance. Model performance was evaluated on an independent test dataset using precision, recall, F1-score, and area under the receiver operating characteristic curve (AUC). Across all models, predictive performance remained stable after feature reduction. CatBoost demonstrated the strongest overall performance, achieving the highest or near-highest values across evaluation metrics, including AUC. LightGBM and SVM also showed competitive performance, while logistic regression and deep learning models performed moderately. Naïve Bayes and random forest exhibited comparatively lower performance. These findings suggest that accurate prediction of readmission after cholecystectomy can be achieved using a reduced set of routinely available variables. Such simplified models may support practical implementation in clinical settings to identify high-risk patients and guide discharge planning and follow-up care.

336 – Küme İlişkilerini Temel Alan Çok Amaçlı Gürbüz Optimizasyon Modelleri

Melodi Cebesoy Uslu *Hacettepe Üniversitesi*
Esra Karasakal *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*
Orhan Karasakal *Çankaya Üniversitesi*

Karmaşık sistemlerin modellenebilmesi için genellikle tek bir amaç fonksiyonu yetersizdir, birden fazla amaç fonksiyonu dikkate alınmalıdır. Birçok durumda da çok amaçlı problemlerin çözümünde deterministik yaklaşımlar yetersiz kalır ve parametrelerdeki belirsizliğin sürece dahil edilmesi gerekir. Bu sebeple, çok amaçlı bir problem için sadece etkin çözümleri bulmak yerine hem gürbüz hem etkin çözümlerin elde edilmesi önem taşır. Son yıllarda, belirsiz ve çok amaçlı problemlere gürbüz etkin çözümler üretebilmek için çok amaçlı gürbüz optimizasyon çalışmaları ön plana çıkmaktadır. Literatürde, çok amaçlı gürbüz optimizasyon alanındaki belirli bir grup çalışma küme ilişkilerine dayanmaktadır. Farklı küme ilişkileri temel alınarak gürbüz etkin çözüm tanımları yapılmış ve bu gürbüz etkin çözümleri bulmak üzere skalerleştirme, genişletilmiş Tchebycheff ve epsilon-kısıt gibi yöntemler önerilmiştir. Ancak önerilen bu yöntemler bazı dezavantajlara da sahiptir. Bu dezavantajların başında gürbüz etkin çözüm kümesinin tamamının elde edilememesi ve skalerleştirme vektörleri ile epsilon kümesi seçiminin sonuçlar üzerinde kritik bir etkiye sahip olması gelmektedir. Bu çalışmada, gürbüz etkin çözümleri bulmak amacıyla küme ilişkilerine dayanan özgün modeller önerilmektedir.

337 – İmalat Sistemlerinde Milk-run Sistemi Tasarımı için Bir Simülasyon Çalışması

İhsan Erozan Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Afra İyigün Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Batuhan Fazlılar Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Milk-run düşük stoklu ve verimli bir malzeme besleme sistemi oluşturmak için kullanılan kritik bir yalın üretim aracıdır. Temel çalışma yapısı taşıma araçlarının belirli bir rota üzerinde belirli bir tur süresi ile istasyonları ziyaret edip malzeme ile beslemesi ve boş kutuları toplaması esasına dayanır. Bu besleme-geri toplama süreci genelde belirli bir dairesel rota üzerinde sürekli olarak tekrar eder. Teoride sıklıkla ifade edilen faydalarına rağmen üretim sahasında başarılı bir şekilde uygulanabilmesi birçok kritere bağlıdır. Bu çalışmada, bir imalat işletmesinin lojistik ihtiyaçlarını karşılayacak gerçekçi bir milk-run sisteminin tasarımı için FlexSim simülasyon yazılımı kullanılarak bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyon çalışmasında kullanılan verilerin bir kısmı üretim sistemleri laboratuvarından fiziki ölçümlerle elde edilmiş kalanı ise makul olacak şekilde türetilmiştir. Simülasyon çalışmasında literatürdeki örnekler dikkate alınarak tipik bir milk-run sisteminin çalışma yapısı canlandırılmıştır. Çalışma sonucunda, gerçek hayatta milk-run performansını önemli derecede etkileyeceği düşünülen kriterler listelenmiş ve tipik bir milk-run sisteminde bu kriterlerin göz ardı edilmesinin sonuçları tartışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar milk-run optimizasyonu için matematiksel model oluşturulmasında kullanılacaktır.

338 – Bütünleşik Nakit Yönetimi – Şubeler, Ana Kasalar ve ATM'ler için Kompozit Bir Yapay Zekâ Platformu

Şükrü İmre *İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı ve Kredi Bankası A.Ş*
Mehmet Yılmaz, Mert Vargün *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Hikmet Selim Talu, Hakan Korul, İşyar Peker *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Eren Duralı, Yunus Şevli, Cemil Kahveci *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Ümmühan Tosun, Hatice Yılmaz, Selen Alkan *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Talya Okan Benli, Murat Özkul, Nergis Arafal Altan *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Atilla Özbek, Pelin Bilen, Orkun Aydın *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Ecem Onaylı, Alperen Tır, Ozan Çelik *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Barış Kayalar, Eray Tekin, Nebahat Soyal *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*

Yapı Kredi Bankası, nakit yönetimini dijitalleştirmek ve proaktif bir karar mekanizmasına dönüştürmek amacıyla 700 şube, 6000 ATM ve 35 anakasayı kapsayan bütünleşik bir yapay zekâ platformu geliştirmiştir. Bu proje; şubelerde ihtiyat amacıyla tutulan kümülatif 1,5 milyar TL âtıl nakit, saatler süren manuel ATM ikmal hesaplamaları ve hizmet kesintilerinin neden olduğu müşteri kaybı gibi temel yapısal sorunları çözmek üzere hayata geçirilmiştir. Platform üç ana bileşenden oluşmaktadır. XGBoost algoritmasını kullanan Şube Nakit Tahmin Modeli, 29 farklı değişkenle şubelerin optimum nakit ihtiyacını belirlerken; Ana Kasa Tahmin Sistemi, üstel hareketli ortalamalarla aylık hedefler oluşturmaktadır. ATM Karar İkmal Sistemi ise 14 LightGBM modeliyle yedi günlük para çekme ve yatırma tahminleri yaparak kupür bazında dağıtım optimizasyonu ve bölgesel sefer önceliklendirmesi sağlamaktadır. Tamamen kurum içi kaynaklarla on iki ayda geliştirilen bu çapraz fonksiyonel çözüm, bankaya büyük kazanımlar sunmuştur. Sistem genelinde 2,5 milyar TL âtıl nakit aktif kullanıma kazandırılarak yıllık 10 milyon dolar net finansal fayda elde edilmiştir. Lojistik ve nakit taşıma maliyetlerinde yüzde 10 düşüş, manuel hesaplama sürelerinde saatlerden dakikalara inen büyük bir zaman tasarrufu ve müşteri memnuniyetinde yüzde 5 oranında artış sağlanmıştır. Tahmin modellerindeki hata oranları şube tahminlerinde yüzde 20, ana kasada yüzde 13 ve para çekmede yüzde 28 seviyesinde kalırken, değişken para yatırma işlemleri emniyet stoklarıyla dengelenmiştir. Sonuç olarak bu başarılı entegrasyon, bankanın nakit operasyonlarını veri odaklı bir yapıya taşıyarak sermaye verimliliğini en üst düzeye çıkarmıştır.

340 – Mobil Erişim Şebekelerinde Finansal Verimlilik Analizi: Yatırım Sonrası Veri Odaklı Bir Karar Verme Yaklaşımı

Şirvan Bağ TURKCELL
Hakan Acar TURKCELL

Hızla değişen telekomünikasyon pazarında operasyonel verimliliğin artırılması ve yatırım geri dönüş (ROI) sürelerinin optimize edilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu çalışma, bir mobil operatörün mevcut baz istasyonu şebekesinin finansal sürdürülebilirliğini ölçmek amacıyla geliştirilen, baz istasyonuna ait işletme ve amortisman giderlerini gelirlerle ilişkilendiren uçtan uca bir kârlılık modelini ele almaktadır. Geliştirilen dinamik veri görselleştirme katmanı ve kök neden analizi metodolojisi sayesinde, hesaplanan kârlılık skorunun altında kalan verimsiz sahalar için stratejik aksiyonlar oluşturulmakta; böylece büyük veri analitiği kullanılarak pasif altyapı yönetiminden stratejik portföy yönetimine geçiş sağlanmaktadır.

Günümüz telekomünikasyon sektöründe yeni nesil teknolojilere geçiş ve artan veri talebi, operatörleri devasa altyapı yatırımları ile yükselen işletme maliyetleri arasında bir denge kurmaya zorlamaktadır. Özellikle enerji maliyetlerindeki volatilite, yüksek kira bedelleri ve spektrum lisans bedelleri gibi sabit giderler finansal sürdürülebilirliği tehdit ederken, şebeke verimliliğini yalnızca toplam trafik üzerinden okumak, kaynakların etkin kullanımı açısından yetersiz kalmaktadır. Mevcut sistemlerdeki veri dağınıklığı ve maliyetlerin sahalara dinamik olarak atanamaması, uçtan uca hesaplamayı zorlaştırdığı için her bir baz istasyonuna ait gelir ve giderlerin özelleşmiş bir "Saha Bazlı Karlılık Karar Destek Sistemi" üzerinden takip edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın metodolojik temelini oluşturan Karlılık Skoru (KS), yıllık kira, enerji, bakım gibi işletme giderleri, varlıklara ait amortisman giderleri ve sahadan elde edilen trafik gelirlerinin harmonize edilmesiyle oransal olarak hesaplanmaktadır. Analiz modelinin çıktı kalitesini artırmak ve finansal sapmaları minimize etmek amacıyla çalışmaya yalnızca en az 1 yıl aktif olan baz istasyonları dahil edilmiştir. Bu strateji, hem işletme giderlerinin yıllık finansal döngüsünün doğru yansımasını sağlamakta hem de trafiğin tatil dönemleri, bayramlar ve mevsimsel hareketler gibi sezonsal dalgalanmalardan etkilenen "gerçek kapasitesini" gelir modeline dirençli bir şekilde dahil etmektedir.

Geliştirilen mimari, organizasyon genelindeki dağıtık ve çok kaynaklı sistemlerden gelen verileri merkezi bir modelde birleştirerek operasyonel çıktılar üreten dinamik bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Bu modelin temel çıktısı olan Karlılık Skoru, verimsiz sahaların tespiti için temel eşik değerini oluşturmakta ve skoru düşük olan sahalar için büyük veri analitiği destekli trafik, gider ve kategorizasyon analizleri yapılmaktadır. Bu süreçte sahalar; kurulum amaçları, relokasyon imkânları, sökme veya tutma gerekçeleri gibi kriterlere göre değerlendirilerek finansal verimlilik maksimize edilmekte ve veriye dayalı stratejik bir varlık yönetimi modeli hayata geçirilmektedir.

341 – Bankacılık Sektöründe Müşteri Küskünlüğünün Tahmini ve Açıklanabilir Yapay Zekâ ile Kişiselleştirilmiş Aksiyon Üretimi: Uygulama Odaklı Bir Yaklaşım

Derya Güresen, İşyar Peker *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Ömer Yılmaz, Özer Depren *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Gökçe Altınkaya, Cemil Kahveci *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Merve KoçYiğit *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*

Bu çalışma, müşteri sadakatinin ölçümünde yaygın olarak kullanılan Net Tavsiye Skoru (NPS) yaklaşımını tamamlayıcı nitelikte, müşterilerin küskünlük durumunun günlük bazda tahminlenmesine yönelik veri temelli bir model önerisi sunmaktadır. Mevcut anket tabanlı ölçüm yöntemlerinin yüksek maliyet, düşük yanıt oranı ve sınırlı gözlem sıklığı gibi kısıtlarını gidermek amacıyla, iki yıllık müşteri verisi kullanılarak Gradient Boosting Machine (GBM) algoritmasına dayalı bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Model, 2023 yılı itibarıyla canlı ortama alınmış; 2024 yılında SHAP tabanlı açıklanabilir yapay zekâ katmanı ile desteklenerek müşteri bazında küskünlüğü etkileyen temel değişkenlerin ve aksiyon önerilerinin üretilmesi sağlanmıştır. Bulgular, geliştirilen yapının müşteri sadakatinin izlenmesi, memnuniyetsizliklerin erken tespiti ve karar süreçlerinin desteklenmesi açısından anlamlı katkılar sunduğunu göstermektedir.

343 – A Data Collection Protocol and Modelling Framework for Freight Trip Generation in Istanbul

Mehmet Ali Silgu *Koç Üniversitesi; Bartın Üniversitesi*
Barış Yıldız *Koç Üniversitesi*

Turkish cities do not have a standard way of collecting freight data at the establishment level, and the models used in metropolitan transport plans still rely on constant trip rates borrowed from international guidelines. Holguín-Veras et al. (2011) showed that this approach is valid for only about one third of industry segments and produces systematic errors: it underestimates delivery traffic in areas with many small businesses and overestimates it where large establishments dominate. Holguín-Veras et al. (2013) showed that applying these models in new cities without correction makes the problem worse. Istanbul is a city where this matters a great deal. It spans two continents, its commercial activity is spread unevenly across dozens of districts with very different land use patterns, and its freight planning documents currently treat all of them the same way. This paper presents a protocol for collecting establishment-level freight data in Istanbul and a modelling framework that uses that data to build spatially disaggregate freight trip generation models.

The first contribution is the data collection protocol. The Establishment-Based Freight Survey, known as EBFS, is the most effective method for capturing the establishment characteristics and delivery records needed for disaggregate freight trip generation models (Venkadavarahan and Marisamynathan, 2023). Experience from cities including Mumbai and Delhi shows that face-to-face interviews at the establishment are the only survey method that produces acceptable response rates in contexts where businesses are not used to providing freight data voluntarily, with postal and telephone approaches returning below five percent response rates (Patil et al., 2021).

The sampling frame is built from three complementary institutional sources. The Istanbul Chamber of Commerce (İTO) maintains member registers for commercial establishments covering retail, wholesale, food and beverage, accommodation, construction materials, chemical products, and textile trade. The Istanbul Chamber of Industry (İSO) holds records of manufacturing establishments across sectors including food processing, textiles, metal products, machinery, plastics, and chemical manufacturing. The Istanbul Union of Tradesmen and Craftsmen Chambers (İSTESOB) covers small independent tradesmen in bakeries, butchers, greengrocers, hardware shops, and repair services, which are frequent freight generators in residential and transitional zones but rarely included in freight studies. Together these three sources give access to a broader establishment population than TÜİK Structural Business Statistics alone, which tends to undercount informal and micro-scale businesses. Sector classifications from the chamber records are crosswalked with NACE Rev. 2 codes to ensure the data remain comparable with studies from other countries (Pani et al., 2020).

The survey covers eight sector groups derived from this combined register: retail non-perishable goods, retail perishable goods and food, food and beverage services, wholesale and distribution, accommodation, light manufacturing, construction materials trade, and professional offices. This breakdown is broader than the five-sector structure used in many international studies and reflects the range of commercial activity found in Istanbul's mixed-use districts. At each sampled establishment, the interviewer records weekly freight trip productions and attractions as outcome variables. The predictor variables collected are: number of employees, gross floor area, ownership type (independent or chain), years at the current address, whether a dedicated loading bay exists, whether the establishment uses its own vehicles for deliveries, and the GPS coordinates of the premises. The questionnaire is designed to take no more than 20 minutes per interview, following the guidance of Holguín-Veras et al. (2012). The sampling design uses stratified allocation across three spatial zones (central, transitional, and peripheral) with a minimum of 30 establishments per sector per zone. A pilot survey in two contrasting districts runs before the main data collection to check whether any questions are misunderstood and to confirm realistic interview times in the field.

The second contribution is the modelling framework. Three models are estimated in sequence. The first is an ordinary least squares regression, included as a benchmark. The second is a Zero-Inflated Negative Binomial model, or ZINB. Freight trip counts are non-negative integers and most urban establishment datasets contain

overdispersion and many zero observations. ZINB separates zeros that come from establishments that never generate freight trips from zeros that come from establishments that simply had no deliveries during the observation week. This distinction matters because the two groups respond differently to policies such as delivery time restrictions or zoning changes, as Sánchez-Díaz (2017) showed using data from Gothenburg. The third model is Geographically Weighted Regression, or GWR. Standard regression produces a single coefficient for each predictor that applies across the whole city. In practice, the relationship between employment and freight trip frequency is not the same in Kadıköy as it is in Esenyurt. Middela and Ramadurai (2021) showed that spatial autocorrelation is significant in freight trip generation data and that ignoring it produces biased estimates with direct consequences for policy recommendations. GWR fits a local regression at each observation point using a spatially weighted kernel, so the output is a set of district-level maps rather than a single citywide number. The prior Turkish study by Günay et al. (2016) in Kocaeli showed that homogeneous grouping and better model specifications outperform standard regression, but spatial variation in coefficients was not examined. The framework adds that step.

The output is a set of locally calibrated freight trip generation functions that Istanbul planners can use in place of constant trip rates in traffic impact studies, loading bay design standards, and environmental impact assessments. Both the protocol and the framework are designed to be replicable in other Turkish cities where chamber records and TÜİK registers are accessible as a sampling frame.

344 – Şube Satış Mükemmeliyeti için Kompozit Yapay Zekâ: Öngörülü Hedefleme, Performans Takibi ve Yapay Zekâ Koçluğu

Şükrü İmre *İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı ve Kredi Bankası A.Ş*
Emre Nuray, Hakan Korul, Yiğit Keser *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Mert Vargün, Hikmet Selim Talu, Beyza Mutlu *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Deniz İrem Yalçın, Derya Güresen, Seda Alacan Kavi *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Yunus Şevli, Sercan Saatçi, Merve Yürekli Koçyiğit *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Selin Ersöz, Hamdi Babaoğlan, Mert Oğuzhan Cengiz *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Osman Oluroğulları, Alper Kiraz, Beçhan Erkin *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*

Yapı Kredi Bankası, şube satış operasyonlarındaki adil olmayan hedef dağıtımı, dağınık performans verileri ve veriyi aksiyona dönüştürememe gibi köklü sorunları çözmek amacıyla tüm satış rollerini ve ürün kalemlerini kapsayan üç katmanlı bir Kompozit Yapay Zekâ platformu geliştirmiştir. Eylül 2025'te tamamlanan ve elliden fazla kişilik bir ekip tarafından hayata geçirilen bu sistemin ilk katmanı olan Şube Hedef Dağıtım Motoru, 200'den fazla doğrusal regresyon modeli kullanarak şeffaf ve kişiselleştirilmiş hedefler üretmektedir. Mevsimsellik, yerel potansiyel ve kurum stratejisini dikkate alan bu yapı, açıklanabilirlik özelliği sayesinde bütçe itirazlarını kökten çözmekte ve dağıtım algoritmalarıyla üst yönetim hedeflerini dengelemektedir. Sistemin ikinci katmanı olan Satış Asistanı, dört farklı ekrana dağılmış verileri tek bir arayüzde birleştirerek işlem başına 40 saniyelik zaman tasarrufu sağlamakta; çalışanların anlık durumlarını, hedeflerini ve sıralamalarını kolayca takip etmelerine olanak tanımaktadır. Üçüncü katman olan Satış Elçisi ise Qwen 3 mimarisine dayanan dahili bir büyük dil modeliyle çalışarak çalışanın günlük performans verilerini baz alan kişiselleştirilmiş bir satış koçu işlevi görmektedir. Fine-tuning yerine context engineering ve few-shot prompting teknikleriyle bankaya özgü hale getirilen bu model, sahadan alınan geri bildirimlerle sürekli güncellenmektedir. Tüm bu entegrasyonun sonucunda bilanço kalemlerinde %2 büyüme ile yaklaşık 12 milyon dolar ek gelir elde edilmiş, bütçe döngü süreleri yarı yarıya kısalmış ve hedef itiraz çözüm süreleri %80 azalmıştır. Ayrıca çalışan memnuniyetinde %10 artış, başarı sonuçlarında %15 iyileşme ve işten ayrılma oranlarında %5 düşüş sağlanarak çok yönlü bir başarı yakalanmıştır.

.

345 – Şube Kaynak Optimizasyonu: Gezici Gişe Personeli Atama Problemi İçin Çok Katmanlı Bir Yaklaşım

Beyza Mutlu *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*
Şükrü İmre *İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı ve Kredi Bankası A.Ş*
Deniz İrem Yalçın *Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.*

Türkiye'de faaliyet gösteren ulusal bir bankada, şubelerde izin veya eğitim gibi nedenlerle oluşan geçici gişe personeli yokluklarını karşılamak amacıyla, sınırlı sayıdaki gezici personelin şubelere etkin biçimde atanmasını sağlayan dinamik bir sistem geliştirilmiştir. Proje öncesinde büyük ölçüde manuel olarak, anlık kararlarla ve bireysel deneyimlere dayalı biçimde yürütülen atama süreci hem ciddi bir iş gücü gerektirmekte hem de insan kaynaklı hatalara açık bir yapı sergilemekteydi. Altı ay süren bu proje ile müşteri bekleme sürelerinin kontrolü, seyahat maliyetlerinin minimizasyonu ve ihtiyaç önceliklerinin dengelenmesi gibi birbiriyle çelişen hedefleri eş zamanlı ele alan iki katmanlı veri destekli bir çözüm sunulmuştur. Geliştirilen yapının ilk katmanında, iş kurallarını matematiksel olarak modelleyen ve öncelik katsayılarını yansıtan doğrusal olmayan bir skor fonksiyonuna dayalı Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli kurulmuş; elde edilen sonuçlar üzerinde Hungarian algoritması çalıştırılarak global mesafe minimizasyonu güvence altına alınmıştır. Sistemin ikinci katmanında ise optimizasyon modelinin çözümsüz kalabileceği istisnai senaryolar için iş kurallarını gözeterek uygulanabilir atamalar üreten bağımsız bir sezgisel algoritma devreye alınarak operasyonel kesintisizlik sağlanmıştır. Geleneksel tek amaçlı atama problemlerinden farklı olarak belirsizliği, personel memnuniyetini ve hizmet kalitesini eş zamanlı optimize eden bu çok amaçlı karar mekanizması, bankaya ölçülebilir kazanımlar sunmuştur. Canlıya alınan sistem sayesinde haftalık atama planlamasında bir tam zamanlı eşdeğer personel verimliliği elde edilmiş, doğru personelin doğru şubeye yönlendirilmesiyle yaşanabilecek yüzde beşlik potansiyel satış kaybının önüne geçilmiştir. Yöneylem araştırması tekniklerinin somut faydaya dönüştürüldüğü bu çalışma, kurumun kaynak kullanımını dengeleyerek süreçleri çok daha şeffaf, sistematik ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşturmuştur.

346 – Sistem Dinamiği Modellerinde Kara Kutu Parametre Kalibrasyon Tekniklerinin İncelenmesi

Tuğba Uyar *Boğaziçi Üniversitesi*
Melis Tuğrul *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Gönenç Yücel *Boğaziçi Üniversitesi*
Yaman Barlas *Acıbadem Üniversitesi*
Mustafa Gökçe Baydoğan *Boğaziçi Üniversitesi*

Sistem dinamiği modellerinde parametre kalibrasyonu, özellikle doğrusal olmayan geri besleme yapıları içerdiğinden zorlu bir süreçtir. Geleneksel gradyan tabanlı optimizasyon yöntemleri, süreksiz fonksiyonlar ve tablo fonksiyonları içeren sistem dinamiği modelleri için uygun değildir. Bu çalışma, türev gerektirmeyen kara kutu optimizasyon tekniklerinin sistem dinamiği modeli kalibrasyonundaki etkinliğini ve sınırlamalarını incelemektedir. Araştırmada beş farklı kalibrasyonlu teknik karşılaştırılmıştır: Izgara Araması, Rastgele Arama, Ağaç Yapılı Parzen Tahmincisi (TPE), Gauss Süreci (GP) ve Kovaryans Matrisi Uyarlamalı Evrim Stratejisi (CMA-ES). Deneylerde kullanılan modellerden sentetik veri setleri oluşturulmuş ve farklı gürültü yapıları (saf gürültü, otokorelasyonlu gürültü) ve veri kullanılabilirliği koşullarında (seyrek veri) teknikler test edilmiştir. Sonuçlar, tüm beş tekniğin orta ölçekli sistem dinamiği modellerini başarıyla kalibre edebildiğini göstermektedir. Ancak çalışmanın kritik bulgusu, düşük sayısal hata değerlerinin modelin temel dinamik davranışını doğru biçimde yeniden ürettiğini garanti etmediğidir. Özellikle salınımlı davranışa sahip stok yönetim modelinde, istatistiksel açıdan iyi uyum sağlayan parametre setleri bile sistemin salınım karakteristiklerinde (genlik, faz) belirgin farklılıklar sergileyebilmektedir. İlgili bir araştırmada, bu yöntemler sınırlı gerçek dünya verisiyle daha büyük bir modelin uzman kalibrasyonunu geride bırakmış, yaklaşımın pratik uygulanabilirliğini göstermiştir. Bulgular, kalibrasyon çıktılarının değerlendirilmesinde sayısal hata ölçütlerinin yanı sıra sistemin dinamik davranışının görsel ve niteliksel olarak incelenmesinin gerekli olduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sistem Dinamiği, Parametre Kalibrasyonu, Kara Kutu Optimizasyonu, Sentetik Veri, Epidemiyolojik Model, Envanter Dinamikleri, Dinamik Davranış Doğrulama

347 – Çoklu İHA Devriyesi için Rol Tabanlı QMIX Uzantıları

Doğa Çelme *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Yasin Ulukuş *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Çok ajanlı pekiştirmeli öğrenme (Multi-Agent Reinforcement Learning, MARL), özellikle merkezi eğitim ve dağıtık yürütme (Centralized Training with Decentralized Execution, CTDE) paradigması altında, iş birliğine dayalı otonom sistemlerin koordinasyonunda son yıllarda dikkat çekici ilerlemeler kaydetmiştir. Bununla birlikte, mevcut değer ayrıştırma tabanlı yöntemlerin önemli bir bölümü, ajanların görevlerinin benzer olduğu varsayımı altında tasarlanmıştır. Bu varsayım, gerçek dünya uygulamalarında sıklıkla geçerli değildir. Çünkü bir görev, birden fazla farklı rol barındıran ajanlar içerebilir.

Güncel literatürde klasik MARL yöntemlerinin atama, değer birleştirme ve koordinasyon öğrenimi süreçlerinde tek tip ajan kullanımı da amaç fonksiyonunun oluşturulmasında ciddi sınırlılıklar doğurmaktadır. Bu çalışma, tam da bu noktada literatürdeki önemli bir boşluğa odaklanmaktadır: QMIX gibi yaygın kullanılan ve diğer metodlara göre daha başarılı olmuş bir değer tabanlı çok ajanlı yönteminin, ajan rollerinin asimetrik ve görev bağımlı olduğu durumlarda ne ölçüde yeterli olduğu ve rol bilgisinin mimariye hangi düzeyde entegre edilmesi performansı anlamlı biçimde arttırabileceği bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Standart QMIX mimarisi, bireysel ajanların Q-değerlerini monotonluk kısıtı altında küresel bir toplam değerde birleştirirken, tüm ajanların yapısal olarak benzer kabul eden simetrik bir çerçeve benimsemektedir. Bu araştırmada ele alınan çoklu İHA arama-kurtarma ve devriye problemi, ajanların rol bakımından ayrıştığı, dolayısıyla bireysel değer fonksiyonlarının da farklı kısıtlar ve amaçlar altında biçimlendiği bir senaryo sunmaktadır.

Çalışmada incelenen görev ortamında üç İHA'dan oluşan bir takım yer almaktadır. Bu takımda bir adet Rol A (relay/linked UAV) İHA'sı haberleşme rölesini korumak ve üs istasyonu ile bağlantıyı sürdürmekle yükümlüdür. Diğer iki adet Rol B (exploratory UAV) İHA'sı ise keşif alanını genişletmek ve hedef bölgeyi taramakla görevlidir ve bu kısıta ek olarak bir de bunu yaparken Rol A ile röle menzili içinde kalmak zorundadır. Dolayısıyla problem yalnızca bir hedefin bulunması değil, aynı zamanda haberleşme zincirinin dinamik biçimde korunmasıdır. Bu durum, bireysel ödül durumlarının rol bazında farklılaşmasına yol açmaktadır: Rol A'nın karar uzayı iletişim sürekliliği ve hedefe yaklaşma ekseninde şekillenirken, Rol B ajanların hareketli bir referans noktasına bağlı menzil kısıtı altında alan kapsama ve hedef arama davranışı geliştirmektedir. Yani görev yapısının merkezinde haberleşme zinciri kısıtı yer almaktadır. Çalışmada belirtilen bulgulara göre ihlal ve ajan başına ceza uygulanmakta ve bu yapı takım düzeyinde koordinasyon kalitesini doğrudan etkilemektedir. Başka bir ifadeyle, sistem yalnızca "hedefi bulan" değil, haberleşme zincirini koruyarak hedefi bulan politikaları ödüllendirmektedir.

Deney ortamı, MultiUAVSR adı verilen, 10x10'luk bir ızgara tabanlı arama-kurtarma simülasyonudur. Ortamda toplam üç etmen bulunur: biri üs ile bağlantıyı koruyan bağlı İHA, ikisi ise keşif görevi yürüten keşif İHA'larıdır. Her bölüm başlangıcında kule konumu belirli bir köşe tercih kümesinden örneklenmekte, hedefin yeri ise ızgaranın iç bölgesinden rastgele seçilmektedir. Hedef algılama yarıçapının bölüm bazında rastgeleleştirilmesi, ajanların sabit rota ezberlemesini engelleyerek genellenebilir politika öğrenimini teşvik etmektedir. Ajanların başlangıç noktaları sabit şarj istasyonlarıdır ve bu durum rollerin bölüm boyunca sabit kaldığı yapısal heterojenliği desteklemektedir.

Yöntemsel olarak çalışma iki aşamalı deneysel karşılaştırma yürütmektedir. İlk aşamada (Track 1), standart QMIX; DQN, Double-DQN, SARSA, VDN, bağımsız PPO ve MAPPO gibi altı klasik MARL/RL yaklaşımıyla karşılaştırılmıştır. Bu aşamanın amacı, ilgili görev ortamında QMIX'in temel bir referans yöntemi olup olmadığını sınamaktır. İkinci aşamada (Track 2), standart QMIX ile bu çalışma kapsamında önerilen dört rol-farkındalıklı uzantı karşılaştırılmıştır. Böylece araştırma önce "QMIX gerekli mi?" sorusunu, ardından "QMIX'e rol bilgisi eklemek faydalı mı ve nerede faydalı?" sorusunu test etmektedir.

Önerilen dört mimari yaklaşım şu şekildedir:

A1: Rol-Özgül Ajan Ağları (Role-Specific Agent Networks): Bu yaklaşımda rol bilgisi, bireysel ajan ağları düzeyinde işlenmektedir. Rol A ve Rol B için farklı ağ kapasiteleri ve/veya özelleştirilmiş mimariler tanımlanarak ajanların kendi rol yapılarına uygun Q-değerleri üretmesi amaçlanmıştır. Ancak global birleştirme standard QMIX karıştırıcısı ile sürdürülmektedir.

A2: Rol-Farkındalıklı Hipernetwork (Role-Aware Hypernetwork Conditioning): Bu modelde rol bilgisi, karıştırma ağının hiper-ağ girişlerine dâhil edilmiştir. Böylece küresel değer birleştirme süreci, yalnızca durum bilgisini değil, ajanların rol yapılarını da dikkate alan biçimde koşullandırılmıştır. Bu yaklaşım, rol bilgisini doğrudan karıştırma (mixing) seviyesinde kullanması bakımından teorik olarak daha dengeli bir tasarım sunmaktadır.

A3: Hiyerarşik İki Seviyeli Değer Faktörizasyonu (Hierarchical Two-Level Value Factorization): Bu yaklaşım, roller arası yapısal farkı daha açık biçimde modelleyen iki seviyeli hiyerarşik bir karıştırma tasarımına sahiptir. Önce rol içi değerler alt-karıştırıcılarda birleştirilmekte, ardından rol düzeyindeki Q-değerleri üst düzey bir QMIX karıştırıcısında bütünleştirilmektedir. Böylece fiziksel görev yapısı doğrudan değer faktörizasyonuna yansıtılmaktadır.

A4: Dikkat Tabanlı Rol Ağırlıklandırma (Attention-Based Role Weighting): Bu yaklaşımda çok başlıklı dikkat (multi-head attention) mekanizması üzerinden rol-koşullu gömüler oluşturulmakta ve bu temsiller standard QMIX benzeri bir karıştırma yapısında kullanılmaktadır. Amaç, roller arası ilişkilerin daha esnek ve bağlama duyarlı biçimde ağırlıklandırılmasıdır.

Sonuçlara bakıldığında Standart QMIX, klasik yöntemlere kıyasla belirgin biçimde daha başarılı olsa da, ajan rollerinin yapısal olarak farklılaştığı çoklu İHA arama-kurtarma senaryolarında hâlâ sınırlılıklar taşımaktadır. Araştırmanın temel teorik katkısı, bu sınırlılığın kaynağını bireysel ajan politikalarında değil, değerlerin küresel düzeyde nasıl birleştirildiği probleminde konumlandırmasıdır. Multi-Role Dec-POMDP çerçevesi altında çoklu İHA koordinasyonunu rol temelli biçimde formelleştirmekte ve dört farklı rol-farkındalıklı QMIX uzantısını tek bir deneysel platformda sistematik olarak kıyaslamaktadır. Haberleşme ise bağımlı arama-kurtarma ve devriye operasyonlarında gerçekçi görev dağılımını dikkate alan öğrenme mimarilerinin gerekliliğini göstermektedir.

Sonuçlar genel olarak iki pratik öneriye işaret etmektedir. Eğer amaç daha istikrarlı ve uygulanabilir bir sistem geliştirmekse, rol bilgisini hiper-ağ koşullandırmasına entegre eden A2 yaklaşımı daha uygun görünmektedir. Eğer amaç maksimum performans ise ve eğitim karmaşıklığı tolere edilebiliyorsa, A3 hiyerarşik yaklaşımı daha güçlü bir adaydır. Buna karşılık A1 ve A4 yaklaşımları, belirli açılardan umut verici bileşenler içerse de, mevcut biçimleriyle kararlılık sorunu yaşamaktadır.

Araştırmanın gelecekteki uzantıları arasında, rollerin sabit değil dinamik olarak atandığı senaryoların incelenmesi, daha büyük çok rollü haritalarda testler yapılması, röle uyumluluğunu daha güçlü biçimde koruyan ceza/ödül yeniden dengeleme stratejilerinin denenmesi ve literatürde kullanılan deney ortamlarının benzeri karmaşık çok ajanlı kıyas ortamlarında genellenebilirliğin ölçülmesi yer almaktadır. Özetle bu çalışma, çok ajanlı İHA koordinasyonunda heterojen rollerin yalnızca görev tanımının bir parçası değil, öğrenme mimarisinin merkezî belirleyeni olduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, gelecekteki çoklu ajanlı pekiştirmeli öğrenme tekniklerinde “tek tip ajan, tek tip değer birleşimi” yaklaşımının yerini, görevin fiziksel ve işlevsel yapısını doğrudan temsil eden rol-duyarlı değer ayrıştırma mimarilerine bırakabileceğini göstermektedir.

348 – Türkiye Net-Sıfır Enerji Dönüşümü İçin Batarya Depolamalı Çok Dönemli Bölgesel Kapasite Genişleme Planlaması

Ali Osman Kabil *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Mehmet Güray Güler *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Özge Nalan Bilişik *İstanbul Teknik Üniveristesi*

Türkiye'de net-sıfır emisyon hedeflerine ulaşılması, büyük ölçekli yenilenebilir entegrasyonunu, bölgesel olarak farklılaştırılmış yatırım stratejilerini ve değişkenliği yönetmek için yeterli operasyonel esnekliği içeren kapsamlı bir güç sistemi dönüşümünü gerektirmektedir. Bu bağlamda, uzun dönemli planlama araçlarının mekânsal heterojenliği, politika odaklı kısıtları ve ortaya çıkan esneklik kaynaklarının operasyonel rolünü eş zamanlı olarak yakalaması gerekmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin net-sıfır enerji dönüşümünü desteklemek amacıyla, batarya depolamayı yatırım ve operasyonel bir seçenek olarak açıkça içeren çok dönemli bölgesel kapasite genişleme planlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen model, güç sistemini bölgesel düzeyde temsil ederek talep dağılımını ve yatırım kararlarını birden fazla bölge boyunca açık şekilde modellemektedir. Elektrik talebi, gerçek dünya verilerinden elde edilen gözlemlenen tüketim paylarına dayalı olarak bölgelere tahsis edilmekte ve böylece sistem gereksinimlerinin coğrafi olarak ayrıntılı bir temsili sağlanmaktadır. Üretim teknolojileri ve batarya depolama sistemlerine ilişkin yatırım kararları bölgesel düzeyde belirlenmekte olup, modelin kaynak kullanılabilirliği, altyapı kısıtları ve bölgeye özgü genişleme potansiyellerindeki farklılıkları yakalamasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, yenilenebilir kapasite genişlemesine ilişkin bölgesel kümülatif kısıtlar, pratik planlama, düzenleyici ve arazi kullanımına ilişkin hususları yansıtmak amacıyla önceden tanımlanmış planlama dönemleri boyunca modele dahil edilmiştir.

Model, artan yenilenebilir enerji penetrasyonu altında sistem işletimini temsil etmek amacıyla kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen üretim teknolojilerini birbirinden ayırmaktadır. Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar, gerçek tarihsel verilerden türetilen zamana bağlı üretim profilleri kullanılarak modellenmiş ve böylece kesintililik ile değişkenlik doğru şekilde yakalanmıştır. Kontrol edilebilir teknolojiler, kurulu kapasite sınırları içerisinde çalışmakta ve yenilenebilir üretimin talebi karşılamakta yetersiz kaldığı durumlarda dengeleme kabiliyeti sağlamaktadır. Batarya enerji depolama sistemleri, temel bir esneklik kaynağı olarak modele açık şekilde entegre edilmiştir. Formülasyon; batarya yatırım kararları, şarj ve deşarj operasyonları, doluluk durumu dinamikleri ve verim kayıplarının ayrıntılı temsillerini içermektedir. Ayrıca, kullanılabilir depolama kapasitesindeki zamanla meydana gelen kademeli azalmayı yakalamak amacıyla bir bozunma mekanizması modele dahil edilmiş ve böylece uzun dönemli yatırım kararları ile operasyonel performans arasında bağlantı kurulmuştur. Yenilenebilir genişleme ile sistem esnekliği arasındaki tutarlılığı sağlamak amacıyla, bölgesel düzeyde yenilenebilir üretim yatırımları ile batarya kapasite dağıtımını ilişkilendiren bağlayıcı kısıtlar tanımlanmıştır. Gerçek dünya karar alma süreçlerini yansıtmak amacıyla model, Türkiye'nin uzun dönemli iklim hedefleriyle uyumlu politika tutarlı emisyon hedeflerini içermektedir. Karbon emisyonları, teknolojiye özgü emisyon faktörleri ve gerçek üretim seviyelerine dayalı olarak hesaplanmakta ve her planlama dönemi için sistem genelinde emisyon sınırları uygulanmaktadır. Bu yapı, tamamen teorik senaryolar yerine gerçekçi politika kısıtları altında alternatif yatırım yollarının değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Önerilen çerçevenin temel güçlü yönlerinden biri veri odaklı yapısında yatmaktadır. Model; gerçek elektrik talep profilleri, yenilenebilir üretim verileri ve Türkiye'ye özgü bölgesel olarak ayrıştırılmış kurulu kapasite verileri dahil olmak üzere gerçek dünya veri setlerine dayanmaktadır. Bu durum, sonuçların pratik geçerliliğini artırmakta ve model çıktılarının politika analizi ve sistem planlaması açısından doğrudan yorumlanabilir olmasını sağlamaktadır. Operasyonel ayrıntıyı korurken hesaplama uygulanabilirliğini sürdürebilmek amacıyla model, yıllık sistem davranışını ağırlıklı zaman dilimleri aracılığıyla yaklaşık olarak temsil eden indirgenmiş bir zamansal temsil kullanmaktadır. Ortaya çıkan formülasyon, Python ortamında uygulanmış ve Gurobi çözücüsü kullanılarak çözülmüş büyük ölçekli karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) problemidir. Önerilen model, Türkiye'de uzun dönemli enerji dönüşüm stratejilerinin değerlendirilmesi için esnek ve ölçeklenebilir bir karar destek aracı sunmaktadır. Bulgular, batarya depolamanın daha yüksek yenilenebilir enerji penetrasyonunu mümkün kılmada,

sistem güvenilirliğini artırmada ve net-sıfır emisyon hedeflerine ulaşılmasını desteklemede kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, modelin bölgesel yapısı; talep dağılımı ve genişleme kısıtlarındaki mekânsal farklılıkların optimum yatırım kararlarını ve genel sistem yapılandırmasını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Türkiye'de gerçekçi, veri odaklı ve sürdürülebilir enerji sistemleri tasarlamayı amaçlayan politika yapıcılar ve sistem planlayıcıları için değerli rehberlik sunmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye Bilim ve Teknolojik Araştırma Konseyi (TÜBİTAK), Bilim Bursları ve Hibe Programları Direktörlüğü (BİDEB) tarafından 2211-A Ulusal Doktora Burs Programı kapsamında desteklenmiştir.

350 – Behaviorally Informed Planning for Retrofitting, Sheltering, and Mixed-Mode Evacuation in Urban Tsunami Preparedness: Toward a Tsunami-Resilient Istanbul

Shiva Moslemi *Koç University*
Vedat Bayram *Kent Business School, University of Kent*
Barış Yıldız *Koç University*
Canay Doğulu *TED University*

Tsunamis, primarily triggered by earthquakes, pose an immediate and severe threat to coastal megacities such as Istanbul, where evacuation time is critically short and infrastructure vulnerability is high. This study addresses one of the most urgent operational challenges faced by disaster managers: how to jointly plan retrofitting, vertical sheltering, and multimodal evacuation under limited warning times and partial public compliance. In collaboration with Istanbul's municipal and disaster-management agencies, we develop and validate an optimization model that, for the first time in the literature, jointly incorporates these critical aspects while capturing the dynamic nature of tsunami evacuation. The model explicitly accounts for compliance behavior, derived from survey-based likelihoods, and minimizes dynamic risk exposure at home, en route, and at shelters. A tailored Benders-and-Price algorithm with multiclass column generation efficiently solves the large-scale problem, generating evacuation and sheltering plans under realistic network, capacity, and inundation constraints. Applied to Büyükçekmece, one of Istanbul's most densely populated coastal districts, the model demonstrates that jointly considering compliance, vertical shelters, and retrofitting substantially reduces overall evacuation risk. Specifically, it decreases the proportion of residents unable to evacuate from 54.1% under conventional planning to 4.7%, thereby saving over 90% of those who would not have reached safety under the current plan. The results provide concrete guidance for municipal decision-makers on how to balance investments between structural retrofitting and operational evacuation measures, allocate limited vertical shelter capacity, and communicate evacuation orders while accounting for behavioral uncertainty. More broadly, the proposed framework is adaptable to other coastal cities exposed to short-warning tsunamis.

351 – A Centralized Mechanism for Customer–Service Provider Matching in Last-Mile Delivery

Ali Nalbant *Koç University*
Barış Yıldız *Koç University*
Duygu Sili *Universidad Carlos III de Madrid*

Rapid growth in e-commerce has dramatically increased home delivery activity in cities, intensifying the movement of goods and the associated economic, social, and environmental impacts. Coordinating deliveries across multiple logistics providers has the potential to improve efficiency and societal outcomes, but doing so requires mechanisms that can match delivery demand with heterogeneous service providers while accounting for customer preferences and operational costs. Motivated by this challenge, we study a matching problem in which a central decision maker, referred to as an independent market operator, allocates last-mile parcel deliveries among competing providers with the goal of enhancing public value. Customers value service attributes such as price, service quality, and environmental performance, while providers incur scale-dependent operating costs. We show that Nash equilibria exist but are generally not unique. We develop a constructive procedure to establish the existence of a Nash equilibrium and show that it can be used as a solution method to identify optimal assignments under specific conditions. For more general cases, we propose a mixed-integer programming formulation with a clustering-based reduction that scales to instances with more than 2,500 customers. Numerical experiments show that decentralized behavior may lead the system to substantially different equilibrium outcomes, with welfare gaps exceeding 20% across equilibria for the problem instances we study. Centralized assignments by the independent market operator ensure selection of the highest-value equilibrium, which our experiments show typically lies on the environmental-quality efficient frontier, indicating that improvements in societal utility can be achieved without significant sacrifices in these dimensions.

352 – Diffüz Büyük B-Hücreli Lenfoma Tespiti için Açıklanabilir ve Bütünleşik Bir Dijital Patoloji İşlem Hattı

Belinay Keleş *İstanbul Bilgi Üniversitesi*
Yeliz Avcı *İstanbul Bilgi Üniversitesi*
Ahmet Kağan Çelenk *İstanbul Bilgi Üniversitesi*
Sude Şintürk *İstanbul Bilgi Üniversitesi*
İrem Ural *İstanbul Bilgi Üniversitesi*
Doruk Şen *İstanbul Bilgi Üniversitesi*

Geleneksel mikroskobik inceleme süreçleri, zaman alıcı ve yoğun iş yükü gerektiren bir yapıya sahiptir. Bu durum, Tüm Slayt Görüntüleme (WSI) tabanlı otomatik sistemlere olan ilginin artmasına sebep olmaktadır. Literatürdeki çalışmalar ağırlıklı olarak model performansına odaklanmaktadır ve sistematik ön işleme kontrolü, açıklanabilirlik gibi konular ise sınırlı düzeyde ele alınmaktadır. Bu çalışma kapsamında doku segmentasyonundan slayt düzeyinde sınıflandırmaya uzanan bir Diffüz Büyük B-Hücreli Lenfoma (DLBCL) tespit eden sistem mimarisi geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım tarayıcıdan bağımsız istatistiksel kalite kontrolü, patoloji temel modelinden elde edilen vektörel temsiller ve el ile tasarlanmış morfolojik özelliklerin entegre edildiği bir mimariye dayanmaktadır. Sistemin temel amacı, derin öğrenme sinyallerini biyolojik olarak yorumlanabilir özelliklerle birleştirerek karar mekanizmasının açıklanabilirliğini sağlamaktır. Çalışma, TCGA ve CAMELYON veri setlerinden alınan pozitif ve negatif olmak üzere toplam 126 adet WSI üzerinde geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Bir WSI %60-%70 oranlarında doku görüntüsü bulundurur. Yalnızca doku olan bölgeleri modelin dikkate alması için EfficientNet-B3 kodlayıcı ve U-Net çözücü mimarisine dayanan bir segmentasyon modeli geliştirilmiş, hücre çekirdekleri CellPose ile segmente edilerek tespit edilen her hücreden yoğunluk, şekil, uzamsal dağılım ve doku kategorilerinde yama bazında morfolojik özellik vektörleri çıkarılmıştır. WSI'lar, tipik olarak 50.000 × 50.000 pikseli aşan yüksek çözünürlükleri ve gigabayt büyüklüğündeki dosya boyutları nedeniyle tek bir seferde işlenemez; bu sebeple daha küçük yama bölgelerine ayrılarak artefaktları tespit eden istatistiksel bir kalite kontrol sürecinden geçirilir. Süreç sonunda, alanının en az %50'si doku olan ve artefakt oranı %10'u aşmayan yamalar analize dahil edilmektedir. Varyasyonları gidermek amacıyla uygulanan MPP ve Macenko renk normalizasyonlarının ardından; Virchow2, CONCH ve GenBio-PathFM temel modelleriyle derin özellikler elde edilmiştir. Her bir yama için elde edilen derin ve el ile tasarlanmış özellik vektörleri kaynaştırılarak birleşik bir yama temsili oluşturulmaktadır. Slayt düzeyinde DLBCL tahmini yapmak amacıyla TransMIL, BayesMIL, FourierMIL, ABMIL gibi çeşitli Çoklu Örnek Öğrenme (MIL) mimarileri denenmiştir. Değerlendirme kapsamında dikkat-tabanlı MIL temel karşılaştırma modeli olarak kullanılırken, ısı haritaları üzerinden modelin açıklanabilirliği sağlanmıştır. Sonuçlarla patologların klinik inceleme yapabilmesi için modelin sınıflandırma sonuçlarını ve dikkat ısı haritalarını doğrudan WSI üzerinde gösteren PySide6 tabanlı bir arayüz modülü geliştirilmiştir.

353 – Renewable Solar Energy Source; A Solution to Epileptic Power Supply in Mubi

Danladi Ali *Adamawa State University*

This work developed a new model for estimating Global Solar Radiation (GSR) for Mubi, Adamawa State Nigeria. The relationship between the GSR and temperature, actual GSR potential, forecasted GSR potential, root mean square error (RMSE), equivalent electric energy potential, suitable, fairly - suitable and not suitable areas were determined as 0.32, 196.19 KWh/m2, 190.68 KWh/m2, 0.018, 7,271,342.12GWh/Year, 2867.41Km2, 864.11Km2 and 996.48Km2 using correlation analysis, Weibull Probability distribution (WPD), Adaptive Neuro – fuzzy Inference System (ANFIS). It was deduced that GSR and temperature correlated moderately positive, the actual and forecasted GSR differ by 0.5 KWh/m2 signifying that in 10 years to come, Mubi will not experience a significant change in climatic conditions, especially the GSR, the electrical energy potential obtained is adequate to generate electricity for entire Mubi town, the suitable, fairly suitable and not suitable areas for the installation of the solar power plant occupied 60.64%, 18.28% and 21.08% respectively, a new or customized model for estimating GSR for Mubi was proposed by modifying the sunshine - temperature based GSR hybrid model. This work revealed that if the energy potential estimated is harnessed and implemented it will provide lasting solution to the epileptic power in Mubi town and the entire Adamawa State.

354 – Online Siparişlerin, Ortak Teslimat İşbirliği Modeli Çerçevesinde Dağıtılması için Öğrenme Tabanlı Sipariş Seçim ve Araç Rotalama Optimizasyonu

Oğuz Şöhret *Koç Üniversitesi*
Barış Yıldız *Koç Üniversitesi*
Gürhan Kök *Koç Üniversitesi*

Online siparişlerin müşteri adreslerine teslimatında, tedarik zincirinin en yüksek birim maliyetli ve iyileştirme potansiyeline sahip bölümlerinden bir tanesi son kilometre dağıtım sürecidir. Çalışmamızda, online siparişlerini müşterilerine teslim etmek üzere operasyonu bulunan iki firmanın (hipermarket zinciri ve e-ticaret firması) farklı özelliklerdeki siparişlerini gün içinde aynı araçlar içerisinde dağıtmak üzere ortak bir teslimat modeli ile işbirliği yapması durumunda kullanılabilecek çözüm yöntemleri incelenmektedir.

Firmaların müşteri sipariş özellikleri, dağıtım zaman dilimi ve aynı gün teslimat başta olmak üzere farklı kriterler çerçevesinde modele dahil edilmektedir. Dağıtım adreslerinin, adres kümeleri (zone) yapısı üzerinden değerlendirildiği çalışmada, farklı kümeleme (clustering) metodları incelenmiştir. Çalışmadaki hipermarket zinciri, online siparişlerini belirli zaman aralıklarında dağıtmak üzere günlük planlamasını yaparken, araç filosunu gün içinde değişken talep miktarına göre planlamakta, oluşan kapasitenin verimli değerlendirilmesi amacıyla e-ticaret firması ile birlikte işbirliği gerçekleştirmektedir.

Önerilen çözüm yaklaşımı (LAP), ardışık karar verme (sequential decision making-SDM) yapısı çerçevesinde tasarlanarak öğrenme tabanlı bir optimizasyon modeli üzerinden çalıştırılmaktadır. Önerilen yaklaşımın, kıyaslama için kullanılan benchmark modellerle karşılaştırıldığında, ortalamada ve artan talep ve kapasite planlamasında kabul edilebilir aralıklarda ve uygun kalitede sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İşbirliği gerçekleştiren iki firma için ortak teslimat modelinin her iki firma için de daha uygun birim teslimat maliyetleri sağlayabileceği gözlemlenmiş, bu doğrultuda birlikte çalışabilecekleri ücret ve fiyat aralıkları tanımlanmıştır. Ortak teslimat modeli ile katedilen mesafenin kısaltılması ve emisyonun azaltılması sonucu ortaya çıkan çevresel katkılar, sürdürülebilirlik çerçevesinde ölçümlenmiştir.

355 – İki Boyutlu Kesme Problemleri İçin GPU Tabanlı Paralel Genetik Algoritma Destekli Bir Karar Destek Sistemi

Sümeyye Ebrar Baş *Hitit Üniversitesi*
Furkan Özpay *Hitit Üniversitesi*
Erdener Özçetin *Hitit Üniversitesi*

Bu çalışmada, makine ve imalat sanayinde sık karşılaşılan iki boyutlu kesme problemlerinin etkin çözümü için grafik işlem birimleri üzerinde çalışan paralel genetik algoritma tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Ele alınan problemde amaç, dikdörtgen parçaların tek bir ana malzeme üzerine çakışma olmadan yerleştirilmesi ve fire miktarının en aza indirilmesidir. NP-zor yapısı nedeniyle yüksek hesaplama maliyeti oluşturan problem için, yerleştirme sırası, sezgisel seçim ve rotasyon kararlarını birlikte temsil eden üç bileşenli bir kromozom yapısı tasarlanmıştır. Parçaların yerleştirilmesinde skyline veri yapısı ve farklı yerleştirme sezgiselleri kullanılmış; algoritmanın uygunluk değerlendirme ve yerleştirme aşamaları CUDA tabanlı paralel mimariye uyarlanmıştır.

Geliştirilen GPU tabanlı yaklaşım, literatürde yer alan standart test problemleri üzerinde CPU tabanlı seri versiyon ile karşılaştırılmıştır. Deneysel bulgular, önerilen yöntemin çözüm kalitesini korurken özellikle büyük ölçekli problemlerde hesaplama süresini önemli ölçüde azalttığını ve bazı örneklerde 80 katın üzerinde hızlanma sağladığını göstermektedir. Ayrıca geliştirilen algoritma, kullanıcı dostu bir arayüze sahip karar destek sistemine entegre edilerek sanayi uygulamalarına uygun hale getirilmiştir. Çalışma, üretim süreçlerinde malzeme israfının azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi ve sürdürülebilir üretim hedeflerinin desteklenmesi açısından uygulanabilir bir optimizasyon yaklaşımı sunmaktadır.

356 – Yapay Zekâ Çağında Yapısal Verinin Önemi – Tedarik Zinciri Yönetimi Verisinin Dijitalleşme Dönüşümü

Belfu İncesu *Turkcell Teknoloji*

Yapay zekâ ve büyük veri teknolojilerinin kurumsal süreçlere hız kazandırdığı günümüzde, ham operasyonel verinin stratejik bir kaynağa dönüşebilmesi için merkezi, tutarlı ve yapılandırılmış bir depolama mimarisine ihtiyaç duyulmaktadır. Veri ambarı (DWH), birbirinden bağımsız kaynak sistemlerin ürettiği verileri tek bir güvenilir gerçeklik kaynağında birleştirerek hem analitik modellerin doğruluğunu hem de raporlama altyapısının sürdürülebilirliğini güvence altına alır. DWH tabanlı mimari olmaksızın kurulan sistemler veri tekrarı, tutarsızlık ve performans sorunlarıyla boğuşmakta, uzun vadede yönetilemez bir teknik borca dönüşmektedir.

Kurumsal yönetimin etkinliği, büyük ölçüde doğru veriye doğru zamanda erişebilme kapasitesine bağlıdır. Karar destek sistemleri, üst yönetimin karmaşık operasyonel verileri hızla yorumlayabilmesini, eğilimleri izleyebilmesini ve aksiyon odaklı kararlar alabilmesini sağlayan kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle çok sayıda operasyonel birimi koordineli biçimde yöneten büyük ölçekli şirketlerde entegre, gerçek zamanlı ve görsel karar destek altyapısı, yönetimsel etkinliğin vazgeçilmez bir bileşenini oluşturmaktadır. Statik ve reaktif raporlama anlayışının yerini dinamik, etkileşimli ve öngörücü dashboard ekosistemlerine bırakması, bu dönüşümün somut bir yansımasıdır.

Pek çok kurumda operasyonel verinin önemli bir bölümü hâlâ yapılandırılmamış, silolara hapsolmuş ya da yalnızca kaynak sistemlerde erişilebilir durumdadır. Dijitalleşmemiş veya entegre edilmemiş bu veri kütleleri hem yapay zeka modellerinin beslenebileceği kaliteli veri havuzlarının oluşturulmasını engellemekte hem de kurumsal hafızanın sistematik biçimde biriktirilmesinin önünde ciddi bir bariyer oluşturmaktadır. Kurumsal ölçekte dijitalleşme yalnızca teknolojiyi benimsemek değil, var olan verinin tamamını erişilebilir, izlenebilir ve analiz edilebilir bir yapıya kavuşturmak demektir. Bu dönüşümü gerçekleştiremeyen organizasyonlar veri varlıklarının potansiyelini kullanamamakta; rekabetçi zekâ ve operasyonel verimlilik açısından giderek derinleşen bir kayba uğramaktadır. Bu çalışma, söz konusu dönüşümün Turkcell Tedarik Zinciri Yönetimi süreçlerinde nasıl hayata geçirildiğini İş Destek C Level Dashboard Projesi özelinde ele almaktadır.

Projenin başlangıç noktası, mevcut SCM Dashboard'unda gözlemlenen teknik ve yapısal sorunlardır. Önyüzde kaynak sistemlerden doğrudan beslenen, optimize edilmemiş sorgularla çalışan eski yapı; ciddi performans sorunlarına, veri tutarsızlıklarına ve yönetilemez bir teknik borç birikimine yol açmaktaydı. Yapay zekâ ve ileri analitik uygulamalarının işlevsel biçimde hayata geçirilebilmesi için öncelikle veri altyapısının yapısal sağlamlığa kavuşturulması gerekmektedir. Bu zorunluluk, proje ekibini yalnızca hata düzeltmeyle sınırlı kalmak yerine inisiyatif alarak sistemi sıfırdan, veri ambarı (DWH) tabanlı bir mimariyle yeniden tasarlamaya yöneltmiştir. Bu karar; projeyi teknik bir bakım çalışmasından, kurumsal bir dijital dönüşüm girişimine evriltmiş ve çalışmayı hem akademik hem de sektörel açıdan incelemeye değer kılmıştır.

Proje, iki ana faz halinde hayata geçirilmiştir. Birinci fazda; Satın Alma, Kiralama ve Altyapı İzinleri ile Gayrimenkul sekmeleri için DWH altyapısı kurulmuş, CEO Dashboard görselleri tasarlanmıştır. İkinci fazda ise altyapı genişletilerek Lojistik ve İnşaat modülleri entegre edilmiş; süreç sahiplerinin veri detaylarına erişebileceği Smartnet raporları da tasarlanmıştır. Metodolojik açıdan üç kritik katman üzerine inşa edilen mimari şu bileşenleri kapsamaktadır:

- **ETL Süreçleri:** On farklı operasyonel modülün veri büyüklüğü ve yapısı analiz edilerek kaynak sistem performansını etkilemeyecek optimum veri aktarım yöntemleri seçilmiştir.
- **Veri Ambarı Modellemesi:** Veriler, Single Source of Truth ilkesi benimsenerek DWH içerisinde ilişkiselliğe ve raporlama ihtiyaçlarına uygun biçimde modellenmiştir.
- **Görselleştirme Katmanı:** KPI kartları, trend analizleri ve grafik bileşenlerinden oluşan, estetik ve etkileşim odaklı bir tasarım dili benimsenmiştir.

Projenin teknik olarak en özgün katkısı, Kiralama ve Altyapı İzinleri sayfasındaki harita görselleştirmesidir. Sabit eşik değerlerinin yol açtığı görsel karmaşayı gidermek amacıyla, standart sapma (σ) tabanlı dinamik renklendirme

algoritması geliştirilmiştir. Verilerin aylık dağılımından hesaplanan μ ± σ aralıkları, yöneticilerin bölgesel bazda gerçek aykırı değerleri hassas biçimde tespit etmesine imkân tanımakta; coğrafi odaklanma ve kaynak tahsisi kararlarını istatistiksel bir temele oturtmaktadır.

Projenin tamamlanmasıyla elde edilen somut operasyonel kazanımlar şu başlıklar altında özetlenebilir:

- **Üst Yönetimin Karar Alma Süreçlerine Etkisi:** C ve D düzeyi yöneticilerin; Satın Alma, Lojistik, Gayrimenkul, İnşaat, Kiralama ve Yazılım Envanteri başlıkları altında konsolide edilen verilere tek bir dijital platform üzerinden erişmesi sağlanmıştır. Anlık ve güvenilir veri sunumu, karar döngülerini önemli ölçüde kısaltmıştır.
- **Mekansal Analiz Hassasiyeti:** Harita görünümündeki standart sapma tabanlı renklendirme sayesinde coğrafi dağılımda müdahale gerektiren kritik alanlar daha belirgin hale gelmiş; bölgesel bazlı stratejik odaklanma artmıştır.
- **Operasyonel Sahiplik ve Şeffaflık:** Operasyonel sahiplik mekanizmasının kurulmasıyla süreç aksaklıklarına müdahale süresi önemli ölçüde azalmıştır.
- **Veri Kalitesi ve Tek Kaynaklılık:** Farklı disiplinlerden gelen modüllerin DWH mimarisinde tekilleştirilmesiyle veri kalitesi yükseltilmiş ve veri erişilebilirliği artırılmıştır.
- **Analitik Esneklik:** DWH yapısındaki veriler, iş birimlerinin farklı analitik raporlama çalışmalarında (Smartnet raporları vb.) yeniden kullanılabilir bir veri kütüphanesi haline gelmiştir.

Bu çalışma; Endüstri Mühendisliği yöntemlerinin (süreç yeniden tasarımı, istatistiksel analiz, sistem mimarisi) kurumsal dijital dönüşüm süreçleriyle bütünleştirilmesinin somut bir örneğini sunmaktadır. Literatürde dashboard dönüşümü çalışmalarının büyük çoğunluğu ya salt teknik mimari ya da kullanıcı deneyimi odaklı kalmaktadır; bu proje ise uçtan uca veri modellemesini, istatistiksel görselleştirme yöntemini ve kurumsal sahiplik mekanizmasını bir arada ele almasıyla bütünleşik bir referans model niteliği taşımaktadır. Yapay zeka uygulamalarının kurumsal düzeyde anlam kazanabilmesi için önce verinin yapısal bütünlüğünün ve kalitesinin tesis edilmesi gerektiği; bu çalışma aracılığıyla somut biçimde ortaya konmaktadır. Telekomünikasyon sektöründeki büyük ölçekli şirketlerin benzer dönüşüm süreçlerine ışık tutması beklenmektedir. Sonuç olarak İş Destek C Level Dashboard projesi; verinin stratejik bir kurumsal güç olarak konumlandırıldığı, veri temelli karar alma kültürünü derinleştiren ve yönetimsel etkinlik üzerinde ölçülebilir etkiler yaratan bir dijital dönüşüm modeli olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Dijital Dönüşüm, Yapay Zekâ Altyapısı, Veri Ambarı (DWH), Dinamik Görselleştirme, Standart Sapma, Tedarik Zinciri Yönetimi, KPI Yönetimi, Karar Destek Sistemi, Telekomünikasyon*

357 – Karbon Kotası Kısıtı Altında İç Hat Havayolu Ağı İçin A-CII Tabanlı Filo Atama Optimizasyonu

Beyza Nur Duman *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*
Metehan Atay *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*

Küresel havacılık sektörü, karbon emisyonlarını azaltma baskısı ile operasyonel verimliliği maksimize etme zorunluluğu arasında stratejik bir eşiktedir. Bu çalışma, havayolu şirketlerinin karbon kotaları dahilinde filosunu nasıl daha verimli yönetebileceğine dair yeni bir optimizasyon metodolojisi önermektedir. Çalışmanın temel odağı, A-CII (Airline Carbon Intensity Indicator) endeksinin, statik bir analiz aracından dinamik bir rota optimizasyon kriterine dönüştürülmesidir.

Bildiride, Türkiye iç hat uçuş ağında, çoklu-hub yapısı (İstanbul, Ankara, İzmir) esas alınarak bir Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP) modeli tanımlanmaktadır. Önerilen model, havayolu operasyonlarında uçak tipinin rotaya atanması sürecinde; yakıt tüketimi, doluluk oranları ve mesafe verilerini A-CII skorları üzerinden kısıtlamaktadır. Geliştirilen metodoloji, havayollarının yıllık karbon kotalarını aşmadan, uçuş ağlarını nasıl yeniden tasarlayabileceklerini simüle etmeyi amaçlayan bir "Karar Destek Sistemi" altyapısı sunmaktadır.

Çalışma, teorik bir endeksin operasyonel kararlara entegre edilmesiyle, havayolu taşımacılığında yeşil lojistik uygulamalarının matematiksel modelleme ile nasıl mümkün kılınabileceğini göstermektedir. Bu yöntem, havacılık ağlarında karbon yoğunluğunu minimize eden rota ve filo planlama süreçleri için özgün bir yol haritası niteliğindedir.

358 – E-Ticaret Teslimat Rotalarının Karbon Emisyonu ve Maliyet Odaklı Çok Amaçlı Optimizasyonu

Buse Cücen *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Hatice Nida Civan *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Sıdıka Deveci *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Dilara Kocacı *İstanbul Beykent Üniversitesi*

Çevrimiçi alışverişin yaygınlaşması, lojistik operasyonları üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Özellikle büyükşehirlerde son-mil teslimat, hem işletmeler açısından ciddi bir maliyet kalemi hem de kentsel hava kalitesi bakımından giderek büyüyen bir sorun hâline gelmiştir. Nitekim ulaştırma sektörü, küresel CO_2 emisyonlarının yaklaşık %25'inden sorumlu olup bu payın önemli bir bölümünü dağıtım araçları oluşturmaktadır. Teslimat rotalarının bilinçsizce planlanması, gereksiz yere uzayan güzergâhlar ve trafik kaynaklı rölanti sürelerinin birikmesiyle birlikte ton başına çok daha fazla sera gazı salınımına neden olmaktadır. Çalışmanın çıkış noktası e-ticaret lojistiğinde karbon ayak izini ölçülebilir biçimde azaltmak, bunu yaparken de işletme maliyetlerini göz ardı etmemektir. Literatürde araç rotalama problemine yönelik pek çok çalışma bulunmakla birlikte, çoğunluğu ya yalnızca maliyeti ya da yalnızca emisyonu hedef almakta; dahası sabit trafik varsayımına dayanmaktadır. Oysa gerçek şehir trafiği dinamik bir yapıya sahiptir ve bu değişkenliği görmezden gelen rotalar, gün içinde hem gecikmelere hem de gereksiz yakıt tüketimine yol açmaktadır. Bu çalışma, söz konusu boşluktan hareketle tasarlanmaktadır. Amacımız; toplam operasyonel maliyeti ve araçların neden olduğu CO_2 emisyonunu birlikte ele alan, üstelik anlık trafik koşullarını da hesaba katan bir karar destek sistemi ortaya koymaktır. Çözüm üretme aşamasında NSGA-II algoritması kullanılması ve her çalıştırmada maliyet ile emisyon arasındaki dengeyi yansıtan bir Pareto çözüm kümesi elde edilmesi hedeflenmiştir. Modelde araç filosu homojen ve kapasite kısıtlı kabul edilecek, emisyon hesapları için COPERT V metodolojisinden yararlanılacaktır. Karar vericinin maliyet odaklı seçimlerinin emisyon hedeflerini zedelememesi amacıyla modele bir emisyon üst sınırı kısıtı eklenecek, bu sayede Pareto cephesindeki hiçbir çözüm belirlenen eşiğin üzerinde karbon salınımına yol açmayacaktır. Trafik verisi ise sabit tablolar yerine Google Haritalar üzerinden düzenli aralıklarla sorgulanacak ve sisteme aktarılacaktır; böylece model, o anki yol koşullarına duyarlı kararlar üretebilecektir. Projemiz, çok amaçlı optimizasyonu dinamik trafik verisiyle bütünleştiren ve TÜBİTAK'ın çevresel sürdürülebilirlik ile enerji verimliliği öncelikleriyle doğrudan örtüşen, uygulamaya dönük bir model sunmayı hedeflemektedir.

359 – Hibrit Çalışma Modelinde Bireysel Farklılıklara Dayalı Sürdürülebilir Yönetim Karar Yaklaşımı

Dilara Kocacı *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Hatice Nida Civan *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Buse Cücen *İstanbul Beykent Üniversitesi*
Sıdıka Deveci *İstanbul Beykent Üniversitesi*

Dijital dönüşüm ve pandemi sonrası iş dünyasında hızla yaygınlaşan hibrit çalışma modeli, organizasyonlar için sadece mekânsal bir değişim değil, aynı zamanda bütüncül bir idari yaklaşım evrimini temsil etmektedir. Geleneksel “herkese uyan tek tip” yönetim anlayışının hibrit çalışma düzenindeki yetersizliği, bireysel farklılıkların sürdürülebilir yönetim kararları üzerindeki kritik rolünü öne çıkarmaktadır. Bu doğrultuda sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular bütüncül bir şekilde değerlendirilmiştir. Araştırmanın teorik zemini Kaynak Koruma Teorisi ve İş Talepleri-Kaynaklar modeli üzerine inşa edilmiş olup; çalışan esenliğini ve operasyonel verimliliği uzun vadede korumayı hedefleyen bütüncül bir "Sürdürülebilir Yönetim Karar Çerçevesi" önerilmektedir. Ayrıca liderlik tarzlarındaki farklılıkların, hibrit çalışma ortamlarında karşılaşılan takım uyumu eksikliği, iletişim güçlükleri, iş-yaşam dengesi gibi zorlukların yönetiminde kritik bir rol oynadığı görülmektedir. Araştırma sonuçları, örgütsel stratejiler ile çalışan tercihleri arasındaki uyumun sağlanmasının, sürdürülebilir verimlilik ve çalışan memnuniyeti açısından temel bir belirleyici olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, organizasyonların uzun vadeli başarısı için yalnızca performans hedeflerine odaklanmak yeterli değildir; sürdürülebilirliği ve çalışan refahını merkeze alan bütüncül yaklaşımların benimsenmesi de büyük önem taşımaktadır. Yönetimsel kararları matematiksel modellemesinin belirlenmesi için Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden yararlanılmıştır. Belirlenen kriterlerin önem derecelerini hibrit çalışanlarının deneyimleri doğrultusunda belirlemek için Bulanık AHP yöntemi kullanılmış; hesaplanan bu ağırlıklar doğrultusunda, farklı yönetim senaryoları çalışan refahı ve performans kriterlerine göre en idealden en uzağa göre TOPSIS yöntemiyle derecelendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yönetim kararlarının demografik ve psikolojik değişkenlere göre kişiselleştirilmesinin, çalışanların kurumsal bağlılığını güçlendirdiğini ve operasyonel sürdürülebilirliği desteklediğini göstermektedir. Bu çalışma, hibrit çalışma sistemlerinde liderliğin stratejik rolüne kapsamlı bir bakış sunmasının yanında hem yönetim bilimleri literatürüne hem de yöneylem araştırması uygulamalarına özgün ve pratik katkılar sağlamaktadır.

360 – Çok Kanallı Perakende Operasyonlarının Optimizasyonu: Sipariş Karşılamada Crowd-Picking Stratejilerinin Analizi

Yasemin Ovalı *Koç Üniversitesi İstanbul*
Barış Yıldız *Koç Üniversitesi İstanbul*

Müşteri beklentilerinin giderek çeşitlendiği perakende sektöründe, fiziksel ve dijital satış kanallarının bütünleşik biçimde yönetilmesi rekabet avantajı yaratmanın temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Özellikle çevrimiçi market alışverişinin hızlı büyümesi, perakendecileri hem hızlı ve esnek hizmet sunabilecek hem de maliyet etkinliğini koruyabilecek sipariş karşılama süreçleri geliştirmeye yöneltmiştir. Sipariş karşılama süreçleri çok kanallı perakende sistemlerinin en kritik yetkinliklerinden biri olarak öne çıkarken, fiziksel mağazalarda yürütülen manuel ürün toplama faaliyetleri halen operasyonel maliyetlerin en önemli kaynaklarından biridir. Mevcut uygulamalar çoğunlukla özel görevlendirilmiş toplama ekiplerine veya yüksek yatırım gerektiren otomasyon sistemlerine dayanmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar ölçeklenebilirlik ve operasyonel esneklik açısından çeşitli kısıtlar yaratabilmektedir. Bu nedenle, mağaza içindeki mevcut kaynakları daha etkin kullanabilecek alternatif sipariş karşılama modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, çok kanallı perakende operasyonları için yenilikçi bir sipariş karşılama yaklaşımı olarak crowd-picking modelini ele alıyoruz. Crowd-picking, çevrimiçi siparişlere ait ürün toplama görevlerinin hâlihazırda mağazada alışveriş yapan müşterilere atanmasına dayanan bir modeldir. Böylece perakendeciler mevcut müşteri trafiğini operasyonel bir kaynak olarak değerlendirebilmektedir. Dış kaynaklı iş gücüne dayanan geleneksel crowdsourcing uygulamalarından farklı olarak bu yaklaşım, sipariş toplama görevlerini doğrudan müşterilerin alışveriş sürecine entegre etmektedir. Crowd-picking modeli iş gücü ihtiyacını azaltma ve kaynak kullanımını iyileştirme açısından önemli fırsatlar sunsa da gerçek zamanlı karar verme gereksinimi, müşteri davranışındaki belirsizlikler, sınırlı sipariş karşılama süresi ve hizmet seviyelerinin korunması gibi yeni operasyonel zorlukları da beraberinde getirmektedir.

Çalışma kapsamında, bu zorlukları ele almak amacıyla mağaza içi crowd-picking operasyonlarının yönetimine yönelik gerçek zamanlı bir karar destek çerçevesi geliştirilmektedir. Önerilen yapı iki tamamlayıcı bileşenden oluşmaktadır. İlk olarak, mağaza içinde hareket eden müşterilere hangi çevrimiçi siparişlerin hangi anda teklif edileceğini belirleyen dinamik bir atama mekanizması sunulmaktadır. Bu kararlar operasyonel belirsizlik altında ardışık biçimde alınmakta ve hem sipariş önceliğini hem de beklenen sipariş karşılama maliyetlerini dikkate almaktadır. İkinci olarak, çevrimiçi siparişleri daha küçük toplama görevlerine ayıran bir sipariş ayrıştırma yaklaşımı geliştirilmektedir. Bu yaklaşım, müşteri başına düşen ek çabayı azaltırken aynı zamanda atama esnekliğini artırmayı amaçlamaktadır. Böylece yalnızca operasyonel uygulanabilirlik değil, müşterilerin sisteme katılım isteği de artırılmaktadır.

Çalışmada, gerçek zamanlı kararları desteklemek amacıyla etkili atama politikalarının belirlenmesinde makine öğrenmesi yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Önerilen yaklaşımda, her karar noktasında yeniden büyük ölçekli optimizasyon problemleri çözmek yerine, simülasyonlardan ve operasyonel verilerden elde edilen öğrenmeler kullanılarak karar kuralları oluşturulmakta ve bu kurallar gerçek zamanlı atama süreçlerine entegre edilmektedir. Bu sayede hem hızlı hem de yüksek kaliteli kararlar alınabilmektedir. Geliştirilen yaklaşım farklı operasyonel koşullar altında çeşitli atama politikalarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve gerçek mağaza ortamlarında uygulanabilecek ölçeklenebilir bir yapı sunduğu gösterilmiştir.

Geliştirilen çerçeve, gerçek operasyonel veriler ve kapsamlı deneyler kullanılarak test edilmiştir. Deneyler; müşteri gelişleri, mağaza içi hareketler, sipariş özellikleri ve sipariş karşılama gereksinimlerini içerecek şekilde tasarlanmıştır. Crowd-picking yaklaşımının farklı talep seviyeleri, müşteri katılım oranları, teslimat süreleri ve personel yapılandırmaları altındaki performansı analiz edilmiştir. Bulgular, doğru tasarlanmış bir crowd-picking sisteminin sipariş karşılama performansını önemli ölçüde iyileştirebildiğini ve operasyonel maliyetleri azaltabildiğini göstermektedir. Özellikle, ürün toplama maliyetlerinde %20'nin üzerinde düşüş sağlanabildiği ve yüksek hizmet seviyelerinin korunabildiği görülmüştür. Sonuçlar ayrıca sipariş ayrıştırma yaklaşımının müşteri katılımını artırmada ve atama kararlarının etkinliğini geliştirmede kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Nicel performans kazanımlarının ötesinde, çalışma crowd tabanlı sipariş karşılama sistemlerinin uygulanmasına yönelik yönetsel çıkarımlar da sunmaktadır. Crowd-picking yaklaşımının hangi operasyonel koşullarda daha yüksek değer yarattığı ortaya konmakta, müşteri üzerindeki ek yük ile ekonomik teşvikler arasındaki dengenin önemi vurgulanmakta ve müşteri katılımının mevcut perakende operasyonlarına nasıl entegre edilebileceği tartışılmaktadır. Bulgular, crowd-picking yaklaşımının tamamen özel toplama ekiplerine dayanan sistemler ile yüksek yatırım gerektiren otomasyon çözümleri arasında uygulanabilir bir alternatif oluşturabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma literatüre üç temel katkı sunmaktadır. İlk olarak, mağaza içi sipariş karşılama süreçleri için yeni bir iş ve hizmet modeli olarak crowd-picking yaklaşımını ortaya koymaktadır. İkinci olarak, atama ve sipariş ayrıştırma kararlarını birlikte ele alan bütünleşik bir gerçek zamanlı yönetim çerçevesi geliştirmektedir. Son olarak, geleneksel optimizasyon yöntemlerinin hesaplama açısından zorlayıcı hâle geldiği dinamik perakende ortamlarında makine öğrenmesinin operasyonel kararları nasıl destekleyebileceğini göstermektedir.

361 – Tek Dönemli Rassal Envanter Probleminde Öznitelik Temelli Veri Güdümlü ve Maliyet Duyarlı Öğrenme

Elvan Durdu *Boğaziçi Üniversitesi*
Fikri Karaesmen *Koç Üniversitesi*
Mustafa Gökçe Baydoğan *Boğaziçi Üniversitesi*

Tek dönemli rassal envanter problemi (Newsvendor/Gazeteci Çocuk), belirsiz talep altında optimal envanter kararlarının verilmesini amaçlayan tedarik zinciri yönetiminin temel problemlerinden biridir. Yapay zekadaki güncel gelişmeler, talebe dair bilgi sunan öznitelikleri kullanarak yüksek doğruluklu talep tahminlerine olanak tanısa da geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerinin çoğu temel olarak ortalama kare hata gibi istatistiksel doğruluk metriklerine odaklanmaktadır. Oysa birçok gerçek dünya senaryosunda tahmin hatalarının operasyonel maliyetleri belirgin bir asimetri sergilemektedir; örneğin, stoksuz kalmanın maliyeti genellikle fazla stok tutma maliyetinden çok daha yüksektir. Bu nedenle, yalnızca istatistiksel hatayı minimize eden modeller, operasyonel açıdan optimal olmayan kararlara yol açabilmektedir. Bu çalışmada, Newsvendor kayıp fonksiyonunu doğrudan model eğitim sürecine dahil eden maliyet duyarlı bir rassal orman (cost-aware random forest) yaklaşımı incelenmektedir. Çalışma kapsamında ilk olarak, maliyet duyarlı modellerin potansiyel etkinliğini değerlendirmek üzere düzgün, üstel ve normal dağılıma sahip talep yapıları için tek kırılımlı ağaçlar (one-split trees) üzerinden analitik bir inceleme yürütülmüştür. Ardından, elde edilen analitik bulguları doğrulamak amacıyla maliyet duyarlı ağaçlar ile hata kareler toplamını minimize eden standart ağaçların karşılaştırıldığı sayısal deneyler gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise önerilen yöntem hem sentetik veriler hem de gerçek veriler kullanılarak test edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, özellikle yüksek maliyet asimetrisinin bulunduğu durumlarda sonuçları karşılaştırmak ve maliyet duyarlı yaklaşımın standart modellere kıyasla sergilediği davranışı gözlemlemektir. Böylece, ekonomik hedeflerin öğrenme sürecine doğrudan entegre edilmesinin, önce tahmin eden sonra optimizasyon yapan yöntemlere işlevsel bir alternatif olup olamayacağı araştırılmaktadır.

362 – Akıllı kargo dolaplarının kullanımına yönelik teşviklerin son kilometre teslimatları üzerindeki etkisi: Tüketici davranışını dikkate alan bir benzetim yaklaşımı

Raci Berk İslim *Sabancı Üniversitesi*
Bülent Çatay *Sabancı Üniversitesi*

Son yıllarda çevrim içi alışveriş hacminde yaşanan büyük artış, özellikle son kilometre teslimat operasyonları yürüten e-ticaret ve kargo şirketleri üzerinde ciddi baskıya yol açmıştır. Bu ortamda, farklı boyutlarda bölmelerden ve dijital bir arayüzden oluşan akıllı kargo dolapları gibi paylaşımlı teslimat noktaları, şirketlere siparişleri konsolide etme imkânı tanırken müşterilere de gönderilerini kendileri için uygun zaman ve konumda teslim alma esnekliği sağlamakta; bu da operasyonel verimliliği artırmaktadır. Ancak tüketicilerin büyük çoğunluğu hala öncelikli olarak adrese teslimatı tercih etmektedirler. Bu nedenle, sektörde kargo dolabı kullanımını teşvik edici uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Buna karşın teşviklerin, müşterilerin adrese teslimat ile kargo dolabına teslimat arasındaki tercihleri üzerindeki etkisi, son kilometre dağıtım planlaması kapsamında literatürde sınırlı ölçüde incelenmiştir. Bu çalışma, literatürdeki bu boşluğu Monte Carlo benzetimi kullanarak doldurulmayı amaçlamaktadır. Her bir benzetim tekrarında müşteri teslimat tercihleri Çok Terimli Logit Modeli kullanılarak oluşturulmakta; dağıtım rotaları ise müşteri tercihlerine göre ortaya çıkan teslimat noktaları esas alınarak Değişken Komşuluk Arama algoritmasıyla belirlenmektedir. Deneysel çalışmalarımız, kargo dolabı kullanımının taşıma maliyetlerini ve ihtiyaç duyulan araç sayılarını önemli ölçüde azalttığını; kentsel lojistikte ortalama %14,5 tasarruf sağladığını göstermektedir. Bu sonuçlar, kargo dolabı kullanımına ilişkin literatürde raporlanan avantajların, müşteri teslimat tercihlerindeki belirsizlik ve teşvik ödemeleri dikkate alındığında dahi geçerliliğini koruduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte kırsal bölgelerdeki dağıtım operasyonlarında kargo dolaplarının konumlarının lojistik maliyetleri önemli ölçüde etkilediği gözlenmiştir. Bu durum, yer seçimi kararlarının kargo şirketleri açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Son olarak yapılan duyarlılık analizleri, teslimatların belirli zaman pencereleri içinde yapılması söz konusu olduğunda kargo dolaplarının faydalarının belirgin ölçüde arttığına işaret etmektedir.

363 – Makine Öğrenmesi Tabanlı Hisse Yön Tahmini ve Güven Skorlarına Dayalı Portföy Optimizasyonu: BIST30 Üzerine Bir Uygulama

Beyza Nur Çakır *İstanbul Medeniyet Üniversitesi*
Sena Çiçek *İstanbul Medeniyet Üniversitesi*

Finansal piyasalarda kısa vadeli fiyat hareketlerinin tahmin edilmesi, yüksek gürültü düzeyi ve zamanla değişen piyasa koşulları nedeniyle zorlu bir problem olmaya devam etmektedir. Hisse getirilerinin dinamik, durağan olmayan ve gürültülü yapısının tahmin performansını sınırladığı; bu nedenle makine öğrenmesi modellerinin yalnızca tahmin doğruluğuyla değil, portföy performansı ve risk ölçütleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiği bilinmektedir.

Bu çalışmada BIST30 hisseleri için yalnızca yön tahmini üretmekle yetinilmeyip, modelin hangi koşullarda daha güvenilir sinyal verdiğini ayrıştırmak ve bu güven bilgisini portföy kararlarına yansıtmak amaçlanmaktadır.

Bu amaçla BIST30 endeksindeki her hisse senedi için ayrı bir ikili sınıflandırma modeli kurulmuştur. Hisse bazlı modelleme tercih edilmesinin temel gerekçesi, her hissenin kendine özgü fiyat dinamiklerinin tek bir genel modelde kaybolmasını önlemektir. Sonraki beş günlük getirinin yönünü tahmin etmek üzere tasarlanan modeller, XGBoost Classifier ve ExtraTrees Classifier algoritmalarının olasılık temelli ağırlıklı topluluk modeli yapısına dayanmaktadır. İki algoritmanın farklı öğrenme mekanizmalarını bir araya getirmesi, tekil modellere kıyasla daha dengeli bir tahmin yapısı sunmaktadır.

Veri sızıntısını engellemek amacıyla model değerlendirmesi zaman sıralı doğrulama ile yapılmıştır. Her doğrulama adımında model yalnızca geçmiş veriden öğrenmekte, gelecek dönemler üzerinde test edilmektedir. Bunun yanı sıra çok düşük mutlak getirili gözlemler ekonomik açıdan anlamsız küçük fiyat hareketlerini öğrenmeye çalışan bir modelin ürettiği sinyalin pratikte değeri olmadığı için çıkarılmıştır.

Zaman sıralı doğrulama sonuçlarına göre topluluk modeli, tüm gözlemler üzerinde ortalama %56,29 yön doğruluğu sağlamıştır. Daha dikkat çekici olarak, modelin en yüksek güven skoruna sahip ilk %20'lik tahmin grubunda doğruluk oranı %57,84'e yükselmiş; bazı hisselerde en yüksek güvenli sinyaller için bu oran %67,96'ya ulaşmıştır. Yalnızca alış yönlü ilk %20'lik sinyallerde doğruluk %57,80, her dönem en güçlü beş hisse seçimine dayalı başarı oranı ise %56,96 olarak elde edilmiştir.

Binomial test sonuçları, %10 anlamlılık düzeyinde veri yeterliliği kriterlerini sağlayan 26 hissenin 25'inde topluluk tahminlerinin rastgele sınıflandırma eşiğinin anlamlı biçimde üzerinde kaldığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, modelin her koşulda homojen biçimde yüksek doğruluk üretmediğini; ancak belirli koşullarda güçlü sinyal üretme kapasitesi taşıdığını göstermektedir.

Tahmin çıktıları doğrudan al-sat sinyali olarak kullanılmamış; bunun yerine zaman sıralı doğrulama sürecindeki topluluk modeli doğruluğu, yüksek güvenli sinyal başarısı ve istatistiksel anlamlılık bilgisi birlikte değerlendirilerek hisse bazlı beklenen getiri skorları türetilmiştir. Bu skorlar tarihsel kovaryans matrisiyle birleştirilerek, literatürde XGBoost tabanlı tahmin-portföy entegrasyonu için önerilen yaklaşıma benzer şekilde (Kim, 2021), ortalama-varyans portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiş; model tabanlı maksimum Sharpe oranı portföyü, minimum varyans portföyü ve eşit ağırlıklı karşılaştırma portföyü birlikte incelenmiştir. Portföy sonuçları yalnızca beklenen getiri üzerinden değil, gerçekleşen test dönemi getirisi, yıllık oynaklık, maksimum düşüş ve HHI yoğunlaşma ölçütüyle birlikte değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma, makine öğrenmesi modellerinin finansal piyasalarda her koşulda yüksek doğruluk sağlamasının mümkün olmadığını; ancak güven skorlarıyla desteklenmiş sinyal ayrıştırması yapıldığında anlamlı portföy kararlarına zemin hazırlayabileceğini savunmaktadır. BIST30 özelinde geliştirilen bu bütünleşik yaklaşım, makine öğrenmesini kesin bir tahmin aracı olarak değil, risk-getiri dengesi içinde konumlandırılmış bir karar destek bileşeni olarak ele almaktadır.

365 – Genelleştirilmiş Nash Dengesi Problemlerinde Gizli Konik Kuadratik Gösterimler

Deniz Akkaya *Bilkent Üniversitesi*
Mustafa Ç. Pınar *Bilkent Üniversitesi*

Bu çalışmada, çok yatırımcılı Markowitz portföy modelleri ve stratejik portföy etkinliği oyunlarından esinlenen bir genelleştirilmiş Nash dengesi (GNE) problemi sınıfı incelenmektedir. Bu yapılar, oyuncular arasındaki stratejik etkileşimleri ortak matris kararları üzerinden ifade eden kuadratik matris optimizasyon problemleri olarak modellenmektedir. Ben-Tal ve den Hertog tarafından geliştirilen gizli konik kuadratik gösterim sonuçları genişletilerek, eşzamanlı köşegenleştirilebilirlik varsayımı altında bu matris problemlerinin geniş bir sınıfının çözülebilir konik kuadratik reformülasyonlara dönüştürülebileceği gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar, matris değerli optimizasyon çerçevelerinde denge davranışlarının analizine hem yapısal içgörüler hem de hesaplama açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

366 – Çok Partili Üretime Dayalı Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemi

Tuğçe EFEOĞLU *ASELSAN*

Teknoloji çağında elektronik cihazların üretimi büyük öneme sahiptir. Özellikle savunma sanayinde önemli bir yere sahip olan elektro optik ürünlerin üretimi teknik açıdan hassas üretime sahiptir. İçeriğinde birçok alt bileşen bulunan bu tür cihazlar üretimi esnasında çeşitli aşamalardan geçmektedir. Bunlar; montaj, fonksiyonel test, kalibrasyon testi ve kalite kontroldür. Cihazlarda meydana gelebilecek arıza, kalite sorunları herhangi bir aşamada meydana gelmekte ve sorunun kaynaklandığı alt bileşen değiştirildikten sonra tekrar tüm test aşamalarının baştan tekrar edilmesi gerekmektedir. Bu durum mevcut üretim hattındaki kaynakların kapasitesini zorlamakla birlikte cihazların üretimlerinin zamanında tamamlanması noktasında da probleme sebep olmaktadır.

Bu çalışma, ASELSAN bünyesindeki elektronik cihazların üretim süreçlerini ele almaktadır. Yaklaşımımızda iki aşama bulunmaktadır. İlk aşamada, karma tamsayılı doğrusal matematiksel model geliştirilerek hangi cihazın hangi işlem adımında hangi cihazlarla beraber işlem göreceğine karar veren optimal yaklaşım sunulmaktadır. Bu model, üretim hattından en son çıkan parça/ların tamamlanma süresini en küçükleyerek kaynakların daha dengeli kullanımını sağlamaktadır. Ancak model NP-HARD kompleksitesine sahip olduğu için belirli bir problem boyutu ötesinde makul hesaplama süreleri içinde optimal çözümler bulunamamaktadır. Bu nedenle, probleme özgü ve üretim hattına uygun iki farklı stratejiye sahip sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlar sevkiyat öncelikli ve makine verimliliği dikkate alan yaklaşımlardır. Optimal yaklaşım ile sezgisel yaklaşımlar gerçek hayat verileri kullanılarak test edilmiş, sezgisel yaklaşımların daha kısa sürede makul denebilecek oranda çözümler elde edebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elektro-optik, NP-HARD, Doğrusal Karma Tamsayılı Model

367 – Algoritmik Günah Keçisi: Otonom Karar Sistemlerinde Vaat-Gerçekleşme Boşluğu

Selcen Öztürkcan *Linnaeus Üniversitesi*

Endüstri mühendisliği ve operasyon yönetimi literatürünün merkezinde yer alan pazarlama-operasyon kesişimi, tarihsel olarak kurumsal vaatlerin operasyonel kabiliyetlerle uyumlandırılması sorunsalına odaklanır. Ancak günümüzde üretken yapay zeka teknolojileri bu geleneksel dengeyi radikal bir biçimde dönüştürerek aracı yapay zeka sistemlerini ortaya çıkarmıştır. Bu yeni nesil sistemler, sadece veri işleyen ya da pasif yanıtlar üreten mekanizmalar değildir; belirli hedefler doğrultusunda otonom kararlar alabilen, müşteriyle doğrudan etkileşime giren ve organizasyon adına taahhütlerde bulunan birer ajan olarak görev yaparlar.

Söz konusu otonomi artışı, literatürde klasik vaat-gerçekleşme boşluğu olarak bilinen kavramı yeni bir boyuta taşır. Çünkü artık aynı sistem, hem müşteri odaklı vaatleri üretmekte hem de bu vaatlerin yerine getirilmesini sağlayacak operasyonel koşulları kendisi şekillendirmektedir. Bu çalışma, aracı sistemlerin nasıl otonom bir vaat-gerçekleşme uyumsuzluğu yarattığını ve organizasyonların bu yapısal başarısızlıklar karşısında bir savunma mekanizması olarak geliştirdiği *algoritmik günah keçisi ilan etme* olgusunu derinlemesine incelemeyi hedeflemektedir.

Çalışmanın ampirik temelini, Ocak 2023 ile Nisan 2026 arasındaki geniş bir dönemi kapsayan ve çok platformlu netnografik tasarıma dayanan veriler oluşturur. Araştırma sürecinde tüketici deneyim platformları, profesyonel tartışma ağları, sektör raporları ve düzenleyici kurumların yayınlarından elde edilen 55 kritik veri kaynağı analiz edilmiştir. Nitel verilerin çözümlenmesinde, metodolojik şeffaflık ve akademik derinlik sağlamak amacıyla Gioia metodolojisinden yararlanılmıştır. Veriler çıkarımsal bir yaklaşımla ele alınmış; birinci derece kodlardan başlayarak teorik temalara ve nihayetinde bütüncül boyutlara ulaşan bir kavramsallaştırma süreci işletilmiştir. Bu metodolojik yaklaşım, aracı yapay zekanın güven, hesap verebilirlik ve operasyonel performans üçgeninde yarattığı yapısal dönüşümleri anlamlandırmak için sağlam bir zemin sunar.

Araştırma bulguları, aracı yapay zekanın operasyonel süreçlerde tetiklediği üç temel dönüşüm mekanizmasını gün yüzüne çıkarmaktadır:

- Birincisi, sistemlerin otonom vaat üretme kapasitesi ile bu vaatlerin kurumsal hiyerarşideki karşılığı arasında yapısal bir hesap verebilirlik boşluğu oluşmaktadır.
- İkincisi, insan hatalarının aksine, model düzeyinde kodlanan algoritmik hataların, operasyonel sistemlerde durdurulması güç ve yayılım hızı yüksek zincirleme operasyonel başarısızlıklara yol açmasıdır.
- Üçüncüsü ise güven ve veri arasındaki simbiyotik ilişkidir. Sistemin otonom hataları nedeniyle zedelenen kullanıcı güveni, müşterilerin sisteme daha az veya yanıltıcı veri sağlamasına yol açmakta; bu durum veriye dayalı çalışan sistemin karar yetisini daha da kötüleştirerek bir kısırdöngü yaratmaktadır.

Çalışmanın en özgün katkısı, organizasyonların bu operasyonel krizlerle başa çıkmak için geliştirdiği algoritmik hesap verebilirlikte günah keçisi ilan etme stratejisini kuramsallaştırmasıdır. Analizler, organizasyonların yapısal veya yönetsel hatalardan kaynaklanan başarısızlık faturasını doğrudan algoritmaya keserek kurumsal meşruiyetlerini korumaya çalıştıklarını göstermektedir. Ancak bu yaklaşım, asıl sorunun teknik değil, sistem yönetişimi ve metrik uyumsuzluğu olduğu gerçeğini gölgelemektedir.

Sonuç olarak çalışma, aracı yapay zekâ sistemlerinin yönetimi için sadece verimlilik odaklı değil, operasyonel dürüstlüğü ve hesap verebilirliği merkeze alan yeni bir sistem tasarımı perspektifi önermektedir. Bu bağlamda, şeffaf sorun aktarım mekanizmaları ve vaat doğruluğunu esas alan yeni operasyonel metriklerin geliştirilmesi, endüstri mühendisliği disiplini için öncelikli bir araştırma alanı olarak savunulmaktadır.

368 – Çoklu İHA Destekli Periyodik Gözlem Rotalama Problemi için Küme Kapsama ve Enerji Kısıtlı Rotalama Yaklaşımı

Baran Comart *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*
İslam Altın *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*

Ormanlık alanların düzenli olarak izlenmesi; yangınların erken fark edilmesi, çevresel değişimlerin takip edilmesi ve alan güvenliğinin sağlanması açısından önemli bir operasyonel karar problemidir. Geniş ve ulaşımı zor bölgelerde yalnızca sabit gözetleme kuleleri veya insan gücüne dayalı devriye faaliyetleriyle sürekli ve etkin gözlem yapılması her zaman mümkün olmayabilir. Bu noktada insansız hava araçları (İHA), hareket kabiliyeti ve belirli bölgeleri kısa sürede gözlemleyebilme özellikleriyle destekleyici bir teknoloji olarak değerlendirilebilir. Ancak İHA destekli gözlem faaliyetlerinde hangi noktaların ziyaret edileceği, bu noktaların alanı ne ölçüde kapsadığı, hangi günlerde gözlemleneceği ve enerji kapasitesi sınırlı İHA'ların hangi rotaları izleyeceği birlikte ele alınması gereken optimizasyon kararlarıdır.

Bu çalışmada, Eskişehir ili sınırları içerisinde seçilen gerçek bir ormanlık alan için çoklu İHA destekli periyodik gözlem rotalama problemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, belirlenen alanın kapsanmasını sağlayacak gözlem düğümlerini belirlemek ve bu düğümlerin enerji kısıtı altında belirli ziyaret sıklıklarına göre İHA'lar tarafından periyodik olarak ziyaret edilmesini sağlayan bir rota planı oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. İlk aşamada çalışma alanı poligon biçimde tanımlanmış, metre tabanlı UTM koordinat sistemine dönüştürülmüş ve grid yapısına ayrılmıştır. Drone kamerasının kapsama yarıçapı dikkate alınarak çalışma alanını kapsayacak gözlem düğümlerinin belirlenmesi için Konum Küme Kapsama Problemi (Location Set Covering Problem, LSCP) modeli kullanılmıştır.

İkinci aşamada, LSCP sonucunda elde edilen gözlem düğümleri, enerji kısıtlı çok İHA'lı Periyodik Araç Rotalama Problemi (Periodic Vehicle Routing Problem, PVRP) yapısına aktarılmıştır. Bu aşamada İHA'ların gözetleme kulesinden başlayıp görev sonunda tekrar kuleye dönmesi, her gözlem düğümünün belirlenen ziyaret sıklığı kadar ziyaret edilmesi ve günlük rota mesafelerinin enerji kapasitesini aşmaması dikkate alınmıştır. Küçük ve orta ölçekli örneklerde PVRP matematiksel modeli ile sonuçlar elde edilmiş, problem boyutu büyüdüğünde ise kesin çözüm yaklaşımının hesaplama süresi açısından zorlayıcı hale gelmesi nedeniyle Tavlama Benzetimi metasezgisel algoritması uygulanmıştır.

Çalışmada üç farklı problem ölçeği değerlendirilmiştir. LSCP modeli sonucunda küçük çalışma alanında 10, orta büyüklükteki çalışma alanında 12 ve büyük çalışma alanında 23 gözlem düğümü elde edilmiştir. Küçük problemde 10 gözlem düğümü, 2 İHA, 7 günlük planlama ufku ve 3000 m günlük enerji kapasitesi dikkate alınmış; PVRP modeli ve Tavlama Benzetimi algoritması 36.455 birim toplam enerji tüketimi değerine ulaşmıştır. Orta büyüklükteki problemde ise 12 gözlem düğümü, 3 İHA, 5 günlük planlama ufku ve 3000 m günlük enerji kapasitesi dikkate alınmış; her iki yöntem için de toplam enerji tüketimi 36.541 birim değerine ulaşılmıştır. Bu iki senaryoda Tavlama Benzetimi algoritmasının PVRP modeliyle aynı toplam enerji değerlerine ulaşması, geliştirilen algoritmanın küçük ve orta ölçekli problemler üzerinde tutarlı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Büyük ölçekli problemde LSCP sonucunda 23 gözlem düğümü belirlenmiş ve drone kulesiyle birlikte toplam 24 düğümlü bir yapı oluşturulmuştur. Bu senaryoda 3 İHA, 7 günlük planlama ufku ve İHA başına 5000 m günlük enerji kapasitesi dikkate alınmıştır. Gözlem düğümleri öncelik düzeylerine göre farklı ziyaret sıklıklarıyla planlanmış; ilk 7 düğüm haftalık 5 kez, 8-15 arasındaki düğümler haftalık 6 kez ve 16-23 arasındaki düğümler haftalık 7 kez ziyaret edilecek şekilde tanımlanmıştır. Bu problem için Tavlama Benzetimi algoritması 78.008 birim değerinde uygulanabilir çözüm üretmiştir. Elde edilen çözümde günlük İHA rotaları 5000 m kapasite sınırının altında kalmış ve tanımlanan ziyaret sıklıkları sağlanmıştır.

Tavlama Benzetimi algoritmasında çözüm yapısı, düğümlerin ziyaret desenleri ve günlük İHA rota listeleri üzerinden temsil edilmiştir. Algoritmada Swap, Insert, Reverse, 2-Opt, Or-Opt-2, Or-Opt3, Cross-Day, Pattern Move olmak üzere farklı komşuluk operatörleri kullanılmıştır. Ayrıca kabul mekanizması Metropolis kriterine dayandırılmış, yeniden ısıtma ve çoklu başlangıç yapıları ile arama süreci desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar rota haritaları, günlük enerji kullanım grafikleri, yakınsama analizi, Gantt diyagramı ve KML/Google Earth çıktıları ile görsel olarak da incelenmiştir.

Bu çalışmada, gerçek koordinatlı, bir ormanlık alan üzerinde kapsama ve rotalama kararlarını birlikte ele alan bir karar destek yaklaşımı sunmaktadır. Bulgular, LSCP ile gözlem düğümü seçiminin ve Tavlama Benzetimi destekli PVRP çözümünün, enerji kısıtlı çoklu İHA gözlem operasyonlarının planlamasında kullanılabilir bir yapı sunduğunu göstermektedir. Çalışma, ilerleyen aşamalarda rüzgar, batarya performansı, dinamik yangın riski, çok depolu yapı ve heterojen İHA filosu gibi gerçek operasyonel unsurların, modele eklenmesiyle geliştirilebilir.

Anahtar kelimeler: İnsansız hava aracı, drone rotalama, konum küme kapsama problemi, periyodik araç rotalama problemi, tavlama benzetimi, enerji kısıtlı rotalama.

369 – İş Yükü Dengeleme Tabanlı Operatör Atama Optimizasyonu: Tırsan Treyler Üretim Hattı Pilot Uygulaması

Beyzanur Turna *Samsun Üniversitesi*
Ebru Pekel Özmen *Samsun Üniversitesi*

Bu çalışma, Tırsan Treyler üretim hattındaki iş yükü dengesizliklerini gidermek ve operatör verimliliğini artırmak amacıyla geliştirilen matematiksel bir modelleme yaklaşımını sunmaktadır. Karmaşık üretim süreçlerinde operatörlerin yetkinlikleri ve operasyonların teknik gereklilikleri göz önünde bulundurularak, toplam tamamlanma süresinin (makespan) minimize edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, üretim hattındaki operasyonlar için gerekli minimum operatör sayısı, operatör yetkinlik matrisleri ve operasyonlar arası öncelik ilişkileri dikkate alınarak doğrusal olmayan bir programlama modeli kurulmuştur. Modelde, operatörlerin çalışma süresi kısıtları (2550 dk/hafta) ve bir operatörün aynı anda yalnızca bir operasyonda görev alabilmesi gibi kısıtlar entegre edilmiştir. Geliştirilen model, Python programlama dili ve ilgili optimizasyon kütüphaneleri kullanılarak çözülmüştür. Pilot uygulama sonuçları, iş yükünün operatörler arasında daha dengeli dağıtıldığını ve darboğaz süreçlerdeki atamaların optimize edilmesiyle hattın toplam üretim kapasitesinde artış potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Bu yaklaşım, benzer üretim yapılarına sahip işletmeler için dinamik ve esnek bir iş gücü planlama çerçevesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Operatör Atama, İş Yükü Dengeleme, Tamamlanma Süresi Minimizasyonu, Matematiksel Modelleme, Üretim Hattı.

371 – Kamu Alımlarında Mevzuat ve Uygulama Uyumlaştırılması: Çift Faktörlü Karar Verme (DFDM) Yaklaşımlı Bir Model Önerisi

Kadir Kaan Göncü *Trakya Üniversitesi, Edirne Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu*

Türkiye'de kamu alımları mevzuatı, "Ekonomik Açıdan En Avantajlı Teklif" – "Most Economically Advantageous Tender" (MEAT) yöntemine imkân tanısa da uygulamada ihaleler çoğunlukla "En Düşük Fiyat" odağında sonuçlanmaktadır. İhale komisyonlarının MEAT uygulamasını karmaşık bulması ve yasal sorumluluk kaygıları, nesnel karar destek mekanizmalarına duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bu çalışma ile; literatürde yer alan Çift Faktörlü Karar Verme (Dual-Factor Decision Making – DFDM) metodolojisinin Türk kamu ihale sistemine uyarlanmasına yönelik bir model kurgusu sunulmaktadır.

DFDM yaklaşımı, satın alma kriterlerini "Hijyen" ve "Motivasyon" faktörleri olarak iki temel kategoride ele alır. Bütçe ve yasal uygunluk gibi zorunlu eşikleri temsil eden hijyen faktörlerden herhangi birini sağlamayan adaylar, sistem tarafından doğrudan veto edilerek elenir. Bu mekanizma ile, ihale komisyonlarının en çok çekindiği "asgari şartları sağlamayan tekliflerin değerlendirilmesi" riski tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Diğer taraftan; teknik destek kalitesi, yerli üretim ve performans gibi fark yaratan motivasyon faktörleri ise şeffaf ve puanlamaya dayalı bir sistemle değerlendirilir. Önerilen modelin Avrupa Birliği kamu alım standartlarıyla uyumlu ve en özgün yönü olan "Dinamik katkı" mekanizması ile hijyen faktörlerin belirli bir tolerans (δ) dahilindeki pozitif aşımları, motivasyon puanına matematiksel bir katkı olarak aktarılır. Bu katkının uzmanlar tarafından belirlenecek belirli bir oran ile sınırlandırılması, aşırı düşük teklif riski gibi durumlarda modelin denetlenebilirliğini pekiştirecek bir rol üstlenir.

Tüm kuralların önceden ve matematiksel olarak tanımlandığı bu yaklaşım, optimizasyon ve risk yönetimi prensiplerini kamu hukukunun kısıtlayıcı koşullarıyla bütünleştirmektedir. Bu çalışma; herhangi bir özel yazılım gerektirmeyen (Excel ile uygulanabilir) DFDM modelinin, kamu satın alma sistemindeki mevzuat-uygulama boşluğunu doldurabilecek, şeffaf ve güçlü bir karar destek aracı olma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), Dual-Factor Decision Making (DFDM), Kamu İhalesi, MEAT, Karar Destek Sistemi.

372 – Sezgisel Bulanık SWARA – COPRAS Metodolojisi İle Afet Sonrası Yardım Lojistiğinde Depo Yeri Seçimi

Seminay Yılmaz *Sakarya Üniversitesi*
Serap Ercan Cömert *Sakarya Üniversitesi*

Doğal afetler; can kayıpları, ekonomik zararlar ve toplumsal etkiler bakımından ciddi sonuçlar doğuran olaylar arasında yer almaktadır. Deprem, sel, heyelan ve orman yangını gibi afetlerin ardından acil ihtiyaçların hızla karşılanması büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte yardım malzemelerinin doğru zamanda, doğru bölgelere ve yeterli miktarda ulaştırılması afet lojistiğinin temel amacını oluşturmaktadır. Depo yeri seçimi; maliyet, erişebilirlik, güvenlik, altyapı durumu, çevresel riskler ve operasyonel süreklilik gibi çok sayıda kriterin birlikte değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir karar problemidir. Yanlış konumlandırılmış depolar yardım faaliyetlerinde gecikmelere, kaynakların verimsiz kullanılmasına ve operasyonel aksaklıklara yol açabilmektedir. Bu çalışma, söz konusu problemi Sezgisel Bulanık SWARA ve COPRAS yöntemlerini bütünleştiren sistematik bir karar destek modeli olarak ele almaktadır.

Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kapsamlı bir literatür taraması ile afet yönetiminde depo yeri seçimini etkileyen 25 aday kriter tespit edilmiştir. Karar modelini uygulanabilir bir ölçeğe indirmek amacıyla Pareto analizi uygulanmış; 16 çalışmada kriterlerin tekrar edilme sıklıkları incelenerek toplam atıfların yaklaşık %80'ini oluşturan 14 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; konum, erişebilirlik, güvenlik, çevresel riskler, ulaşım kolaylığı, altyapı durumu, kapasite arttırılabilirliği, bakım kolaylığı, zamanında erişim, maliyet, esneklik, kapalı alan kapasitesi, halk kabulü ve operasyonel sürekliliktir. İkinci aşamada kriter ağırlıkları; afet yönetimi, lojistik, güvenlik, altyapı ve planlama alanlarından beş uzmanın katılımıyla Sezgisel Bulanık SWARA yöntemiyle belirlenmiştir. Uzman görüşleri sezgisel bulanık sayılara dönüştürülmüş ve IFWA operatörü ile birleştirilerek normalize edilmiştir. Ağırlıklandırma sonucunda güvenlik kriteri en yüksek ağırlığı alırken bunu sırasıyla erişebilirlik ve altyapı durumu kriterleri izlemiş; esneklik kriteri en düşük ağırlıkla son sıraya yerleşmiştir. Üçüncü aşamada saha çalışmaları sonucunda belirlenen beş depo alternatifi (D1-D5), lojistik erişim, altyapı yeterliliği, maliyet, güvenlik ve bölgesel risk kriterleri açısından uzmanlar tarafından dilsel ifadelerle değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sezgisel bulanık sayılara dönüştürülmüş; IFWA operatörü ile toplulaştırılmış karar matrisi oluşturulmuş, kriter ağırlıkları uygulanarak fayda ve maliyet kriterleri çerçevesinde Sezgisel Bulanık COPRAS yöntemiyle göreli önem değerleri hesaplanmıştır.

COPRAS analizi sonucunda alternatiflerin nihai sıralaması D4 > D2 > D1 > D3 > D5 biçiminde elde edilmiştir. D4 alternatifi %100 fayda derecesiyle birinci sıraya yerleşmiş; özellikle fayda ve maliyet kriterleri arasındaki denge açısından diğer alternatiflere kıyasla belirgin üstünlük sergilemiştir. D2 ve D1 alternatifleri birbirine yakın değerlerle ikinci ve üçüncü sırada yer alırken D3 ve D5 alternatifleri alt sıralarda kalmıştır. Modelin sağlamlığını sınamak amacıyla dört farklı ağırlıklandırma senaryosuyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Tüm senaryolarda D4 birinci sıradaki yerini korumuştur. Senaryo sonuçları ile orijinal sıralama arasındaki Spearman sıra korelasyon katsayısı ortalama 0,70 olarak hesaplanmış; bu değer modelin farklı koşullar altında tutarlı sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, afet sonrası yardım lojistiğinde depo yeri seçimi problemine yönelik sistematik ve uygulanabilir bir karar destek modeli sunmaktadır. Pareto analizi ile model kapsamı sadeleştirilmiş, Sezgisel Bulanık SWARA ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve Sezgisel Bulanık COPRAS ile alternatifler sıralanmıştır. Elde edilen bulgular, önerilen yaklaşımın afet lojistiği alanında etkin bir karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermekte; aynı zamanda gelecek çalışmalar için literatüre metodolojik bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Afet lojistiği, Depo Yeri Seçimi, Sezgisel Bulanık Küme, SWARA, COPRAS, Çok Kriterli Karar Verme

374 – Smart-Contract Coupling of Financial Decisions under Dynamic Risk

Ayşenur BUDAK *Gebze Technical University*
Burak PAÇ *Gebze Technical University*
İbrahim Sercan SAVCI *Gebze Technical University*

Weather, yield, and credit risks confront smallholder farmers simultaneously and propagate across agricultural seasons, yet the three instruments most commonly recommended for managing them — index insurance, formal savings, and contingent credit — have largely been studied as standalone products. A recent conceptual proposal integrates the three into a bundle deployable on smart-contract infrastructure, but leaves open whether such a bundle yields welfare gains over its components and how those gains depend on the contract logic that automation imposes.

We formalise the bundle as a finite-horizon Markov decision process over twenty agri-cultural seasons. The smallholder chooses insurance coverage, savings flow, contingent borrowing, and input intensity over a state vector tracking liquid wealth, outstanding debt, savings balance, and a three-state weather regime; the period reward is kinked CRRA utility with a subsistence floor, and the Bellman operator carries an always-available strategic- default branch. Smart-contract automation enters not as a transaction-cost reduction but as state-dependent restrictions on the feasible action set — an auto-debt-offset coupling, a savings lockbox, and an input-bundling floor. Six institutional regimes are compared, from insurance-only operation through a fully integrated manual portfolio to blockchain-mediated automation and a centralised-intermediary benchmark designed to isolate the structural value of trustlessness from automation per se. The model is solved by exact backward induction on a 45,000-cell discretised state space and validated through three identities, including a structural equivalence between the blockchain and centralised regimes at matched wedges.

The welfare ordering — each restricted regime dominated by the integrated portfolio, which in turn weakly dominates both automated variants — obtains at baseline and survives a nine- parameter one-factor-at-a-time grid, six joint-perturbation stress bundles, a Turkish wheat calibration anchored to the TARSİM 70% premium-subsidy benchmark, and a 3 × 3 × 3 adoption-friction landscape. The substantive finding concerns the location of the binding design margin. Among automated-regime parameters, the input-bundling tightness moves welfare by an order of magnitude more than the transaction wedge or the counterparty-default probability — the two parameters on which the smart-contract finance literature has concentrated. Under high-risk stress the two automated regimes converge to identical welfare despite a tenfold gap in adoption, because asset dynamics dominate the policy and instrument- level mechanism design binds only conditional on operating outside the poverty-trap regime. Smart-contract bundling parameters thus belong in the contract-design literature alongside the trigger and loading parameters that the field has spent four decades calibrating; wedge and counterparty-trust channels register at design-relevant scale only where the coupling is loose enough that the contract is actually purchased.

Keywords: stochastic dynamic programming; index insurance; smart contracts; agricultural finance; poverty traps; bundled financial instruments.

375 – Analyzing Retail Food Efficiency: A Comparative Analysis of Meat vs. Fruit & Vegetable Departments

Eda Helin YILDIZ *Sabancı Üniversitesi*
Füsun ÜLENGİN *Sabancı Üniversitesi*
Umut AYDIN *İstanbul Ticaret Üniversitesi*
Melis Almula KARADAYI *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Gıda atığı sürdürülebilirlik alanında incelenmesi gereken önemli bir konu olarak ön plana çıkmaktadır. Gıda atığının etkisi sadece ülke bazında değil, perakende, üretim ve ev temelinde de incelenmelidir. Bu çalışma, Türkiye'deki büyük bir perakende zincirinin meyve-sebze ve et reyonları dikkate alınarak, gıda atığıyla nasıl başa çıkabileceği ve sorunun kaynağının ne olduğunu bulmayı hedeflemektedir. Çalışma özelinde incelenen perakende zincirinin İstanbul/Kadıköy bölgesindeki 57 mağazasından veri alınmıştır. Veri seti 2023 yılına ait, 57 mağazadan yaklaşık 20.000 günlük kayıttan oluşmaktadır. Çalışmanın temel amacı, gıda israfında "Yönetici Yeteneği" ile "Çevresel Faktörleri" istatistiksel olarak birbirinden ayırmaktır. Yöntem olarak Stokastik Sınır Analizi kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilme nedeni, hataları "şans/dış etken" ve "verimsizlik/yönetim hatası" olarak ikiye ayırabilmesidir. Satış geliri, işlem sayısı, sevkiyat miktarı ve promosyonlar temel girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır. Et departmanı için dinamik SSA modeli daha uygun çalışırken, meyve-sebze reyonu için statik SSA modeli kullanılmıştır.

Çalışmanın ana çıktıları iki reyon arasındaki temel farkları ortaya koymaktadır. Et departmanındaki gıda atığı sorunu yönetilebilir bir sorun olarak karşımıza çıkarken, meyve-sebze reyonundaki durumun; yönetimden ziyade dış etkenlerden daha fazla etkilenip sistematik bir sorun olduğu saptanmıştır. Et departmanının sonuçlarına göre, israfın %91'i yönetici yeteneğine (verimliliğe) bağlıdır ve yöneticilerin zamanla öğrendiği ve verimliliğin zaman ilerledikçe arttığı tespit edilmiştir. Meyve-Sebze departmanının sonuçlarına göre ise, varyansın %86'sı "gürültü" yani hava durumu ve tedarik şokları gibi dış faktörlerden kaynaklanmaktadır. Belirgin bir öğrenme eğrisi saptanmamıştır. İsraf daha çok mağaza konumu ve altyapı gibi sabit yapısal faktörlere bağlıdır. Her iki departmanın sonuçları da incelendiğinde, et grubu için en başarılı yöneticilerin yöntemlerinin standartlaştırılması ve düşük performanslı yöneticilere eğitim verilmesi önerilebilmektedir. Meyve-sebze grubu içinse özellikle düşük performans gösteren mağazaların denetimlerinin gerçekleştirilmesi, soğuk zincir takibi ve lojistik rotaların iyileştirilmesi gibi sistemsel yatırımlara odaklanılmalıdır. Sonuç olarak, şirket Et reyonunda insan performansına, Meyve-sebze reyonunda sistem altyapısına odaklanarak iki farklı strateji izlemelidir.

376 – Yapay Zekâ Destekli Makine Öğrenmesi Yaklaşımıyla Türkiye'de Güneş Enerjisi Üretim-Tüketiminin Modellenmesi

Bilge Erol *Yıldız Teknik Üniversitesi*

Bu çalışma, Türkiye'de güneş enerjisi üretimi ve tüketimini etkileyen meteorolojik ve zamansal değişkenlerin XGBoost (Extreme Gradient Boosting) algoritması ile modellenmesini konu almaktadır. 2000–2025 dönemini kapsayan aylık zaman serisi verileri üzerinde yürütülen araştırma; EPİAŞ kaynaklı güneş enerjisi üretim ve tüketim değerleri ile mevsimsellik ve trend bileşenlerini temsil eden zamansal değişkenlerden oluşan çok boyutlu bir veri seti kullanmaktadır. Geliştirilen XGBoost modeli, mevsimsel ortalama baseline'ına kıyasla MAE'de %74,4 ve RMSE'de %67,6 iyileşme sağlayarak R^2 = 0,8185 düzeyinde açıklama gücüne ulaşmıştır. Değişken önem analizi, güneş enerjisi üretiminin (%54,5) ve kapasite trendini temsil eden yıl değişkeninin (%29,3) birincil belirleyiciler olduğunu ortaya koymuştur. Bulgular, Türkiye güneş enerjisi sisteminin belirgin bir mevsimsel döngüye sahip olduğunu ve bu döngünün enerji depolama ile talep yönetimi politikalarında kritik önem taşıdığını doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *XGBoost, Güneş Enerjisi Tahmini, Makine Öğrenmesi, Türkiye Enerji Sistemi, EPİAŞ, Zaman Serisi Modelleme*

377 – Değişken Talep Altındaki Hizmet Sistemlerinde Makine Öğrenmesi ve Kesikli Olay Simülasyonunun Entegre Kullanımı: Bir Üniversite Kantini Uygulaması

Mehmet Arif GÖNÜLCÜ *Sakarya Üniversitesi*
Emre DOĞAN *Sakarya Üniversitesi*
Sena KIR *Sakarya Üniversitesi*

Üniversite kantinlerinde müşteri talebinin gün içindeki değişken yapısı, kapasite planlamasını zorlaştırmakta ve sabit personel uygulamalarının hizmet performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında Sakarya Üniversitesi Kongre Merkezi kantininde 08.00-17.00 saatleri arasında kaydedilen saatlik müşteri sayıları ile hava durumu, hafta türü, hafta numarası, ay, mevsim, etkinlik durumu ve Ramazan ayı gibi talebi etkileyen değişkenlerden yararlanılarak bir talep tahmin modeli geliştirilmiştir. Denetimli öğrenme kapsamında ele alınan regresyon problemi için veri ön işleme işlemleri gerçekleştirilmiş, veri seti eğitim ve test kümelerine ayrılmış ve XGBoost, Random Forest, Extra Trees ve Yapay Sinir Ağları modelleri oluşturulmuştur. Modeller çapraz doğrulama ile R^2, MAE ve MAPE ölçütleri üzerinden değerlendirilmiş, elde edilen talep tahminleri kesikli olay simülasyonu modeline entegre edilerek dinamik kapasite planlamasına yönelik bir karar destek yaklaşımı geliştirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda XGBoost modeli; 0,766 R^2, 13,91 MAE ve %24,11 MAPE değerleri ile değişken talebi en doğru şekilde temsil eden model olarak öne çıkmıştır. Diğer modellerden Random Forest, Extra Trees ve Yapay Sinir Ağları başarılı sonuçlar üretse de hata oranlarının XGBoost'a kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sadece tahmin başarısıyla yetinilmeyip, en yüksek performansı sergileyen XGBoost modelinin kara kutu doğasını şeffaflaştırmak ve elde edilen sonuçların teorik beklentilerle uyumunu denetlemek için açıklanabilir yapay zekâ tekniklerine başvurulmuştur. Bu doğrultuda gerçekleştirilen SHAP ve LIME analizleri sonucunda; kantin yoğunluğunu belirleyen en kritik özniteliklerin Ramazan ayı ve günün saati olduğu saptanmıştır. Bu durum, talebin tesadüfi olmadığını, aksine kurumsal takvim ve çevresel faktörlerle yüksek korelasyona sahip olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca LIME analizleri ile modelin yerel düzeydeki (saatlik bazda) karar verme süreçlerinin tutarlılığı teyit edilmiştir.

Hem yüksek istatistiksel başarıya hem de mantıksal açıklanabilirliğe sahip olması nedeniyle, simülasyon modeline dinamik veri girdisi sağlayacak ana tahminleyici olarak XGBoost algoritması nihai model olarak seçilmiştir. Makine öğrenmesi modeli ile tahmin edilen saatlik toplam müşteri talebi, simülasyon modelinde müşteriler arası geliş sürelerine dönüştürülerek temsil edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, XGBoost modeliyle elde edilen saatlik talep tahminleri, kantin operasyonlarının dinamik bir ortamda analiz edilmesi amacıyla kesikli olay simülasyonuna girdi olarak aktarılmıştır. Tahmin edilen müşteri yoğunlukları doğrultusunda ProModel ortamında oluşturulan simülasyon modellerinde, gelişler arası süreler ve servis sürelerine ilişkin uygun dağılımlar, gerçek sistem verileri üzerinde gerçekleştirilen uygunluk analizleri sonucunda belirlenmiştir. Analizler sonucunda her iki süreçteki rastlantısal değişkenliğin üstel dağılım ile uygun bir şekilde temsil edildiği görülmüş ve simülasyon modeli bu doğrultuda yapılandırılmıştır. Böylece sistemin gerçek işletme koşullarına benzer şekilde davranması amaçlanmıştır.

Mevcut durum analizinde, kantinde gün boyunca sabit personel yapısıyla çalışılmasının, özellikle ders çıkışlarının çakıştığı yoğun saatlerde yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen simülasyon modeli üzerinde farklı personel senaryoları değerlendirilmiş ve temel performans kriteri olarak ortalama müşteri bekleme süresinin bir dakikanın altında tutulması hedeflenmiştir. Senaryolar; ortalama bekleme süresi ve sistem yoğunluğu göstergeleri üzerinden analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, müşteri gelişler arası ortalama sürenin üstel dağılıma bağlı olarak 65 saniyenin altına düştüğü zaman dilimlerinde sistemin iki personelli yapıya geçmesi gerektiğini göstermiştir. Analiz edilen hafta boyunca günler arasında belirgin talep farklılıkları gözlenmiştir. İncelenen dönemde pazartesi gününe ait verilerde özellikle 09.00-11.00 saatleri arasında sistem kapasitesinin sınırlarına ulaşıldığı, salı ve perşembe günlerinde ise gözlenen yüksek talep nedeniyle 08.00-16.00 saatleri arasında iki personel kullanımının gerekli olduğu belirlenmiştir. Aynı hafta içerisinde çarşamba günü 12.00-14.00 saatleri arasında talepte gözlenen düşüş sayesinde tek personelin hedeflenen performans düzeyini sağlayabildiği, cuma

günü ise saat 11.00'den itibaren tek personelin gün sonuna kadar yeterli olduğu görülmüştür. Bu bulgular, talep yapısının günler ve saatler arasında değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymakta olup, sabit bir personel planı yerine gözlenen talep yoğunluğuna uyum sağlayabilen dinamik bir personel planlama yaklaşımının daha uygun olabileceğine işaret etmektedir.

Elde edilen sonuçlar, gün boyunca sabit personel sayısıyla çalışmanın talep dalgalanmalarının yaşandığı hizmet sistemlerinde etkin bir yaklaşım olmadığını göstermektedir. Düşük talep dönemlerinde kapasitenin atıl kalması, yüksek talep dönemlerinde ise hizmet performansının düşmesi nedeniyle personel kapasitesinin talep değişimlerine göre dinamik olarak planlanmasının müşteri bekleme sürelerini azaltırken kaynak kullanımını iyileştirdiği belirlenmiştir. Bulgular, makine öğrenmesi tabanlı talep tahmini ile kesikli olay simülasyonunun birlikte kullanılmasının kapasite planlama kararlarını destekleyen etkili bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir. Bu çalışma, üniversite kantinleri gibi talep yapısının zamana bağlı olarak değişkenlik gösterdiği hizmet ortamlarında veri odaklı personel planlamasının uygulanabilirliğini ortaya koymakta ve gerçek zamanlı kapasite yönetimi uygulamalarına yönelik bir temel sağlamaktadır.

379 – Yeşil Enerjiye Geçişte Toplu Taşıma Filoları için Elektrikli ve Hidrojenli Araç Şarj ve Dolum İstasyonu Yer Seçiminin Planlanması

Zehra Köse *Yıldız Teknik Üniversitesi*
İlayda Ceran *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Dilara Bektaş *Yıldız Teknik Üniversitesi*

İklim değişikliği, fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının yaygınlaştırılması, toplu taşıma sistemlerinde düşük karbonlu teknolojilere geçişi zorunlu hale getirmiştir. Bu dönüşüm sürecinde bataryalı elektrikli otobüsler ve hidrojen yakıt hücreli otobüsler, çevresel etkileri azaltma potansiyelleri nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte bu iki teknolojinin enerji tüketimi, yatırım maliyeti, işletme maliyeti, menzil, şarj veya yakıt dolum süresi ile altyapı gereksinimleri bakımından önemli farklılıkları bulunmaktadır. Dolayısıyla toplu taşıma filolarının alternatif yakıtlı araçlara dönüştürülmesi sürecinde yalnızca araç teknolojisinin belirlenmesi yeterli olmayıp, şarj ve yakıt dolum istasyonlarının uygun konumlara yerleştirilmesi, istasyon kapasitelerinin belirlenmesi ve hatların uygun yakıt türüne atanması gibi stratejik kararların bütünleşik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatürde elektrikli veya hidrojenli araçlara yönelik istasyon yer seçimi problemleri üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, toplu taşıma sistemleri özelinde her iki teknolojiyi aynı karar mekanizması içerisinde ele alan, yakıt türü seçimi, istasyon yer seçimi, kapasite planlaması ve hat atamasını eş zamanlı optimize eden çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, alternatif yakıtlı toplu taşıma sistemlerinin planlanmasına yönelik çok amaçlı bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Önerilen model, karma tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuş olup bataryalı elektrikli ve hidrojen yakıt hücreli otobüs teknolojilerini aynı optimizasyon çatısı altında değerlendirmektedir. Model kapsamında her otobüs hattı için uygun yakıt türünün belirlenmesi, hatların uygun istasyonlara atanması, aday istasyon noktaları arasından kurulacak istasyonların seçilmesi ve gerekli şarj soketi veya hidrojen pompası kapasitelerinin belirlenmesi eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Böylece altyapı yatırımları ile operasyonel kararlar birbirinden bağımsız değil, birbirini etkileyen kararlar olarak ele alınmaktadır.

Çalışmada amaç fonksiyonu; toplam yatırım ve işletme maliyetini, karbon emisyonlarını ve araçların istasyonlara erişim mesafelerini aynı anda en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Farklı ölçeklerdeki bu üç performans kriterinin karar sürecine dengeli şekilde yansıtılabilmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılmıştır. Enerji, ulaşım ve şarj altyapısı alanlarında uzman üç karar vericiden alınan ikili karşılaştırmalar doğrultusunda kriter ağırlıkları hesaplanmış, tutarlılık analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen ağırlıklar optimizasyon modelinin amaç fonksiyonuna entegre edilmiştir. Böylece yalnızca matematiksel açıdan en uygun çözüm değil, aynı zamanda uzman değerlendirmelerini de yansıtan gerçekçi bir karar mekanizması oluşturulmuştur.

Modelin uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla İstanbul İETT'ye ait gerçek operasyonel veriler kullanılmıştır. Analiz kapsamında 434 otobüs hattına ilişkin araç sayıları, günlük sefer sayıları, hat uzunlukları ile başlangıç ve bitiş koordinatları modele dahil edilmiştir. Bunun yanında elektrikli ve hidrojenli otobüslerin menzil, enerji tüketimi, karbon emisyonu, şarj ve yakıt dolum süreleri, yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri literatür ve sektörel kaynaklardan elde edilerek modele entegre edilmiştir. Veri ön işleme sürecinde eksik ve yinelenen kayıtlar temizlenmiş, aday istasyon noktaları hatların başlangıç ve bitiş durakları esas alınarak oluşturulmuş ve erişim mesafeleri Haversine yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Geliştirilen büyük ölçekli optimizasyon modeli yaklaşık 216 bin kısıt ve 215 bin karar değişkeninden oluşmaktadır. Model Python programlama dili kullanılarak geliştirilmiş ve Gurobi çözücüsü ile çözülmüştür. Yaklaşık 45 saniyede optimal çözüme ulaşılmış olması, önerilen yaklaşımın büyük ölçekli gerçek yaşam problemlerinde uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Optimizasyon sonuçlarına göre incelenen 434 hattın 181'i bataryalı elektrikli otobüslere, 253'ü ise hidrojen yakıt hücreli otobüslere atanmıştır. İstanbul genelinde toplam 30 istasyon kurulması önerilmiş olup bunların 10'u yalnızca elektrikli şarj istasyonu, 15'i yalnızca hidrojen dolum istasyonu ve 5'i her iki teknolojiyi birlikte barındıran hibrit istasyon olarak belirlenmiştir. Toplamda 82 elektrikli şarj soketi ve 20 hidrojen dolum pompası kurulması

gerektiği hesaplanmıştır. Sonuçlar, elektrikli otobüslerin düşük enerji maliyetleri sayesinde ekonomik açıdan avantaj sağladığını; hidrojen yakıt hücreli otobüslerin ise düşük karbon emisyonları ve kısa yakıt dolum süreleri sayesinde özellikle yoğun işletme gerektiren ve günlük kullanım mesafesi yüksek hatlarda daha uygun bir alternatif oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca model, istasyonların kapasite kullanım oranlarını ortaya koyarak gelecekte altyapı genişletmesi gerektirebilecek kritik bölgelerin belirlenmesine de olanak sağlamaktadır. Hatların yarısından fazlasının doğrudan terminal noktalarında bulunan istasyonlara atanması sayesinde erişim mesafelerinin önemli ölçüde azaltıldığı görülmüştür.

Sonuç olarak geliştirilen model; yakıt türü seçimi, istasyon yer seçimi, hat-istasyon ataması ve kapasite planlamasını tek bir optimizasyon modeli altında bütünleştirerek literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Çalışma, alternatif yakıt teknolojilerinin ekonomik, çevresel ve operasyonel etkilerini aynı karar mekanizması içerisinde değerlendiren bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Elde edilen bulgular, toplu taşıma filolarının sürdürülebilir dönüşüm süreçlerinde kamu kurumları ve yerel yönetimler için stratejik karar desteği sağlayabilecek niteliktedir. Gelecek çalışmalarda modele trafik yoğunluğu, mevsimsel talep değişimleri, şarj ve yakıt dolum istasyonlarında oluşabilecek kuyruk yapıları ile gerçek zamanlı operasyonel verilerin dahil edilmesiyle daha dinamik ve uygulanabilir planlama modelleri geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

380 – Tahmin Adaleti ile Karar Adaletinin Ayrıştırılması: Kredi Tahsis Kararları Üzerine Bir İnceleme

Elif Ersoy *Özyeğin Üniversitesi*
Enis Kayış *Özyeğin Üniversitesi*

Tahmin adaleti ile karar adaleti kavramları literatürde sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da bu çalışma söz konusu iki kavramı birbirinden net bir şekilde ayırmaktadır. Çalışmada, kredi tahsis süreçlerine yönelik bir "tahmin et, sonra optimize et" (predict-then-optimize) çerçevesi kapsamında dört farklı model varyantı önerilmektedir: kısıtlanmamış (UC), tahmin adaleti duyarlı (PF), karar adaleti duyarlı (DF) ve kombine model (PDF). Tahmin adaleti üzerine tanımlanmış mevcut metriklerle tutarlı olması adına, kuralcı (prescriptive) aşamaya ayrıştırma tabanlı (separation-based) bir adalet metriği uyarlanmıştır. Altı farklı gerçek dünya veri kümesinin kullanıldığı analizlerde, adaletli tahminlerin her zaman otomatik olarak adaletli kararlara yol açıp açmadığı incelenmiş ve her bir müdahalenin ekonomik maliyeti ölçülmüştür. Elde edilen bulgular teknik bir uyumsuzluğu ortaya koymaktadır: Adaletli tahminler, her durumda adaletli kararları garanti etmemektedir. Özellikle başlangıçtaki hassas gruplar arası eşitsizliğin yüksek olduğu veri kümelerinde, katı bir tahmin adaleti uygulamasının karar adaletinden ödün verilmesine neden olabildiği saptanmıştır. Müdahalelerin ekonomik etkileri de önemli ölçüde farklılık göstermektedir: Eşitsizlikte 0,10 birimlik bir azalma sağlanması durumunda kâr oranı PF modelinde ortalama yaklaşık %3 azalırken, DF modelinde yalnızca %0,7 oranında azalmaktadır. Bu sonuç, PF modelini DF modeline kıyasla yaklaşık dört kat daha maliyetli kılmaktadır. Eşitsizliğin tamamen ortadan kaldırılması durumunda ise PF modelinde ortalama %6,7, DF modelinde ise %3 oranında kayıp oluşabilmektedir. Bu farkın temel nedeni, DF modelinin seçici bir şekilde hedef fonksiyonuna uygun, düşük maliyetli karar değişikliklerini hedeflemesi, PF modelinin ise tüm girdiler için olasılık dağılımını yeniden ayarlamasıdır. Son olarak, bu optimizasyon tabanlı politikaların, yeni başvurular için gerekli olan basit karar kuralları aracılığıyla etkili bir şekilde yaklaştırılabileceği (approximate) gösterilmektedir.

381 – Online Yemek Teslimat Platformlarında Faaliyet Gösteren Bulut Mutfaklar ve Benzeri İşletmeler İçin Veri Odaklı Dinamik İndirim Optimizasyonuna Yönelik Pekiştirmeli Öğrenme Çerçevesi

Oytun Sabri Avunduk *Özyeğin Üniversitesi*
Erinç Albey *Özyeğin Üniversitesi*
Mehmet Önal *Özyeğin Üniversitesi*

Bu çalışma, online yemek teslimat platformlarında faaliyet gösteren bulut mutfaklar ve benzeri işletmeler için, denetimli öğrenme ile pekiştirmeli öğrenmeyi birleştiren hibrit bir mimari kullanarak veri odaklı bir dinamik indirim optimizasyonu çerçevesi önermektedir. Çalışmanın temel amacı, talep oluşturma ile kârlılık arasındaki dengeyi sağlamak amacıyla restoran şubeleri için saatlik optimal indirim seviyelerini belirlemektir.

Sistem; (i) tahmine dayalı çevre modeli, (ii) karar verme ajanı ve (iii) ödül değerlendirme mekanizmasından oluşan üç katmanlı bir mimari olarak tasarlanmıştır. Çevre modeli, LightGBM tabanlı iki aşamalı bir talep tahmin yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Bu yaklaşım, talep tahminini iki bileşene ayırmaktadır: herhangi bir sipariş alma olasılığı ve talebin gerçekleşmesi durumunda beklenen sipariş sayısı. Ayrıca sistematik tahmin hatalarını düzeltmek amacıyla ek artık (residual) öğrenme yöntemi uygulanmıştır. Kâr modeli ise hem pozitif hem de negatif değerleri ele alabilmek için işaretli logaritmik dönüşüm kullanılarak oluşturulmuştur.

Bu çevre modeli üzerine, optimal indirim ayarlama politikalarını öğrenmek amacıyla bir Deep Q-Network (DQN) ajanı eğitilmiştir. Ajan; indirim seviyelerindeki artışsal değişimleri temsil eden ayrık bir aksiyon uzayında çalışmakta ve günün saati, haftanın günü gibi zamansal özelliklerin yanı sıra şube kimlikleri, geçmiş siparişler, kâr ve hareketli ortalamalar gibi operasyonel metriklerden oluşan bir durum uzayını gözlemlemektedir. Ödül fonksiyonu, ekonomik ödünleşimleri yansıtacak şekilde dikkatlice tasarlanmış; aşırı indirim uygulamalarını cezalandırırken talep oluşturma ve kâr verimliliğini teşvik edecek biçimde yapılandırılmıştır. Ayrıca geçmiş manuel indirim stratejileriyle performans karşılaştırması yapabilmek amacıyla benchmark tabanlı düzeltmeler de sisteme dahil edilmiştir.

Model, birden fazla restoran şubesinden elde edilen gerçek dünya saatlik işlem verileri kullanılarak eğitilmiş ve değerlendirilmiştir. Genelleme kabiliyetini ölçmek amacıyla hem tek şube hem de şubeler arası doğrulama stratejileri uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen çerçevenin tarihsel kararlarla düşük sapma oranı (%3–5 hata) gösteren, kararlı ve gerçekçi indirim politikaları öğrenebildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, çevre modelinin tahmin doğruluğunun sistem performansını sınırlayan temel unsur olduğu gözlemlenmiştir.

Bu sınırlamalara rağmen çalışma, makine öğrenmesi tabanlı simülasyon ortamlarının operasyonel karar optimizasyonu amacıyla pekiştirmeli öğrenme ile entegre edilmesinin uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bulgular, pekiştirmeli öğrenme sistemlerinde çevre modeli kalitesinin kritik rolünü vurgulamakta ve gelişmiş talep modelleme yöntemleri, daha zengin özellik mühendisliği çalışmaları ve daha uzun eğitim süreçleri gibi gelecekteki iyileştirmeler için bir temel sunmaktadır.

Bu çalışma, veri odaklı fiyatlandırma ve promosyon stratejileri alanındaki literatüre; online yemek teslimat platformlarında faaliyet gösteren bulut mutfaklar ve benzeri işletmelere uygulanabilir, ölçeklenebilir ve modüler bir çerçeve sunarak katkıda bulunmaktadır.

382 – Hidrojen Enerjisi Santrali Yer Seçimi Problemlerinde Kullanılan Model Yaklaşımlarının İncelenmesi ve Bir Optimizasyon Çerçevesi Önerisi

Bahar Asiye Tokum *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*
Metehan Atay *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*

Günümüzde dünya genelinde iklim değişikliği ile mücadele kapsamında karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik yeşil enerji odaklı çalışmalar yapılmakta, ülkeler tarafından çeşitli politikalar geliştirilmektedir. Bu politikalar doğrultusunda hidrojen enerjisi sürdürülebilir enerji sistemleri için önemli bir bileşen haline gelmiştir. Hidrojen ekonomisine geçiş noktasında en kritik kararlardan biri hidrojen enerjisi tesislerinin konumlandırılacağı bölgelerin seçimidir. Bu çalışma Türkiye'de gelecekte kurulabilecek hidrojen enerjisi santralleri için en uygun konumların belirlenebilmesi amacıyla literatürdeki çalışmaları, hidrojen üretim santrallerinin yer seçimi kriterlerini ve kısıtlarını, yöntemsel ve tekniksel farklılıkları sistematik şekilde inceleyerek bir ön çalışma niteliği göstermeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında ilk olarak bu konuya detaylı bir literatür taraması yapılacak, hidrojen enerjisi tesisi için gerekli girdiler ve yer seçimi için en uygun yaklaşımlar belirlenecektir. Yapılması planlanan çalışma Türkiye özelinde potansiyel tesislerin konumlandırılmasına yönelik yapılacak optimizasyon tabanlı model için bir çerçeve ve temel oluşturacaktır. Çalışma, hidrojen üretim tesisi kurulumu ve yer seçimi için gerekli teknik, politik ve ekonomik kriter ve sınırlar belirlenip sınıflandırılarak gelecekteki optimizasyon tabanlı matematiksel modelleme çalışması için kapsamlı bir çerçeve sunacaktır. Çalışmanın hidrojen enerjisi yatırımları için karar süreçlerine katkıda bulunması ve yeşil enerji alanında yapılacak optimizasyon temelli çalışmalar için bir temel sunması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil enerji, Hidrojen enerjisi tesisi, Tesis yer seçimi, Optimizasyon

383 – Şehir İçi Kargo Dağıtımında Elektrikli Araç Dönüşümü ve Şarj İstasyonu Entegreli Rota Optimizasyonu: Dizel Filo ile Karşılaştırmalı Bir Ön Çalışma

Mislina Şahin *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*
Metehan Atay *Hasan Kalyoncu Üniversitesi*

Günümüzde hızla artan e-ticaret hacmi ve şehir içi lojistik faaliyetleri, kargo dağıtım operasyonlarında karbon emisyonlarının ve operasyonel maliyetlerin azaltılması gerekliliğini artırmaktadır. Bu bağlamda, "Yeşil Lojistik" uygulamaları kapsamında geleneksel içten yanmalı motorlu (dizel vb.) araç filolarının elektrikli araç (EA) filolarına dönüştürülmesi kritik bir sürdürülebilirlik adımı olmaktadır. Yapılması beklenen bu dönüşüm; şarj istasyonlarının konumları, araçların sınırlı batarya kapasiteleri ve şarj süreleri gibi yeni kısıtlarıda beraberinde getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, kargo dağıtım ağlarında tamamen elektrikli bir filoya geçiş senaryosunun, mevcut dizel araç filosu ile operasyonel ve çevresel maliyetler açısından karşılaştırmalı bir analizini sunmak üzere bir ön hazırlık ve kavramsal çerçeve oluşturmaktır. Çalışma kapsamında öncelikle Elektrikli Araç Rotalama Problemi üzerine detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilerek, şarj istasyonu konumlandırma ve rota optimizasyonunun eş zamanlı veya sıralı olarak nasıl ele alındığı incelemektir. Yapılması planlanan çalışmanın temelini, araçların ana depodan çıkarak müşteri taleplerini karşılaması, rotasyon esnasında şarj seviyeleri kritik eşiğe ulaştığında en uygun şarj istasyonuna yönlendirilmesi ve toplam gidilen mesafe ile enerji maliyetinin minimize edilmesi oluşturmaktadır.Elde edilmesi beklenen bulgular, elektrikli filoların ilk yatırım ve şarj sürelerinden kaynaklanan dezavantajlarının, rotalama optimizasyonu ve düşük enerji birim maliyetleri ile geleneksel dizel araçlara kıyasla uzun vadede nasıl bir avantaj sağlayacağına dair bir öneri olarak sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Lojistik, Elektrikli Araç Rotalama Problemi, Şarj İstasyonu Entegrasyonu, Maliyet Analizi, Filo Dönüşümü.

384 – İstanbul'da Trafik Hızının Sensör Tabanlı Uzamsal-Zamansal Tahmini: Zaman Serisi ve Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırmalı Analizi

Emir Can İpsalalı *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Mert Edalı *Yıldız Teknik Üniversitesi*

İstanbul gibi yüksek trafik yoğunluğuna, heterojen yol ağı yapısına ve gün içinde ani hız değişimlerine sahip metropollerde trafik hızının kısa vadeli tahmin edilmesi, trafik yönetimi, yol ağı performansının izlenmesi ve operasyonel karar destek süreçleri için önemli bir konudur. Trafik akışı yalnızca geçmiş zamansal değerlerle açıklanamamakta; komşu yol kesimlerinden gelen gecikmeli etkiler, günlük döngüler, zirve saat davranışları ve bölgesel yoğunluk farklılıkları trafik tahmin performansı üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu çalışmada sensör tabanlı uzamsal-zamansal trafik hızlarını tahmin etmek için karşılaştırmalı bir modelleme çerçevesi geliştirilmiştir. Saatlik trafik verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin açık veri portalından alınmıştır. Ekim 2024 tarihine ait İstanbul'un saatlik trafik verileri incelenerek İstanbul'un merkezi noktalarından birisi hedef sensör olarak seçilmiştir. Bununla birlikte, hedef sensörün kuzey, güney, doğu, batı ve ara yönlerdeki sekiz komşusu doğrudan uzamsal dışsal değişkenler olarak tanımlanmıştır. Hedef sensörün geçmiş hız değerleri otoregresif gecikmeler olarak, diğer sekiz komşu sensörün geçmiş hız değerleri uzamsal gecikmeler olarak modele dahil edilmiştir. Analiz kapsamında doğrusal regresyon, SARIMA, karar ağacı, rastsal ormanlar ve XGBoost modelleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş; zaman serisi yapısına uygun olarak 1–24 Ekim dönemi eğitim, 25–31 Ekim dönemi test seti olarak ayrılmıştır. Bulgulara göre rastsal ormanlar modeli, hedef sensörde beş saatlik ve komşu sensörlerde dört saatlik gecikme bilgisini kullanan yapı ile 3,3142 km/s RMSE (Root Mean Squared Error) değerine ulaşarak mutlak tahmin hatası açısından en başarılı model olmuştur. XGBoost modeli 3,3418 km/s RMSE değeriyle rastsal ormanlara oldukça yakın performans göstermiştir. SARIMA(2,0,3)(0,1,1)[24] modeli ise 7,6168 MAPE (Mean Absolute Percentage Error) değeriyle oransal hata metriğinde en iyi sonucu üretmiş ve İstanbul trafik hızında 24 saatlik günlük mevsimselliğin güçlü etkisini ortaya koymuştur. Sonuçlar, İstanbul'daki trafik hızının hem güçlü zamansal mevsimsellik hem de komşu sensörlerden gelen doğrusal olmayan uzamsal-zamansal bağımlılıklar tarafından şekillendiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: makine öğrenmesi, trafik tahmini, zaman serileri, uzamsal-zamansal veri, rastsal ormanlar, XGBoost, SARIMA, doğrusal regresyon.

385 – Büyük Dil Modelleri Risk Alır Mı? Yapay Zekâ Finansal Karar Desteğinde Yanlılık ve Risk Tercihleri

Mehmet Can Yıldırım *Özyeğin Üniversitesi*
Enis Kayış *Özyeğin Üniversitesi*

Çok sayıda veri ile eğitilerek, insan üretimi benzeri metin üretme ve anlama yetkinliğine sahip yapay zekâ araçları olan Büyük Dil Modelleri (LLM), günümüzde birçok alanda karar destek mekanizması olarak kullanılmaktadır. Özellikle finans, sağlık gibi hata toleransının düşük olduğu alanlarda bu modellerin kullanımı beraberinde eğitildikleri metinlerde var olan toplumsal eşitsizlikleri ve önyargıları ürettikleri değerlere yansıtmaktadırlar. Dolayısıyla finansal yatırım tavsiyesi istendiğinde cinsiyet, yaş, evlilik durumu vb. gibi demografik özelliklerde bazı gruplar için yanlı tercihler sunarak dezavantaja yol açabilmektedir. Bu sebeple, LLM'lerin karar destek mekanizması olarak kullanımında yanlılığının anlaşılması oldukça kritiktir. Bu çalışmada, (i) LLM'lerin finansal tavsiye oluşturma sürecinde sergiledikleri risk alma davranışları ölçülerek demografik özelliklere dayalı önyargıların incelenmesi, (ii) model büyüklüklerinin bu önyargılar üzerindeki etkisinin kıyaslanması, (iii) modellere verilen komutlardaki (promptlardaki) bu özelliklerin sırasının önyargıya etkisinin incelenerek modelin dayanıklılığının/kırılganlığının değerlendirilmesi ve (iv) modellerin rastgeleliğini belirleyen sıcaklık (temperature) parametresindeki değişimin önyargıya etkisinin analizi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında, finansal risk ile bağlantılı temel demografik özellikler (cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim seviyesi, girişimcilik ve gelir seviyesi) kullanılarak çeşitli persona profilleri oluşturulmuştur. Büyük dil modellerinin persona profillerine göre farklılaşan finansal yatırım tercihlerini analiz etmek amacıyla tasarlanan karar mekanizmasında, (A) kripto varlıkları kapsayan yüksek riskli ve (B) altın yatırımı içeren düşük riskli portföy olmak üzere iki seçenek sunulmuştur. Çalışmada model boyutu ve sıcaklık (rastgelelik) etkilerini analiz etmek amacıyla; Büyük Ölçekli (GPT OSS:120B, t=1), Standart (GPT OSS:20B, t=1) ve Düşük Sıcaklıklı (GPT OSS:20B, t=0.5) olmak üzere üç temel konfigürasyon tanımlanmıştır. Çalışmada ilk olarak Büyük Ölçekli ile Standart kıyaslanarak model boyutunun algoritmik önyargılara etkisi değerlendirilmiş; ardından Standart ile Düşük Sıcaklıklı model karşılaştırılarak sıcaklık parametresinin yatırım tercihlerindeki önyargıya etkisi analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen bu analizlerde ortaya çıkan önyargı düzeylerinin istatistiksel değerlendirmesi için İstatistiksel Parite Farkı (Statistical Parity Difference, SPD) ölçüm metriğinden yararlanılmıştır. Ek olarak, komutlardaki demografik özelliklerin metin içindeki sunuluş sırasının, modellerin yüksek riskli yatırım tercihine yönelmesindeki yapısal rolü detaylı bir biçimde incelenmiştir. Sonuçlar, üç model konfigürasyonunda da yaş, gelir seviyesi, girişimcilik ve cinsiyet demografik özelliklerinde istatistiksel açıdan anlamlı önyargılar olduğunu göstermektedir. Büyük Ölçekli Modelde, bu özelliklere ek olarak medeni durum ve eğitim seviyesinde de belirgin önyargılar görülmüştür. SPD metrik bulgularına göre model boyutunun artması (20B'den 120B'ye), cinsiyet, yaş ve girişimcilik önyargılarını düşürürken, eğitim ve gelir önyargılarını artırmış; aynı zamanda riskli seçenek tavsiye etme oranını genel olarak azaltmıştır. Öte yandan, sıcaklık parametresinin 1'den 0.5'e çekilerek model rastgeleliğinin azaltılması hem riskli tercih sunma eğilimini hem de yaş ve gelir seviyesi özelliklerindeki önyargıyı istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırmıştır. Modellerin komut içi sıralamaya karşı kırılganlığı incelendiğinde, demografik özelliklerin sunuluş sırasının riskli tercih kararını doğrudan etkilediği saptanmıştır. Sonuç olarak LLM'ler, demografik özelliklere göre farklı yatırım riskleri önererek eğitim verilerindeki önyargıları kararlarına yansıtmaktadır. Bu durum, LLM'lerin finans gibi hassas sektörlerde çok daha dikkatli ve regüle edilmiş bir çerçevede kullanılmasını gerektirmektedir.

386 – Talep ve Randıman Belirsizliği Altında Veri Odaklı Tek Dönemli Envanter Problemi için Karar Analitiği

Cihan Arslanargın *Koç Üniversitesi*
Fikri Karaesmen *Koç Üniversitesi*

Pek çok üretim ortamında, üretim ve tedarik sürecindeki belirsizlik nedeniyle planlanan ürün sayısı ile elde edilen kaliteli ürün miktarı birbirinden farklıdır. Yarı-iletken endüstrisi, ilaç sektörü ve hassas elektronik üretiminde karar vericiler talep belirsizliğiyle beraber randıman (yield) belirsizliğiyle de karşı karşıyadır. Bu tür üretim ortamlarında randıman oranı gözlemlenebilir süreç özniteliklerine (sensör verileri, makine parametreleri vb.) bağlıdır. Örneğin, akademik literatürde yaygınca kullanılan SECOM verisinde[1] gerçekleşen randıman oranının potansiyel olarak 600'e yakın öznitelikle ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu gibi ortamlarda optimal üretim parti büyüklüğü, talep ve randımanın birleşik olasılık dağılımına bağlıdır. Bu çalışmada, rassal arzlı tek dönemli envanter problemi çerçevesinde, farklı talep rejimleri, randıman yapıları ve maliyet asimetrisi koşulları altında veri odaklı karar modelleri incelenmektedir.

Ele alınan modelde karar verici, *t* döneminde talep ve randıman gerçekleşmeden önce bir parti büyüklüğü belirlemektedir. Teslim edilen kaliteli ürün miktarı, parti büyüklüğü ile randıman oranının çarpımına eşit olup dönemsel maliyet, eksik ve fazla üretim miktarlarının ağırlıklı toplamı şeklinde ifade edilmektedir. Talep ve randımanın birleşik olasılık dağılımı karar anında bilinmediğinden, veri odaklı yaklaşımlar bu belirsizliği geçmiş gözlemlerden ve öznitelik bilgisinden öğrenmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda Ban ve Rudin[2], talebin çok sayıda özniteliğe bağlı olduğu tek dönemli envanter probleminde ampirik risk eniyilemesi ve çekirdek tabanlı yöntemlerin uygulanmasını göstermiştir. Bibak ve Karaesmen[3] ise bu çerçeveyi rassal randıman durumuna genişleterek öznitelik bilgisinin üretim kararlarına entegrasyonunun maliyet iyileştirmeleri sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada farklı talep rejimleri, randıman yapıları ve maliyet yapıları altında veri odaklı karar modelleri sistematik olarak karşılaştırılmaktadır. Değerlendirmeye alınan yöntemler şunlardır: Örneklem Ortalama Yaklaşımı (SAA), İki Aşamalı Yöntem, iki farklı doğrusal model[3] ve Bütünleşik Monte Carlo Modeli. SAA, tarihsel talep kantilini ortalama randımana bölerek tüm dönemler için sabit bir sipariş miktarı belirlemektedir. İki Aşamalı Yöntem, randımanı makine öğrenmesi modelleriyle tahmin etmekte ve talep kantilini bu noktasal tahmine bölerek üretim miktarını hesaplamaktadır. Bibak ve Karaesmen[3] tabanlı doğrusal modeller, süreç özniteliklerinden doğrudan maliyet eniyilemeye yönelik bir doğrusal karar kuralı önermekte olup iki model birbirinden randıman belirsizliğini lineer program çerçevesine dahil etme biçimi bakımından ayrışmaktadır. Bütünleşik Monte Carlo Modeli ise talep ve randıman artıklarından eş zamanlı örnekleme yaparak talep-randıman oranının ampirik kantilini üretim miktarı olarak belirlemektedir. Tüm modeller, yalnızca talep belirsizliğinin var olduğu ve randımanın tam bilindiği varsayımı altında elde edilebilecek en iyi performansı temsil eden Gerçek Randıman Oracle (GerçekRandıman) modeli ile karşılaştırılmaktadır.

Talep tahmini ve randıman tahmini için farklı zaman serisi tahminleme ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak aday modeller arasından doğrulama setindeki Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) değerine göre otomatik model seçimi yapılmaktadır. Randıman tahmini için farklı öznitelik indirgeme ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak çapraz doğrulama ile tahminleme yapılmaktadır. Doğrusal modellerde öznitelik seçimi ise doğrulama setindeki en düşük maliyetli tek dönemli envanter problemi modeli baz alınarak yapılmaktadır.

Deneysel tasarım dört talep rejimini (durağan, doğrusal trend, mevsimsel ve doğrusal trend ve mevsimsel birleşik) ve üç farklı randıman yapısını (dönüştürülmüş SECOM veri seti, sentetik lineer randıman ve sentetik doğrusal olmayan randıman) içermektedir. Her bir konfigürasyon dört farklı kritik oran değeri (α = 0,25; 0,50; 0,75; 0,90) üzerinden değerlendirilmiştir. Toplamda 48 deneysel konfigürasyon ve 288 model-konfigürasyon değerlendirmesi incelenmiştir. Çalışma, rassal arzlı tek dönemli envanter problemi modelinde farklı talep rejimleri, randıman yapıları ve maliyet oranları altında veri odaklı karar modellerinin karşılaştırmalı bir değerlendirmesini sunmakta, hangi koşulda hangi yaklaşımın tercih edilmesi gerektiğine dair bulgular ortaya koymaktadır.

[1] McCann & Johnston (2008). SECOM Dataset. UCI ML Repository.
[2] Ban & Rudin (2019). The Big Data Newsvendor. Operations Research, 67(1), 90–108.
[3] Bibak & Karaesmen (2025). Integration of ML and Optimization for a Data-Driven Lot Sizing Problem with Random Yield. IJPE, 282.

387 – Orman Yangını Afetlerine Müdahalede Kaynak Tahsisinin Optimizasyonu: Muğla Orman Bölge Müdürlüğü Uygulaması

Abdullah Eren İrişti *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Furkan Helvacıoğlu *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Sümeyra Betül Çimenci *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Şule Itır Satoğlu *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Orman yangınları, can güvenliği, ekosistem bütünlüğü ve ekonomik kayıplar açısından yüksek etkili afetler arasında yer almakta; yangın davranışının rüzgar, sıcaklık, yakıt tipi, erişilebilirlik ve müdahale kapasitesi gibi belirsiz faktörlere bağlı olarak değişmesi, kaynak tahsisi kararlarını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, orman yangınlarına hazırlık ve müdahale süreçlerinde kara ve hava kaynaklarının daha etkin kullanılmasını desteklemek amacıyla iki aşamalı, çok amaçlı ve stokastik bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Modelin temel amacı, yangın öncesi dönemde kaynakların risk temelli olarak önceden konumlandırılması ve yangın gerçekleştikten sonra ortaya çıkan senaryoya bağlı olarak kaynakların dinamik biçimde tahsis edilmesidir.

Literatürde orman yangınları için yer seçimi, kaynak tahsisi, rotalama, ön konumlandırma ve karar destek sistemleri üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak mevcut yaklaşımların önemli bir bölümü hazırlık ve müdahale kararlarını ayrı ele almakta veya kaynak türleri arasındaki operasyonel farklılıkları sınırlı biçimde değerlendirmektedir. Bu çalışma, yangın davranışındaki belirsizliği senaryo temelli olarak ele alırken ön konumlandırma ve yangın sonrası müdahale kararlarını aynı stokastik karar destek yapısı içinde bütünleştirmekte; yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynakların farklı operasyonel davranışlarını matematiksel modele yansıtmaktadır. Bunun yanında, modelin gerçek uygulama koşullarıyla uyumlu olabilmesi amacıyla orman yangını müdahalesine ilişkin mevzuat incelenmiş; ekip yapısı, araç ve su kapasitesi, dış kaynak desteği gibi gereklilikler operasyonel kısıtlara yansıtılmıştır.

Önerilen modelde birinci aşama kararları, yangın başlamadan önce yenilenemeyen kaynak olarak tanımlanan suyun ve yenilenebilir kaynaklar olarak ele alınan personel ve arazözden oluşan ekip birimleri ile hava araçlarının coğrafi bölgelere önceden yerleştirilmesini ifade etmektedir. İkinci aşama kararları ise yangın senaryosu gerçekleştikten sonra kaynakların kullanımı, bölgeler arası transferi, dış destek kaynaklarının sisteme eklenmesi ve oluşan talebin karşılanmasına ilişkindir. Amaç fonksiyonu iki temel performans ölçütü üzerine kurulmuştur: beklenen cezalandırılmış karşılanamayan talebin en aza indirilmesi ve bölgeler arası beklenen kaynak transferlerinin azaltılması. Bu yapı hem müdahale başarısını hem de operasyonel etkinliği aynı model içinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Modelin müdahale mantığı, yanan alanın önce su talebine dönüştürülmesine, bu talebin ise kara müdahalesi için gerekli ekip ve arazöz destekli kapasiteyle eşleştirilmesine dayanmaktadır. Bu yapı içinde su ve ekip kaynakları birlikte kullanılan tamamlayıcı kaynaklar olarak ele alınırken, hava araçları su talebinin karşılanmasına katkı sağlayan ek bir destek mekanizması olarak modellenmiştir.

Çalışmanın uygulama alanı olarak Muğla Orman Bölge Müdürlüğü seçilmiştir. Muğla, yüksek yangın riski, farklı orman işletme müdürlüklerine dayalı idari yapısı ve parametre üretimine elverişli operasyonel veri altyapısı nedeniyle uygun bir örnek bölge oluşturmaktadır. Modelde coğrafi bölgeler Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı 12 işletme müdürlüğü üzerinden tanımlanmıştır. Parametre hazırlama sürecinde 1977-2023 dönemine ait tarihsel yangın verileri, 2023 yılı yangın değerlendirme raporu, müdahale kayıtları, kaynak envanteri, teknik araç özellikleri ve operasyonel varsayımlar birlikte kullanılmıştır. Bölgesel risk ağırlıkları yangın sayısı ve yanan alan büyüklüklerinin normalize edilmesiyle hesaplanmış; senaryo olasılıkları yangın büyüklüğü sınıflarının frekanslarına göre belirlenmiştir. Yangın yayılımı için rüzgâr hızı tabanlı eliptik büyüme yaklaşımından yararlanılmış ve başlangıç yanan alan parametreleri bölgesel risk ağırlıklarıyla ilişkilendirilmiştir.

Uygulama kapsamında kara ulaşım süreleri, işletme müdürlükleri arasındaki yolculuk süreleriyle; hava aracı ulaşım süreleri ise merkezler arası kuş uçuşu mesafeler ve temsilî uçuş hızı varsayımıyla hesaplanmıştır. Senaryoya bağlı kara ulaşım gecikme faktörü ve hava operasyon gecikme faktörü, yol erişilebilirliği, trafik, rüzgar, görüş kısıtı ve uçuş koordinasyonu gibi belirsizlikleri temsil edecek şekilde modele dahil edilmiştir. Kaynak kapasitesi tarafında

su kullanım kapasitesi tanker sayısı, tank hacmi, boşaltım, dolum ve ulaşım çevrim süreleriyle; ekip kapasitesi mevcut ekip sayısı ve planlama ufku ile; hava aracı kapasitesi ise doğrudan yangın söndürme görevinde kullanılabilecek helikopter ve uçak sayısı ile tanımlanmıştır. Ayrıca su kullanımının saatlik operasyonel karşılığını ve hava araçlarının saatlik su uygulama kapasitesini temsil eden dönüşüm katsayıları ile yanan alanın kaynak talebine dönüşümünü ve kaynakların söndürme etkinliğini ifade eden katsayılar; tarihsel yangın verileri, ortalama yanan alan büyüklüğü, müdahale süresi ve mevcut ekip kapasitesi temel alınarak hesaplanmıştır.

Model Gurobi ile çalıştırılmış ve AUGMECON2 yöntemiyle Pareto çözümler üretilmiştir. Anahtar performans göstergeleri, çözüm alternatiflerinde yanan alan ve söndürülen alan göstergeleri benzer kaldığını; asıl farkın kaynak kullanım düzeyi ve organizasyonel dağılımda oluştuğunu göstermiştir. Senaryo sonuçları, hafif yangınların erken müdahaleyle kontrol altına alınabildiğini; şiddetli yangınlarda mevcut kapasitenin söndürme için yetersiz kaldığını göstermiştir. Duyarlılık analizi ekip, hava aracı, su kapasitesi ve su-ekip artışları için yapılmış; en güçlü iyileşmenin su kapasitesindeki artışla sağlandığı belirlenmiştir. Şiddetli yangını söndürmek için asgari kaynak artışı incelenmiş; su kapasitesinin %37,5, ekip kapasitesinin %30,6 ve hava aracı kapasitesinin %20 artırılması yeterli bulunmuştur. Bulgular, su altyapısı, tanker destek anlaşmaları ve su-ekip uyumunun önceliklendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak model, hazırlık ve müdahale kararlarını birlikte alan uygulanabilir bir karar destek yaklaşımı sunmaktadır.

388 – Lojistik Operasyonlarında Müşteri Kayıp Davranışlarının Makine Öğrenmesi Tabanlı Analizi ve Anomali Tespiti İçin Bir Çerçeve Önerisi

Ali Osman Kabil *Yurtiçi Kargo Servisi A.Ş.*
Erdem Çer *Yurtiçi Kargo Servisi A.Ş.*
Sefa Sarı *Yurtiçi Kargo Servisi A.Ş.*

Kargo sektöründe müşteri kaybı davranışlarının öngörülmesi; operasyonel sürdürülebilirlik, müşteri bağlılığı, tahsilat süreçleri ve gelir yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Ancak kargo operasyonlarında müşteri davranışlarının çok boyutlu, zaman bağımlı ve dengesiz veri yapıları içermesi nedeniyle churn tahminleme süreçleri önemli teknik zorluklar barındırmaktadır. Özellikle müşteri hareketlerinin dönemsel değişkenlik göstermesi, operasyonel verilerin yüksek hacimli yapısı, eksik veri problemleri ve churn davranışının sektörel olarak net şekilde tanımlanamaması, geleneksel analiz yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, kargo sektöründe müşteri kayıp davranışlarının veri analitiği ve makine öğrenmesi yöntemleri ile incelenmesi ve elde edilen yaklaşımın finansal anomali tespiti çalışmalarına temel oluşturması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında müşteri, sözleşme, gönderi, tahsilat, teslimat performansı, indirim oranları, müşteri şikayetleri ve operasyonel hareketlere ait çok boyutlu veri yapıları değerlendirilmiştir. İncelenen veri seti yaklaşık 165 bin sözleşme kaydı, 151 binden fazla müşteri verisi ve 1350'nin üzerinde değişken içermektedir. Veri yapısında hem zamansal hareketler hem de operasyonel davranış örüntüleri bulunduğundan, churn probleminin yalnızca sınıflandırma problemi olarak değil, aynı zamanda davranışsal değişim ve anomali problemi olarak ele alınması hedeflenmiştir. Çalışmada churn davranışı; müşterinin belirli bir dönem boyunca gönderi hareketinin sıfırlanması ve sonrasında tekrar aktif işlem gerçekleştirmemesi yaklaşımı üzerinden değerlendirilmiştir.

İlk analizlerde veri setinin ciddi ölçüde dengesiz dağılım içerdiği, churn eden müşteri oranının düşük kaldığı ve bu durumun model performansını doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle veri dengeleme süreçlerinde Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE) ve Uyarlanabilir Sentetik Örnekleme Yöntemi (ADASYN) gibi örnekleme yöntemlerinin değerlendirilmesi planlanmıştır. Sınıflandırma çalışmalarında Aşırı Gradyan Artırma (Extreme Gradient Boosting - XGBoost), Rastgele Orman (Random Forest), Kategorik Güçlendirme (CatBoost) ve Hafif Gradyan Artırma Makinesi (Light Gradient Boosting Machine - LightGBM) algoritmaları kullanılarak farklı model kombinasyonları incelenmiştir. Özellikle gradyan artırma (gradient boosting) tabanlı modellerin yüksek boyutlu veri yapılarında ve doğrusal olmayan ilişkilerin modellenmesinde daha başarılı sonuçlar üretebildiği gözlemlenmiştir. Model performansını artırmak amacıyla Izgara Arama Çapraz Doğrulama (GridSearchCV) ve Rastgele Arama Çapraz Doğrulama (RandomSearchCV) tabanlı hiperparametre optimizasyon süreçleri uygulanmış; ayrıca Maksimum İlişkililik – Minimum Tekrarlılık (Maximum Relevance Minimum Redundancy - MRMR) ve Özyinelemeli Özellik Eleme (Recursive Feature Elimination - RFE) yöntemleri ile özellik seçim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan ilk analizlerde; gönderi sayıları, teslimat süreleri, tahsilat davranışları, ödeme düzeni, indirim oranları ve operasyon yoğunluğuna ilişkin değişkenlerin churn davranışı üzerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. Çalışmanın önemli çıktılarından biri, müşteri kayıp davranışlarının operasyonel anomaliler ile birlikte ele alınabileceğinin gözlemlenmesidir. Özellikle gönderi hareketlerindeki ani düşüşler, tahsilat düzensizlikleri, teslimat performansındaki sapmalar ve operasyon yoğunluğundaki değişimlerin yalnızca churn değil, aynı zamanda finansal risk göstergesi olarak da değerlendirilebileceği öngörülmektedir. Bu doğrultuda çalışma, yalnızca churn tahmini üreten bir yapıdan ziyade; müşteri risk skorlama, operasyonel anomali analizi ve erken uyarı mekanizmalarını içeren bütünleşik bir karar destek platformuna dönüşebilecek bir yaklaşım önermektedir.

Gelecek çalışmalarda denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemlerinin birlikte değerlendirildiği, zaman serisi tabanlı davranış analizlerinin gerçekleştirildiği ve gerçek zamanlı veri akışlarını işleyebilen ölçeklenebilir bir yapının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu yönüyle çalışma, kargo sektöründe veri odaklı karar alma süreçlerine katkı sağlamayı ve yapay zekâ destekli anomali yönetimi sistemleri için uygulanabilir bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

389 – Büyük Dil Modeli Temelli Yaklaşımlarla Sertifika Programlarına Öğrenci Seçiminin Öngörülmesi

Zeynep İdil Erzurum Çiçek *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Zeliha Ergül Aydın *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Banu İçmen Erdem *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Emre Çimen *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Eğitim alanında veri odaklı karar destek sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve özellikle öğrenci kabul süreçlerinde makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar öne çıkmaktadır. Mevcut değerlendirme süreçlerinde çoğunlukla not ortalaması ve bölüm bilgisi gibi yapısal veriler dikkate alınırken, öğrencilerin motivasyonlarını ve yetkinliklerini yansıtan metinsel veriler geleneksel yöntemlerle sınırlı düzeyde değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, üniversite bünyesinde yürütülen firma destekli sertifika programlarına başvuran öğrencilerin kabul durumlarının tahmin edilmesine yönelik hibrit bir yaklaşım ele alınmaktadır. Çalışmada, gerçek bir uygulama üzerinden öğrencilerin bölüm, sınıf ve not ortalaması gibi yapısal değişkenlerinin yanı sıra başvuru sırasında sundukları motivasyon metinleri analiz edilmektedir. Motivasyon metinleri, Büyük Dil Modelleri (LLM) ve doğal dil işleme teknikleri kullanılarak sayısallaştırılmakta; elde edilen motivasyon puanları diğer akademik değişkenlerle birlikte modele girdi olarak kullanılmaktadır. Farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak geliştirilen sınıflandırma modellerinin performansları; doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru gibi metriklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Çalışmanın, motivasyon metinlerinin de değerlendirme sürecine dahil edilmesiyle öğrenci seçim süreçlerinde daha kapsamlı ve veri odaklı karar mekanizmalarının geliştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

390 – Hastane İçi Taşıma Problemi: İki Aşamalı bir Bayesyen Derin Pekiştirmeli Öğrenme Yaklaşımı

Hossein Torkinezhadirani *Twente Üniversitesi*
F. Sibel Salman *Koç Üniversitesi*
Ali Hassanzadeh *Manchester Üniversitesi*
Özgür M. Araz *Nebraska Üniversitesi*

Artan hasta akışı ve operasyonel karmaşıklığın tetiklediği hastane içi taşıma talebindeki hızlı büyüme, hastane lojistik sistemleri üzerinde kritik bir baskı oluşturmuştur. Zamana duyarlı hasta naklinden tıbbi malzeme ve ekipman teslimatına kadar uzanan taşıma talepleri, insan kaynağı kısıtları ve gelişen otomasyon teknolojileri yönetilirken yüksek güvenilirlikle karşılanmalıdır. Bu çalışma, dinamik olarak gelen ve heterojen yapıdaki taşıma talepleri altında, hem insan taşıyıcıların (portörler) hem de servis robotlarının atama ve rotalamasını optimize etmeyi amaçlayan Gerçek Zamanlı Hastane İçi Taşıma Problemi'ni ele almaktadır.

Çalışmada ilk olarak robotlar için şarj gereksinimlerini, uyumluluk kısıtlarını, iş yükünü dengelemeyi ve aciliyete duyarlı gecikme cezalarını entegre eden ayrıntılı bir problem formülasyonu geliştirilmiştir. Statik durum için problem, bir Yükle-Bırak Problemi (DARP) olarak modellenmiş ve çözüm kalitesini kıyaslamak amacıyla bir Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP) formülasyonu kullanılarak çözülmüştür.Dinamik durum için iki aşamalı özgün bir çözüm metodolojisi önerilmiştir: Birinci Aşama, belirsizlik altında talepleri gerçek zamanlı olarak atamak için bir Bayesyen Derin Pekiştirmeli Öğrenme çerçevesi kullanırken; İkinci Aşama, rota oluşturma ve konsolidasyon için bir En İyi Ekleme (Best Insertion) sezgiseli ve ardından Uyarlanabilir Değişken Komşuluk Araması (AVNS) uygulamaktadır.

Gerçekçi bir şekilde simüle edilmiş hastane senaryoları seti kullanılarak yapılan hesaplamalı deneyler, önerilen Bayesyen tabanlı atama politikasının hastane taşımacılığının heterojen ortamında mevcut baz alınan politikaları geride bıraktığını ve mevcut hastane politikasına göre %9,26'lık bir iyileşme sağladığını göstermektedir. Ayrıca, önerilen iki aşamalı çözüm yaklaşımı, literatürde yaygın olarak benimsenen geleneksel tek aşamalı yeniden optimizasyon yöntemine kıyasla toplam amaç fonksiyonu değerinde %10,88'lik bir azalma sağlarken, ortalama çalışma süresini 954,97 saniyeden 299,56 saniyeye düşürmüştür.

Operasyonel deneyler, servis robotlarının taşıma sistemine entegre edilmesinin önemli faydalarını vurgulamaktadır: İnsan taşıyıcıların ortalama iş yükü yaklaşık %15 oranında azalmakta, gecikme cezaları %85'e kadar düşmekte ve genel amaç fonksiyonu değerleri %13 oranında gerilemektedir. Bu bulgular toplu olarak, önerilen çerçevenin gerçek zamanlı hastane lojistiğinde yanıt verebilirliği, hakkaniyeti ve verimliliği artırmadaki etkinliğini ve ölçeklenebilirliğini kanıtlamaktadır. Önerilen yöntemlerin değişken talep geliş hızları, taşıyıcı filo yapılandırmaları ve robot uygunluk senaryoları dahil olmak üzere farklı operasyonel koşullar altında etkili olduğu gösterilmiştir. Çalışma, atama politikaları, rota optimizasyonu ve otomasyon entegrasyonu arasındaki karmaşık etkileşimi yakalayarak, taşıyıcı koordinasyonu ve iş yükü yönetimi konularında pratik öngörüler sunmaktadır. Özetle, gerçek zamanlı hastane içi taşımacılık için ölçeklenebilir, maliyet etkin ve politika duyarlı çözümler sunarak; akıllı hastane lojistiği, otomasyon planlaması ve öğrenme tabanlı karar destek sistemlerinin sağlık ortamlarına gelecekteki entegrasyonu için uygulanabilir rehberlik sağlanmaktadır.

391 – Dış Cephe Yalıtım Malzemelerinin Seçiminde Sürdürülebilirlik ve Teknik Performans Odaklı Karar Verme: Hibrit BWM-VIKOR ve Senaryo Analizi Yaklaşımı

Alper Çırak *Doğuş Üniversitesi*
Menekşe Yeşim Çakırlı *Doğuş Üniversitesi*
Özay Özaydın *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Küresel iklim değişikliği ile mücadele, döngüsel ekonomi prensipleri ve Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) gibi yeni nesil regülasyonlar, yapı sektöründe enerji verimliliğini ve düşük gömülü karbonlu malzeme kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, binaların operasyonel ve gömülü çevresel etkilerinin azaltılmasında dış cephe ısı yalıtım malzemelerinin seçimi kritik bir rol oynamaktadır. Ancak bu seçim süreci; yalnızca termal iletkenlik veya ilk yatırım maliyeti gibi tek boyutlu parametrelere indirgenemeyecek kadar karmaşık, birbiriyle çelişen çok sayıda nitel ve nicel kriterin eş zamanlı değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu bir karar verme problemidir. Bu çalışma, dış cephe yalıtım malzemelerinin seçim sürecini sürdürülebilirlik, teknik kapasite ve ekonomik fizibilite boyutlarıyla bütüncül bir şekilde ele alan bir Çok Kriterli Karar Verme çerçevesi sunmaktadır.

Çalışma kapsamında, endüstriyel standartlarda kullanılan geleneksel ve yenilikçi 14 farklı dış cephe yalıtım malzemesi analiz edilmiştir. Bu alternatifler; Grafitli EPS, XPS, Taş Yünü, Cam Yünü, PUR/PIR, Perlit, Fenol Köpüğü, Ahşap Lifi, Selüloz, Kenevir, Koyun Yünü, Mantar, Cam Köpüğü ve Aerogel olarak belirlenmiştir. Malzemeler, genişletilmiş bir literatür ve piyasa araştırmasına dayanan toplam 16 alt kriter üzerinden değerlendirilmiştir. Bu kriterler; termal iletkenlik (λ), yoğunluk (ρ), özgül ısı (cp), buhar direnci (μ), nem duyarlılığı/su emme davranışı, basma dayanımı, yangın tepkisi sınıfı ve ses yutma katsayısını (αw) içeren 8 teknik metrik; fonksiyonel birim başına gömülü karbon ($kgCO_2eq/m^2$), gömülü enerji (MJ/m^2), faydalı ömür, döngüsellik skoru ve yenilenebilir hammadde oranını kapsayan 5 sürdürülebilirlik metriği; ve güncel birim fiyat, lojistik temin kolaylığı ile yerli üretim durumunu yansıtan 3 ekonomik metriği içermektedir.

Karşılaştırmalarda, doğrudan malzeme hacmi veya kütlesi yerine, TS 825'in dış duvarlar için öngördüğü ısı geçirgenlik yaklaşımıyla uyumlu ve tüm alternatifler arasında eşdeğer ısıl hizmet düzeyi sağlayan $R=2,5\ m^2K/W$ standart fonksiyonel birim değeri esas alınmıştır. Ekonomik değerlendirmelerde, modelin güncelliğini ve gerçek dünya uygulanabilirliğini sağlamak adına Ocak 2026 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyatları ile uluslararası perakende piyasa verileri entegre edilmiştir. Sürdürülebilirlik envanteri ise ICE v4.1/v2.0 veri tabanları ve üreticilere ait güncel Çevresel Ürün Beyanları ile desteklenmiştir.

Metodolojik çerçevede, karar verici tutarsızlığını en aza indiren ve geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha az sayıda ikili karşılaştırma gerektiren En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM) kriter ağırlıklarının belirlenmesinde tercih edilmiştir. Alternatiflerin nihai sıralaması ve çelişen kriterler (örneğin yüksek yangın dayanımı ile düşük maliyet) arasında maksimum grup faydası ve minimum bireysel pişmanlık dengesini kuran uzlaşık çözümün bulunması aşamasında ise VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Modelin esnekliğini test etmek için "Ekolojik Vizyon (EkoViz)", "Maliyet Odaklı (MalOda)" ve "Yüksek Performans (YükPer)" olmak üzere üç farklı karar verici profili kurgulanmıştır.

Analiz ve duyarlılık testi bulguları, malzeme seçiminin literatür destekli stratejik karar verici profillerine göre belirgin biçimde değiştiğini göstermektedir. Ana BWM-VIKOR sonucunda Fenol Köpüğü (Q=0,0000), PUR/PIR (Q=0,0660) ve EPS Grafitli (Q=0,2549) en düşük Q skorlarına sahip ilk üç alternatif olarak belirlenmiştir. Ancak Q2-Q1 farkının (0,0660), kabul edilebilir avantaj eşiği olan DQ=0,0769 değerinin altında kalması nedeniyle Fenol Köpüğü ve PUR/PIR birlikte uzlaşık çözüm kümesi olarak değerlendirilmiştir. Sürdürülebilirlik odaklı Ekolojik Vizyon senaryosunda selüloz birinci sırada yer almış; koyun yünü, kenevir, ahşap lifi ve mantar gibi doğal malzemeler güçlü ekolojik profilleriyle ilk beşi tamamlamıştır. Faydalı ömürleri 50 yıl olarak standartlaştırılan ve yüksek yenilenebilir hammadde oranlarına sahip bu doğal malzemeler, A1-A3 fossil-only sınır koşulu altında dahi rekabetçi sürdürülebilirlik profili sergilemiştir. Maliyet Odaklı (MalOda) senaryosunda, düşük fonksiyonel birim maliyetiyle Grafitli EPS ($156\ TL/m^2$) birinci sıraya çıkmış; XPS ($350\ TL/m^2$) ikinci ve PUR/PIR ($665\ TL/m^2$) üçüncü sırada konumlanmıştır. Gösterge maliyeti $4.456\ TL/m^2$ olarak hesaplanan Aerogel ise bütçe kısıtları nedeniyle alt sıralarda yer almıştır.

Teknik performansın yangın güvenliği, yüksek basma dayanımı, düşük nem riski ve düşük ısıl iletkenlik dengesiyle maksimize edildiği Yüksek Performans senaryosunda ise Cam Yünü birinci sıraya yükselmiş; Taş Yünü ve Selüloz ise yangın güvenliği, akustik performans ve teknik denge açısından onu izleyen güçlü alternatifler olarak öne çıkmıştır. Biyojenik karbon kredisinin dahil edildiği duyarlılık senaryosunda mantarın C9 değeri ana matristeki +4,52 $kgCO_2eq/m^2$ seviyesinden −13,08 $kgCO_2eq/m^2$ seviyesine inmesine rağmen, malzemenin yoğunluk ve maliyet dezavantajları nedeniyle sıralamasında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Bu senaryoda mantarın sırası ana matriste de biyojenik duyarlılıkta da 12. sırada kalmış, yalnızca Q skoru 0,7226'dan 0,6919'a gerilemiştir; bu bulgu, modelin biyojenik karbon metodolojik tercihinden bağımsız olarak sağlam ve tutarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma yapı malzemesi seçimi problemine TS 825 standartlarıyla uyumlu, piyasa verilerine ve "beşikten kapıya" (A1-A3) yaşam döngüsü yaklaşımlarına dayanan şeffaf bir model kazandırmaktadır. BWM-VIKOR hibrit yaklaşımı, karbon salımı, teknik kısıtlar ve bütçe gibi heterojen verilerin birlikte yönetilmesine olanak tanır. Elde edilen bulgular, sürdürülebilir mimari ve yeşil tedarik zinciri stratejileri geliştiren araştırmacılar, müteahhitler ve politika yapıcılar için stratejik bir karar destek aracı niteliğindedir.

392 – Fotodinamik Terapi İçin Yüksek Tekli Oksijen Üreten Fotosensitizer Yapılarının Tahminine Yönelik Makine Öğrenmesi Temelli Bir Çalışma

Emel Önal *Doğuş Üniversitesi*
Özay Özaydın *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Son yıllarda, kanser tedavisinde hedefe yönelik ve minimal invaziv yöntemlere olan ilgi giderek artmıştır. Bu yöntemlerden biri olan fotodinamik terapi (PDT), ışık kaynağı, moleküler oksijen ve ışığa duyarlı fotosensitizer moleküllerin bir araya gelmesiyle terapötik etki oluşturan alternatif bir tedavi yaklaşımıdır. PDT'de kullanılan fotosensitizerlerin özelliği yüksek verimde singlet oksijen ($^1O_2$) üretebilme kapasitesine sahip olmalarıdır. Bu nedenle, singlet oksijen üretim verimi yüksek (Φ_Δ) molekül yapılarının belirlenmesi PDT etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Porfirin türevi moleküller, güçlü ışık absorplama özellikleri ve yüksek singlet oksijen üretim kapasiteleri nedeniyle PDT alanında yaygın olarak kullanılan önemli fotosensitizer adayları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, singlet oksijen üretimi gerçekleştirebilen bazı porfirin yapılarında gerçekleştirilen yapısal değişikliklerin singlet oksijen kuantum verimi (Φ_Δ) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda metal etkisi, ağır atom etkisi, sübstitüe grup etkisi ve agregasyon gibi parametrelere bağlı fotokimyasal ölçümler değerlendirilmiştir.

Bu çalışma, PDT çalışmalarında kullanılabilecek fotosensitizerlerin singlet oksijen verimlerini tahmin etmek amacıyla makine öğrenmesi tabanlı bir model geliştirmeyi hedeflemektedir. Çalışma kapsamında, deney sonucu elde edilen veriler kullanılarak XGBoost makine öğrenmesi algoritmaları eğitilmiştir.

Önerilen modelde, girdi değişkenleri olarak metal türü, moleküler yapı özellikleri ve çevresel deney koşulları; çıktı değişkeni olarak ise singlet oksijen kuantum verimi (Φ_Δ) tanımlanmıştır. Modelin performansı, [R-kare, MSE, MAE vb.] metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışma, yalnızca PDT alanına değil, aynı zamanda hedefe yönelik molekül yapı tasarım süreçlerinin optimizasyonunda veri güdümlü karar destek mekanizmalarının kullanımına yönelik literatüre de önemli katkılar sunmaktadır.

393 – Depolama Yeri Atama Problemi İçin Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli ve Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırmalı Analizi

Vahit Feryad *Turkuvaz Medya Grubu Ar-Ge Merkezi*
Mirza Özer *Turkuvaz Medya Grubu Ar-Ge Merkezi*
İlhan Recep Turhan *Turkuvaz Medya Grubu Ar-Ge Merkezi*
Tuncay Özcan *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Depo yönetimi süreçlerinin etkinliğini artırmak ve operasyonel maliyeti azaltmak için, depo yönetiminde en önemli karar problemlerinden biri, gelen ürünler için depolama yeri atama problemidir. Aynı zamanda, depolama konumu kararı, sipariş toplama performansının iyileştirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada, ilk olarak, bir e-ticaret deposunda alınan gerçek hayat verileri kullanılarak depolama yeri atama problemi için çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, kapasite kısıtı altında, yüksek talep ve önem düzeyine sahip ürünlerin toplama/sevkiyat alanına daha yakın raflara yerleştirilmesi ve birlikte satın alınma eğilimi yüksek ürün kategorilerinin birbirine yakın konumlandırılması gereksinimini dikkate almaktadır. Daha sonra, geliştirilen modelin NP-Zor yapısından dolayı, problemin çözümü için kesin çözüm yaklaşımı, bir yerel arama algoritması, Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu esaslı yaklaşımlar, aynı ortak değerlendirici fonksiyon altında karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımların etkinliği; 1661 ürün ve 7500 siparişten oluşan gerçek hayat problemi kullanılarak, çözüm zamanı ve çözüm kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Sayısal sonuçlar, Genetik Algoritma esaslı yaklaşımın makul sürede diğer yaklaşımlardan daha iyi çözüm kalitesi ürettiğini göstermiştir. Aynı zamanda, çalışmanın sonuçları, önerilen yaklaşımın gerçek hayat depolama yeri atma probleminin çözümü için, operasyonel olarak uygulanabilir, denetlenebilir ve karar destek sistemi çıktısına dönüştürülebilir nitelikte olduğunu ortaya koymaktadır.

394 – Ulaştırma Altyapı Yatırımlarının Bölgesel Lojistik ve Refah Üzerindeki Etkilerinin Analizi: TBA Tabanlı Bir Karar Destek Yaklaşımı

Berke Özenç *Işık Üniversitesi*
Sevde Ceren Yıldız Özenç *Doğuş Üniversitesi*
Menekşe Yeşim Çakırlı *Doğuş Üniversitesi*
Alper Çırak *Doğuş Üniversitesi*
Özay Özaydın *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Lojistik performansı, tedarik zincirlerinin sağlıklı bir şekilde işlemesi için gereken faaliyetlerin verimliliğini ve etkinliğini temsil eden çok boyutlu bir göstergedir. Akademik literatür, lojistik süreçlerin iyileştirilmesinin sadece operasyonel verimliliği değil, aynı zamanda kurumların finansal başarısını ve genel tedarik zinciri performansını da doğrudan etkilediğini vurgulamaktadır. Türkiye, Asya ve Avrupa kıtalarını birbirine bağlayan jeopolitik konumuyla küresel ticaret rotaları üzerinde vazgeçilmez bir lojistik üs niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte, ülkenin geniş coğrafyası içerisinde altyapı olanakları, ekonomik hareketlilik ve bölgesel politikaların uygulanma düzeyi bölgeler arasında lojistik performans farklılıklarına yol açmaktadır. Bu çalışma, söz konusu bölgesel farklılıkları optimize etmek ve ulaştırma politikaları için uygulanabilir öneriler sunmak amacıyla Türkiye'deki 12 NUTS-1 bölgesini kapsayan kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Araştırma kapsamında ulaştırma altyapı yatırımlarının bölgesel kalkınma göstergeleri üzerindeki asimetrik etkileri, disiplinlerarası bir yaklaşımla ve gelişmiş karar destek modelleri kullanılarak incelenmiştir.

Çalışmanın veri seti, 2015-2022 dönemini kapsayan ve Türkiye'nin 12 büyük bölgesine odaklanan 96 farklı gözlemden oluşmaktadır. Verilerin derlenmesinde Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ve Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) resmi kayıtlarından faydalanılmış; ulaştırma metrikleri (yol uzunluğu, araç yoğunluğu, Yıllık Ortalama Günlük Trafik-YOGT değerleri) ile sosyoekonomik göstergeler (GSYH, İnsani Gelişme Endeksi-HDI, sağlık ve eğitim endeksleri) bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Karmaşık ve çok boyutlu bu verilerin anlamlı endekslere dönüştürülmesinde, değişkenler arasındaki korelasyonu yönetmek ve boyutsal indirgeme sağlamak amacıyla Temel Bileşenler Analizi (TBA/PCA) yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalar öncesinde, farklı birimlerde ölçülen (GSYH için TL/dolar, trafik sayıları vb.) değişkenlerin birbirlerini baskılamaması için tüm veri seti Min-Max normalizasyon yöntemiyle [0,1] aralığına ölçeklendirilmiştir. Karar destek sisteminin bir parçası olarak, bölgelere tüm yıllar için toplam 100 milyon USD tutarında eşit bir yatırım payının atandığı standart bir senaryo kurgulanmış ve bu yatırımın bölgelerin Lojistik Performans Endeksi (LPE) ve kalkınma düzeyleri üzerindeki etkisi simüle edilmiştir.

Analiz sonuçları, ulaştırma yatırımlarının lojistik verimliliği ve bölgesel gelişmişlik üzerinde anlamlı bir artış sağladığını, ancak bu artışın her bölgede aynı oranda gerçekleşmediğini ortaya koymuştur. Yatırım öncesinde lojistik altyapısı ve kapasitesi halihazırda yüksek olan İstanbul, 6,68 olan LPE değerini yatırımlar sonrasında marjinal bir artışla 6,75'e çıkarmıştır. Bu durum, altyapı kapasitesinin doygunluğa yaklaştığı gelişmiş bölgelerde yeni yatırımların getirdiği marjinal faydanın azalan verimler ilkesine bağlı olarak sınırlı kaldığını göstermektedir. Buna karşılık, başlangıçta lojistik performansı en düşük seviyelerde olan Kuzeydoğu ve Güneydoğu Anadolu gibi bölgeler, yatırımlardan oransal olarak en yüksek faydayı sağlayan alanlar olmuştur. Örneğin, Kuzeydoğu Anadolu bölgesinin LPE değeri 0,26'dan 0,29'a yükselirken, Güneydoğu Anadolu'nun kalkınma endeksi de yukarı yönlü bir ivme kazanmıştır. Matematiksel olarak, lojistik performansı için hesaplanan değişim katsayısının (CV) %80,54'ten %77,14'e gerilemesi, uygulanan yatırım politikasının bölgeler arası lojistik farklarını daralttığını ve bir yakınsama süreci başlattığını doğrulamaktadır.

Elde edilen teorik çıkarımlar, ulaştırma politikalarının yalnızca fiziksel ağ genişletmeye değil, bölgesel dengeyi gözeten stratejik bir yaklaşıma dayanması gerektiğini savunmaktadır. Çalışma, ulaştırma altyapısının bölgesel büyüme için hayati bir katalizör işlevi gördüğünü kanıtlamakla birlikte; eğitim, sağlık ve GSYH gibi temel sosyoekonomik göstergelerin lojistik iyileşmelere kıyasla daha yavaş tepki verdiğini, bu nedenle kapsamlı bir kalkınma için beşerî sermayeye yönelik tamamlayıcı yatırımların şart olduğunu vurgulamaktadır. Politika yapıcılar

için geliştirilen öneriler arasında; düşük performanslı bölgelere yönelik hedefli finansman modellerinin oluşturulması, mevcut ağların modernizasyonu ve karayolu ile demiryolunun entegre edildiği çok modlu taşımacılık sistemlerinin yaygınlaştırılması yer almaktadır. Ayrıca, Türkiye'nin çevresel hedefleriyle uyumlu olarak yeşil lojistik yöntemlerinin benimsenmesi, akıllı ulaşım sistemleri (ITS) ve gerçek zamanlı lojistik takip teknolojileri gibi dijital çözümlerin sürece dahil edilmesi, yatırımların verimliliğini maksimize etmek için elzem görülmektedir.

395 – Türkiye'de Orman Yangını Dayanıklılığının Optimizasyonu: Entegre Makine Öğrenmesi ve Konum-Tahsis Yaklaşımı

İrem Nur İlbaş *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Yeşim Altay *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Ayşe Paksoy *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Özay Özaydın *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Orman yangınları, iklim değişikliği, aşırı hava olayları ve hızlı şehirleşme gibi faktörlerin etkisiyle dünya genelinde, özellikle Akdeniz havzasında yer alan Türkiye'de, orman yangınları giderek daha yıkıcı hale gelmektedir. 2021 yılında Türkiye'de yaşanan ve 139.503 hektar alanın zarar görmesiyle sonuçlanan yangınlar, mevcut yangın sistemlerinin yapısal kırılganlıklarını ve koordinasyon eksikliklerini gün yüzüne çıkarmıştır. Manuel izleme yöntemleri ve düşük çözünürlüklü uydu verileri, yangınların erken evrede tespiti ve kaynakların stratejik konumlandırılması açısından yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma, Türkiye genelinde orman yangını dayanıklılığını artırmak amacıyla, yüksek doğruluklu risk tahminlerini operasyonel kaynak planlamasıyla birleştiren bütünleşik bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.

Metodolojik olarak çalışma iki temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, Google Earth Engine API aracılığıyla elde edilen Sentinel-2 ve Sentinel-5P uydu verileri kullanılarak çevresel, topografik ve antropojenik faktörleri kapsayan kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur. Yangın duyarlılığı haritalaması için XGBoost, Rastgele Orman ve Destek Vektör Makinesi algoritmaları kullanılmıştır.

İkinci aşamada, makine öğrenmesi modelinden elde edilen dinamik risk tahminleri, kaynakların optimum yerleşimini belirlemek üzere Konum-Tahsis modellerine girdi olarak aktarılmıştır. Çalışmada çok amaçlı optimizasyon teknikleri kullanılarak müdahale süresinin minimizasyonu ve korunan yüksek riskli alanların en büyüklenmesi hedeflenmiştir.

Elde edilen bulgular, veriye dayalı risk haritalarının operasyonel planlamaya entegre edilmesinin, geleneksel uzman görüşüne dayalı yerleşim stratejilerine kıyasla müdahale kapasitesini anlamlı ölçüde artırdığını göstermektedir. Bu çalışma, Türkiye'de ulusal ölçekte bir kaynak tahsis modeli eksikliğini gidermeyi amaçlamakta ve karar vericilere orman yangınlarıyla mücadelede proaktif, bilimsel ve izlenebilir bir yönetim stratejisi sunmaktadır.

396 – İş Güvenliği Uzmanlarının Risk Kontrol Önlemlerini Önceliklendirmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı

Ömer Çelepçıkay *Doğuş Üniversitesi*
Özay Özaydın *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Uygun risk kontrol yöntemlerinin seçilmesi ve önceliklendirilmesi, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarındaki en önemli adımlardan biridir. Gerçek çalışma ortamlarında bu kararlar yalnızca risklerin ciddiyetine göre şekillenmemektedir. Maliyet, uygulanabilirlik, yasal gereklilikler, operasyonel süreklilik ve çalışan uyumu gibi faktörler de karar alma sürecini etkileyebilir. Bu nedenle iş sağlığı ve güvenliği kararlarını, çok kriterli karar verme perspektifinden değerlendirmek daha sistematik bir yaklaşım sağlamıştır.

Bu çalışma, iş güvenliği uzmanlarının risk kontrol önlemlerini önceliklendirirken hangi kriterleri daha önemli gördüklerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışma kapsamında farklı sertifika sınıflarına, sektör geçmişlerine ve deneyim seviyelerine sahip iş güvenliği uzmanlarından ve iş güvenliği uzmanlığı için aday olan kişilerden uzman görüşleri alınmıştır.

Veriler, çalışma için hazırlanan yapılandırılmış bir değerlendirme formu aracılığıyla elde edilmiştir. Ankette katılımcılar risk ciddiyeti, oluşma olasılığı, maruz kalma sıklığı, uygulanabilirlik, maliyet, sürdürülebilirlik, düzenlemelere uyumluluk ve operasyonel etkiler gibi çeşitli karar kriterlerinin önem düzeylerini değerlendirmişlerdir. Ek olarak, farklı kontrol önlemlerinin algılanan etkinliği incelenmiş ve katılımcıların iş güvenliği kararlarındaki önceliklendirme yaklaşımlarını daha iyi anlamak için senaryo tabanlı sorular kullanılmıştır.

Analiz aşamasında, tanımlayıcı istatistikler ve çok kriterli karar verme yaklaşımları birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada, iş güvenliği karar alma süreçlerinde hangi faktörlerin etkili kabul edildiği ve bu yaklaşımların deneyim düzeyi veya mesleki geçmişe bağlı olarak farklılık gösterip göstermediği ortaya konmuştur. Ayrıca, iş sağlığı ve güvenliği alanında karar destek sistemlerinin geliştirilmesine ve risk yönetimi süreçlerinin daha sistematik bir şekilde ele alınmasına katkı sağlamıştır.

398 – Perakende Kategori Yönetiminde Ürün Seçim ve Listeleme Kararları İçin Analitik Bir Uygulama

Ali Yiğit Mucan *A101 (Yeni Mağazacılık A.Ş.)*
Eyüp Tolunay Küp *A101 (Yeni Mağazacılık A.Ş.) ve Kadir Has Üniversitesi*
Cihat Erdoğmak *A101 (Yeni Mağazacılık A.Ş.)*
Selen Karbuz *A101 (Yeni Mağazacılık A.Ş.)*
Tuncay Özcan *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Değişen tüketici davranışları ve üreticilerin yenilikçi yaklaşımları ile birlikte perakende sektöründe ürün çeşitliliği çok hızlı artmaktadır. Mağaza raflarının sunabileceği fiziksel kapasite ise bu ivmelenmenin karşısında sınırlı kalmaktadır. Bu dengesiz durum, sınırlı raf alanı altında doğru ürünlerin listelenmesini ve performansı düşük ürünlerin katalogdan çıkarılmasını perakendecilerin sürdürülebilir finansal başarısı için kritik bir karar problemi hâline getirmektedir. Bu çalışmada, 2.000'in üzerinde SKU ile çalışan bir Türk gıda perakende zincirinin haftalık ürün listeleme ve listeden çıkarma kararları, yapay zekâ destekli uçtan uca bir karar destek mimarisi içerisinde ele alınmıştır. Önerilen yapıda ürün yaşam döngüsü sınıflarına duyarlı ayrıştırılmış bir talep tahmin katmanı geliştirilmiştir. Soğuk başlangıç koşulundaki yeni ürünler için büyük dil modeli (LLM) tabanlı anlamsal temsiller üzerine kurulu kohort tabanlı geri çağırma çerçevesi kullanılmıştır. Sınırlı satış geçmişine sahip ürünler için bilgilendirici önsel dağılımlarla beslenen Bayesian Bass difüzyon modeli uygulanmıştır. Düzenli satan ürünler için ise gradyan artırma esaslı algoritmalar tercih edilmiştir. Tahmin çıktıları, toplam brüt katkı payını en arttırmayı hedefleyen bir karma tamsayılı programlama modeline girdi olarak aktarılmıştır. Modele raf alanı kapasitesi, kategori çeşitliliği ve tedarikçi bütçesi kısıtları dâhil edilmiş; problemin NP-Zor yapısı nedeniyle gerçek ölçekli örnekler metasezgisel algoritmalarla çözülmüştür. Geriye dönük test simülasyonlarından ve ileriye dönük pilot uygulamalarından elde edilen sayısal sonuçlar, hedeflenen başarı kriterlerinin (stok devir hızı, yeni ürün kaynaklı ciro oranı) üzerinde performans üretildiğini ortaya koymuştur. Önerilen çerçeve; ürün yaşam döngüsüne duyarlı ayrıştırılmış tahmin mimarisini, büyük dil modeli tabanlı anlamsal temsil katmanını ve yapay zekâ tahminleriyle beslenen optimizasyon modülünü tek bir kurumsal karar destek sisteminde bütünleştirmektedir. Bu yönüyle çalışma, literatürde ağırlıklı olarak homojen ürün kümesi varsayımı üzerine kurulu mevcut yaklaşımlardan ayrışmakta ve perakende kategori yönetimine bütünleşik bir sistem sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Perakendecilik, Kategori yönetimi, Çeşit planlaması, Talep tahmini, Optimizasyon, Anlamsal gömme, Bass difüzyon modeli

400 – Hub-Merkezli Hava Kargo Ağlarının Entegre Çok Düzeyli Optimizasyonu: Stratejik Tasarım, Taktik Planlama ve Operasyonel Kurtarma

Yavuz Durdak *Türk Hava Yolları / Turkish Technology*

At a major cargo hub, three things are usually planned separately: the network the airline designs, the weekly plan it runs, and the way it recovers when something goes wrong. Each is handled by a different model, team, and tool. This paper uses an integrated, multi-level optimization framework for a hub-centric air cargo network built around Istanbul Airport (IST) to make one simple point. Much of the value an airline loses comes not from any single planning problem being hard, but from these decisions being disconnected. When strategic design, tactical planning, and operational recovery are linked through a shared view of the network and clear handoffs between levels, the airline gets more service and more contribution from the same aircraft, and its plans are easier to recover when disruptions hit. The paper describes the framework at a high level, notes how each level is solved, reports the main findings from realistic, full-scale tests, and focuses on what all of this means for how an air cargo organization should plan, measure, and invest.

Keywords: air cargo, hub network planning, integrated decision-making, planning under uncertainty, disruption recovery, decision support.

401 – Makroekonomik Kırılganlıktan Kurumsal Dayanıklılığa: Sistem Dinamikleri ile Senaryo Tabanlı Strateji Modellemesi

Abdulkadir Gürbüz *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi*

Gelişmekte olan ekonomilerde faaliyet gösteren kurumlar; döviz kuru volatilitesi, kronik enflasyon ve krediye erişim engelleri gibi eş zamanlı şoklara maruz kalmaktadır. Geleneksel doğrusal ekonometrik modeller, değişkenler arasındaki geri besleme döngülerini ve gecikmeli etkileri göz ardı ettiği için stratejik öngörü sağlamada yetersiz kalır. Bu çalışma; döviz kuru, enflasyon, kamu borcu, kurumsal kalite ve Ar-Ge faaliyetleri arasındaki yapısal etkileşimleri Sistem Dinamiği (System Dynamics) metodolojisiyle modellemektedir. Temel amaç, karmaşık makroekonomik problemleri indirgemeci bir yaklaşımla basitleştirmek yerine yapısal olarak haritalandırmak ve makro risklerin ekonomik büyüme ve sektörel kırılganlıklara yansımalarını simüle eden "senaryo tabanlı" dinamik bir karar destek mekanizması sunmaktır. Bu sayede ulusal ekonomik politikaların yanında, reel sektör ve iş dünyası için de kriz anlarında kör noktaları aydınlatan ve stratejik dayanıklılık inşa etmelerine olanak tanıyan, nedensellik temelli ve yapı odaklı bir karar destek mekanizması sağlanmaktadır.

Teorik temellerin yanı sıra değişkenler arası ilişkilerin veri analizleriyle doğrulandığı bu hesaplamalı model, makroekonomiyi birbirinden bağımsız değişkenler yığını olarak değil, birbiriyle konuşan ve birbirini tetikleyen organik bir sistem olarak ele almaktadır. Model örneğin, yapısal kısıtların nasıl enflasyona dönüştüğünü, bunun da faiz oranları üzerinden kredi hacmini nasıl daralttığını ve bu finansal sıkışıklığın Ar-Ge faaliyetlerine ve dolayısıyla üretkenliğe nasıl olumsuz etki bırakıp yapısal kısıtları daha da kısırlaştırdığını ardışık nedensellik zincirleriyle haritalandırmakta ve sistem içerisinde birbirini besleyen/dengeleyen buna benzer döngüler ortaya çıkarmaktadır. Kurulan bu dinamik yapı, politika yapıcılar ve kurumsal strateji departmanları için farklı içsel ve dışsal şokların sistemdeki uzun vadeli dalgalanmalarını test edebilecekleri analitik bir laboratuvar ortamı sağlamaktadır.

Metodolojinin sunduğu analitik esneklik, kurulan nedensellik mimarilerinin şirket düzeyinde stratejik darboğazları çözmek için de uyarlanabileceğini göstermektedir. Sistem Dinamiği, kurumsal krizleri salt dış şokların değil, şirketlerin kendi içsel yapısının ürettiği bir sonuç olarak görür. Yönetimsel kararların yarattığı doğrusal olmayan karmaşık etkileşimlerin, zaman gecikmelerinin ve nakit gibi kritik birikimlerin insan sezgisiyle hatasız öngörülemeyeceği gerçeğinden yola çıkarak; karar alıcıların zihinlerindeki eksik varsayımları risksiz test edebilecekleri dinamik bir karar destek simülatörüne dönüştürür. Örneğin; ani bir tedarik zinciri fiyat şokunun üretim firmasının işletme sermayesini nasıl hızla erittiği, bu nakit açığının zaman gecikmeli olarak inovasyon ve kalite yatırımlarını nasıl durdurduğu ve nihayetinde müşteri veya pazar payı kaybıyla sonuçlanarak nakit krizini daha da derinleştirdiği o yıkıcı sarmal da tam bu dinamik modelleme yaklaşımıyla simüle edilebilir.

Politika analizi sonuçları, sürdürülebilir büyüme için tek boyutlu müdahalelerin yetersiz kaldığını kanıtlamaktadır. Kurumsal strateji perspektifinde bu durum; şirketlerin kriz dönemlerinde salt finansal risklere odaklanmak yerine; finans, teknoloji ve operasyonel dayanıklılık hedeflerini "bütüncül bir mimari" altında birleştirmelerinin kaçınılmaz olduğuna işaret eder. Simülasyon çıktılarına göre, şeffaf kurumsal yönetişim şirketler için sıradan bir itibar unsuru olmaktan çıkıp, şokları emen "birincil stratejik kalkan" haline gelmiştir. Ayrıca, imalat derinliğinden ve teknolojik yatırımlardan taviz veren yapıların uzun vadede çöktüğü doğrulanmıştır. Kaynakların katma değeri yüksek üretime tahsis edilmesi, üretkenlik ve büyüme üzerinde net bir çarpan etkisi yaratmaktadır. Kısa vadeli bilanço kurtarma refleksleriyle öz üretim kapasitesinden vazgeçmek, kurumların yapısal rekabet güçlerini kalıcı olarak yok etmektedir.

Belirsizliklerin ve çoklu krizlerin yapısal bir norma dönüştüğü mevcut makroekonomik konjonktürde, kurumların salt geçmiş veriye dayalı doğrusal modellerle risk yönetmesi zor hale gelmiştir. Şirketlerin sürdürülebilir büyümesi; gelecekteki potansiyel şokların operasyonel derinlik, inovasyon kapasitesi ve bilançoları üzerindeki karmaşık etkileşimlerini önceden haritalandırmasına ve dinamik "what-if" senaryolarıyla test edebilmesine bağlıdır. Bu bağlamda, çalışmada geliştirilen Sistem Dinamiği mimarisi, katı gelecek tahminleri sunan bir kehanet aracı olmaktan ziyade, karar alıcıların farklı şokların ve stratejik tercihlerin birbiriyle nasıl etkileşime girdiğini test edebilecekleri analitik bir "pusula" işlevi görmektedir. Ortaya konan bu araştırma vizyonu; çağdaş piyasa koşullarında karar alıcılara ve strateji ekiplerine krizlere karşı günübirlik ve reaktif savunmalar yapmak yerine; finans, teknoloji ve kurumsal kalite hedeflerini tek bir mimaride entegre eden, nedensellik temelli ve proaktif bir dayanıklılık inşa etme yetkinliği sunmaktadır

402 – NSGA-II Tabanlı Çok Amaçlı Kalıp-Makine Atama ve Proses Parametre Optimizasyonu Plastik Enjeksiyon Uygulaması

Murat Kaya *ETKA-D Otomotiv Plastik Kalıp San. Tic. Ltd. Şti.*
Melike Genç *ETKA-D Otomotiv Plastik Kalıp San. Tic. Ltd. Şti.*
Barış Elagöz *ETKA-D Otomotiv Plastik Kalıp San. Tic. Ltd. Şti.*

Plastik enjeksiyon üretim sistemlerinde artan ürün çeşitliliği, değişken üretim talepleri ve kalite odaklı üretim yaklaşımı, kalıp–makine eşleştirme ve proses parametre yönetimi problemlerini klasik üretim planlama yapılarının ötesine taşımaktadır. Özellikle farklı tonaj, enjeksiyon kapasitesi ve teknik özelliklere sahip makineler ile yalnızca belirli ekipmanlarda çalışabilen kalıpların aynı üretim sistemi içerisinde yer alması, karar sürecini çok amaçlı ve kısıtlı bir optimizasyon problemine dönüştürmektedir. Bu çalışmada, plastik enjeksiyon üretim ortamlarında çevrim süresi ve fire oranının eş zamanlı iyileştirilmesine yönelik NSGA-II tabanlı iki aşamalı bütünleşik bir optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. İlk aşamada kalıp–makine atama problemi ele alınmış; teknik uygunluk kısıtları dikkate alınarak çevrim süresi ile fire oranının minimizasyonu amaçlanmıştır. İkinci aşamada ise birinci aşamada elde edilen Pareto-optimal kalıp–makine eşleşmeleri sabit kabul edilerek enjeksiyon basıncı, eriyik sıcaklığı ve enjeksiyon hızı parametreleri üzerinden proses optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti, otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren ETKA-D firmasına ait gerçek üretim kayıtlarından oluşturulmuştur. Gerçek üretim verileri üzerinde gerçekleştirilen analizlerde, makine seçimi ile proses parametre kombinasyonlarının üretim performansı üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmüş; düşük çevrim süresi sağlayan bazı çözümlerin fire oranını artırabildiği, düşük fire oranına odaklanan çözümlerin ise çevrim süresini uzatabildiği belirlenmiştir. NSGA-II algoritması tarafından oluşturulan Pareto-optimal çözüm kümeleri sayesinde üretim yöneticilerine farklı üretim önceliklerine göre değerlendirilebilecek alternatif karar senaryoları sunulmuştur. Elde edilen bulgular, operasyonel planlama kararları ile proses parametre optimizasyonunun birbirinden bağımsız ele alınmasının alt-optimal sonuçlar oluşturabileceğini göstermekte; önerilen yaklaşımın üretim verimliliği, kalite performansı ve karar destek sistemleri açısından endüstriyel uygulanabilir bir yapı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon, NSGA-II, Çok Amaçlı Optimizasyon, Kalıp–Makine Atama, Proses Parametre Optimizasyonu

403 – Otonom Sistemler Entegreli Bütünleşik Karar Destek ve Depo Optimizasyonu

Esma Aslan *KTO Karatay Üniversitesi*
Rukiye Tekin *KTO Karatay Üniversitesi*

Bu çalışma, üretim sahalarında endüstri mühendisliği prensiplerini kullanarak otonom sistemlerle entegre edilmiş depo operasyonlarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Proje kapsamında, üretim sahasından çıkan ürünlerin otonom forklift sistemleri ile raflara yerleştirilmesini ve Kanban kart sistemi ile takip edilmesini sağlayan akıllı bir depo prototipi geliştirilmiştir. Günümüz tesislerinde stok takibinin manuel yapılması; gereksiz taşıma maliyetlerine, sipariş sürelerinin uzamasına ve düzensiz stok takibine yol açmaktadır. Bu problemleri aşmak için farklı mühendislik disiplinlerinin kabiliyetleri birleştirilerek donanım-yazılım entegrasyonu sağlanmıştır. Geliştirilen bu sistem, modüler ve esnek mimarisi sayesinde endüstrideki her türlü sisteme ve kurumsal altyapıya entegre edilmek üzere tasarlanmıştır. Modelin bu evrensel yapısı, farklı sektörlerin lojistik gereksinimlerine hızla uyarlanabilmesine olanak tanımaktadır. Örneğin, projenin uygulanmak istendiği sektör gıda veya süt ürünleri ise; ürünlerin olgunlaşma/mayalanma süreleri, raf ömrü kısıtları ve soğuk zincir gereksinimleri gibi sektörel dinamiklere dikkat edilerek model kolaylıkla revize edilebilmekte ve sisteme yeni kısıt denklemleri eklenebilmektedir.

Sistemin teorik altyapısını oluşturmak ve karar destek mekanizmasını test etmek amacıyla sahaya ait parametreleri yansıtan sentetik bir veri seti üretilmiştir. Depo süreçlerinde işlenecek stok kalemleri öncelikle devir hızları ve yıllık kullanım değerlerine göre Pareto analizine tabi tutulmuştur. Toplam 14.000 adetlik yıllık talebe ve 600.000 TL bütçe hacmine sahip yapay veri setinde; A ürünü (yüksek devir, %83,33 değer payı), B ürünü (orta devir, %15.00 değer payı) ve C ürünü (düşük devir, %1,67 değer payı) olarak sınıflandırılmıştır.

Geleneksel ABC yerleşim kuralları uyarınca, yüksek devirli A sınıfı ürünlerin sevkiyat kapısına en yakın raflara, orta ve düşük devirli ürünlerin ise daha uzak lokasyonlara yerleştirilmesi öngörülür. Ancak sistem üzerinde yapılan algoritmik analizlerde, A ve B ürünlerinin tamamlayıcı ürünler olduğu tespit edilmiştir. Klasik yerleşim düzeni uygulandığında, otonom forkliftler aynı siparişte yer alan bu iki ürünü toplamak için depo içinde fazladan mesafe kat edecek ve bu durum operasyonel israfa neden olacaktır. Bu israfı önlemek adına, Atama Problemi ve Doğrusal Programlama modellerine "tamamlayıcı ürün komşuluk kısıtı" eklenmiştir.

Modelde kullanılan $x_{i,k}$ karar değişkeni; i ürününün k raf lokasyonuna atanması durumunda 1, aksi durumda 0 değerini almaktadır. A ve B ürünlerinin fiziksel olarak birbirine yakın konumlandırılmasını zorunlu kılan kısıt denklemi $x_{A,k} \leq \sum_{l \in N(k)} x_{B,l}$şeklinde ifade edilmiştir. Burada N(k), k lokasyonunun fiziki komşuluk alanını temsil etmektedir. Bu matematiksel kısıt sayesinde B ürünü, kendi devir hızı sınıflandırmasından bağımsız olarak, sıkça birlikte talep edildiği A ürününün komşu lokasyonlarına çekilmektedir.

Geliştirilen matematiksel modelin doğrulanması amacıyla hazırlanan altyapı, Arena simülasyon yazılımı üzerinde test edilmiş ve optimizasyon algoritmaları otonom forkliftlerin yazılım altyapısına entegre edilmiştir. Eğer simülasyon sistemi kullanılırsa, tamamlayıcı ürün kısıtlı otonom yerleşim modelinin sipariş toplama sürelerinde %22 oranında bir iyileşme sağladığı sonucu elde edilmektedir. Ayrıca geçmiş satış verileri üzerinde zaman serisi analizi gibi talep tahmini yöntemleri kullanılarak güvenlik stoğu seviyeleri optimize edilmekte ve stok tutma maliyetlerinde yıllık %15 tasarruf öngörülmektedir. Sonuç olarak çalışma, yöneylem araştırması yöntemleri ile otonom teknolojileri esnek bir entegrasyon altyapısında birleştirerek işletmelere uygulanabilir, ölçülebilir ve farklı sektörlere genişletilebilir bir dijital dönüşüm modeli sunmaktadır.

404 – Elektrikli Araçların Yaygınlaşmasının Elektrik Üretim Planlamalarına Ektileri: Şarj Altyapısı Gelişimini Dikkate Alan Çok Amaçlı Optimizasyon

Engin Çiçek *Marmara Üniversitesi*
Hatice Tekiner Moğulkoç *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Mehmet Yasin Ulukuş *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Abdullah Kayacan *Boğaziçi Üniversitesi*
Murat Bilsel *Marmara Üniversitesi*
Ali Osman Kabil *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Bahadır Tunaboylu *Marmara Üniversitesi, Sultan Qaboos University*

Elektrikli araçların (EA) yaygınlaşması, yüksek belirsizlik ve karmaşık mekân ve zamansal paternlere sahip yeni bir elektrik talep kaynağı oluşturmakta, bu da Üretim Genişleme Planlaması (Generation Expansion Planning – GEP) açısından önemli zorlukları beraberinde getirmektedir. Geleneksel diğer talep kaynaklarından farklı olarak, EA şarjına bağlı elektrik talebi, teknik faktörler, şarj altyapısı ve kullanıcı tercihleri gibi çeşitli etkenlere bağlı olduğundan, yükün hem zamanlamasında hem de büyüklüğünde önemli değişkenliklere neden olmaktadır. Şarj kararları çoğu zaman günlük kullanım paternleri, menzil kısıtları, fiyatlandırma ve şarja erişim gibi unsurlardan etkilenmekte; bu durum ise geleneksel konut veya ticari tüketim profillerine kıyasla daha az öngörülebilir ve daha dağınık talep yapılarının oluşmasına yol açmaktadır. EA kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte bu ek talebin toplam elektrik tüketimi içerisinde kayda değer bir paya ulaşması, puant yük koşullarını değiştirmesi ve mevcut üretim kapasitesi üzerinde ilave baskı oluşturması beklenmektedir. Bu etkiler, gelecekteki EA penetrasyonu ve şarj altyapısının gelişimine ilişkin belirsizliklerle birlikte uzun vadeli talep tahminlerini giderek daha karmaşık hale getirmektedir. Nispeten kararlı elektrik talebi projeksiyonlarına dayanan geleneksel GEP yaklaşımları, bu dinamikleri yeterince temsil edememekte ve sonuç olarak üretim kapasitesi yatırımlarında yetersiz veya aşırı yatırım gibi verimsiz planlama kararlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle, EA kaynaklı talebin yapısal özelliklerini ve bu talebin arz tarafı planlamasıyla etkileşimini açık biçimde dikkate alan modelleme yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, EA kaynaklı yük karakteristiklerini GEP problemine entegre ederek farklı gelecek senaryoları altında uzun dönemli üretim planlaması üzerindeki etkilerini incelemektedir.

Bu kapsamda, çalışmada EA kaynaklı talebini uzun dönemli kapasite planlama kararlarına entegre eden çok amaçlı bir GEP modeli geliştirilmiştir. Önerilen model, doğrusal programlama ile üretim yatırımı ve üretim miktarı kararlarının operasyonel ve teknik kısıtlar altında optimize edildiği çok bölgeli ve çok dönemli bir çerçeveye dayanmaktadır. Model, Türkiye elektrik sistemi için 2025–2040 dönemini kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. EA şarjına bağlı elektrik talebi, geliştirilmiş bir benzetim modeli aracılığıyla elde edilen yük profilleri kullanılarak sisteme ek talep bileşeni olarak dahil edilmiştir. Söz konusu benzetim yapısı; farklı kullanıcı davranışları ve altyapı varsayımları altında EA şarj profilleri üretmektedir. Geleneksel talep ile EA kaynaklı talebin tutarlı biçimde temsil edilebilmesi amacıyla temsil günleri oluşturulurken asıl baz yük eğrileri ile aynı temsili günler için üretilen EA şarj yük profilleri eşleştirilmiş, böylece hem mevsimsel değişkenlik hem de gün tipi farklılıkları (iş günleri ve iş günü olmayan günler) ortak orak yansıtılmıştır. Modelin amaç fonksiyonu toplam sistem maliyetini ve CO_2 emisyonlarının ağırlıklı toplamını minimize edecek şekilde tanımlanmış; böylece farklı ağırlık kombinasyonları altında Pareto-etkin çözümler elde edilerek ekonomik verimlilik ile çevresel performans dengesi analiz edilmiştir. Maliyet bileşeni yatırım, işletme ve yakıt maliyetlerinden oluşurken; emisyon bileşeni farklı üretim teknolojilerine bağlı karbon salımlarını temsil etmektedir. Model ayrıca her bölge ve saat bazında arz-talep dengesi, yeni kapasite yatırım ve hizmet dışına ayırma kararları ve yeni bağlanabilir kapasite limitleri gibi standart GEP kısıtlarını içermektedir. Sayısal çalışma kapsamında, düşük ve yüksek EA penetrasyon seviyeleri ile farklı şarj altyapısı erişilebilirlik düzeylerini bir araya getiren çeşitli senaryolar oluşturularak planlama sonuçlarının EA kaynaklı temel parametrelere duyarlılığı incelenmiştir. Her senaryo için model farklı amaç ağırlıkları altında çözülmüş, Pareto eğrileri elde edilerek optimal çözümlerde meydana gelen değişimler analiz edilmiştir. Bulgular, EA penetrasyonundaki artışın toplam elektrik talebini ve puant yük seviyelerini belirgin biçimde yükselttiğini, bunun da özellikle esnek ve yük takip kabiliyeti yüksek üretim kaynaklarına yönelik ilave kapasite yatırımlarını gerektirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, toplam sistem maliyetindeki artışın, talepteki büyümenin ölçeğine kıyasla görece sınırlı kaldığı ve uygun genişleme kararları altında sistemin EA kaynaklı talebi büyük maliyet artışı oluşturmadan karşılayabildiği görülmüştür. Diğer taraftan, yüksek EA penetrasyonunun, özellikle emisyon duyarlı

amaç fonksiyonları altında, yenilenebilir enerji teknolojilerine daha fazla pay sağlayabilmektedir. Yapılan analizler ayrıca şarj altyapısı özelliklerinin sistem davranışı üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Genel olarak sonuçlar, EA kaynaklı talebin optimal yatırım kararlarına ve maliyet–emisyon dengesi üzerinde belirleyici role sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 221M111 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

405 – A Triangular Fuzzy Koczkodaj-Based Consistency Diagnosis for Natural Hazard Risk Management

Zeynep Burcu Kızılkan Demir *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Başar Öztayşi *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Consistency assessment is a critical issue in Analytic Hierarchy Process (AHP) based decision making, particularly in risk related problems where inconsistent judgments may lead to misleading priorities and inadequate risk management decisions. The AHP is widely used in complex decision problems and deriving priority weights from pairwise comparisons. However, the reliability of these priorities depends strongly on the internal consistency of the judgments provided by the decision maker. When pairwise comparisons are inconsistent, the final priority vector may become misleading even if the computational procedure is correctly applied. This issue becomes even more important in safety critical risk assessment problems, since priority weights may influence preventive actions, resource allocation, mitigation strategies, emergency planning, and managerial attention. If a high risk factor is underestimated due to inconsistent judgments, the decision process may lead to inadequate recommendations. Conversely, overemphasizing a less critical risk factor may result in inefficient use of limited resources. Although fuzzy AHP is widely used to represent uncertainty and linguistic vagueness in pairwise comparisons, the consistency of fuzzy comparison matrices is still commonly evaluated after defuzzification. In fuzzy AHP, exact comparison values are replaced by fuzzy numbers, most commonly triangular fuzzy numbers, so that linguistic evaluations can be represented by a range of possible values rather than by a single crisp ratio. However, transforming fuzzy judgments into crisp values before evaluating consistency may cause information loss and may hide local inconsistencies among specific criteria. Moreover, a single global consistency value may indicate that a matrix is acceptable while still failing to show where the inconsistency originates within the matrix. To address this limitation, this study applies a newly developed triangular fuzzy Koczkodaj based consistency index to a natural hazard risk management problem in surface mining projects. The index is proposed as a triangular fuzzy extension of the classical Koczkodaj consistency measure. Its novelty lies in evaluating inconsistency directly through triangular fuzzy numbers rather than transforming the fuzzy pairwise comparison matrix into a crisp matrix. Therefore, the proposed index preserves the uncertainty embedded in linguistic judgments and enables the identification of local inconsistency within the fuzzy environment itself. In many applied fuzzy AHP studies, once the global consistency condition is satisfied, the priority weights are accepted and the analysis proceeds directly to interpretation. However, this may be insufficient in risk assessment problems where the relationships among criteria are conceptually connected. Atmospheric, hydrological, geological, fire related, and biological hazards may influence one another, and an inconsistency among only three of these factors may change the meaning of the final prioritization. Therefore, identifying the most inconsistent triad helps the analyst understand whether the judgment structure is logically coherent before using the weights for managerial recommendations. This makes the proposed index useful as an explanatory tool for decision support. The application is based on a triangular fuzzy AHP pairwise comparison matrix involving five natural hazard risk factors in surface mining projects: atmospheric, geological, hydrological, fire related, and biological hazards. Surface mining operations are exposed to several natural hazards that may affect worker safety, environmental conditions, production continuity, equipment integrity, and operational costs. In such a context, reliable prioritization of risk factors is highly important because the resulting weights may guide preventive planning and risk mitigation decisions. Instead of focusing only on the final priority weights, this study examines the internal consistency structure of the fuzzy comparison matrix at the triad level. For each triad, the deviation from multiplicative transitivity is evaluated directly in the triangular fuzzy domain, and the most inconsistent triad is identified. The proposed analysis shows how a fuzzy AHP matrix that may be globally acceptable according to conventional consistency checks can still contain localized judgment conflicts. By analyzing the criterion combinations responsible for the highest inconsistency, the approach provides diagnostic feedback for revising pairwise comparisons before accepting the final risk priorities. Thus, the study demonstrates the practical value of triangular fuzzy Koczkodaj consistency assessment in safety critical decision problems, where preserving fuzzy judgment information and improving consistency are essential for reliable risk prioritization.

406 – Dijital Ürün Yönetim Süreçlerinin Analiz Edilmesi ve İyileştirilmesine Geleneksel Süreç Yönetimi İyileştirme ve Kalite Kontrol Yöntemlerinin Entegre Edilmesi

Mustafa Kacan *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Selçuk Alp *Yıldız Teknik Üniversitesi*

Türkiye'de havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir hava yolu şirketinin dijital kanal kullanıcıları için hizmet veren yapay zeka temelli ve insanların yazılı, sözlü veya görsel olarak ilettikleri ifadeleri anlayarak o ifadelere doğru, anlamlı geri dönüşler sağlama mantığı ile hareket eden NLP (Natural Language Processing-Doğal Dil İşleme) arka plan mimarisi ile çalışan kurumsal chatbotunun (sohbet platformunun) dijital ürün yönetim süreçlerinin analiz edilmesi ve iyileştirilmesi adına; işletmelerin hataları veya kusurları minimize ederek kalite ve verimliliği maksimize etmeyi hedefledikleri, veri odaklı yönetim ve iyileştirme metodolojisi olarak kullandıkları "6-Sigma" metodolojisinin özünü oluşturan 5 basamaklı "DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control---Tanımlama-Ölçme-Analiz Etme-Geliştirme-Kontrol Etme)" sistematik yönetim çerçevesinden faydalanılmıştır. 2025 yılı Ocak-Temmuz ayları arasında, muhtemel kullanıcı niyetlerine göre başlıkları belirlenerek sınıflandırılmış ve her biri içerisinde en az 20, en fazla 2400 muhtemel kullanıcı girdisi barındıran 61 alt niyet kütüphanesinden beslenen kurumsal chatbotun dijital ürün yönetim süreçlerinin analiz edilmesi ve iyileştirilmesinde araç olarak kullanılan "DMAIC" sistematik yönetimi çerçevesinde, sırasıyla; ilk basamak olan "Tanımlama" safhasında, kurumsal chatbotun aksayan tüm süreçlerinin ve problemlerinin tanımlanarak tasnif edilmesi sağlanmıştır. Buradan hareketle, dijital kanal kullanıcılarının hatalı, eksik veya tümüyle yanlış girdileri neticesinde yönlendirilmesi gereken alt niyet kütüphanesi yerine başka bir alt niyet kütüphanesine yönlendirilmesinin; dijital ürün hizmet kalitesinin, memnuniyetinin ve sadakatinin düşmesinde en büyük etken olarak rol oynadığı saptanmıştır. "DMAIC" metodolojisinin ikinci aşaması olan "Ölçme" aşamasında, aylık periyotta yapay zekanın kullanıcı girdilerini ilgili alt niyetlere yönlendirmede esas aldığı chatbot genel ve alt niyet bazlı ifade yakalama performans ve skor dağılım değerleri incelenerek dijital ürün yöneticileri tarafından belirlenen 5'li ifade yakalama skalasında (Çok Güçlü-Güçlü-Orta-Zayıf-Çok Zayıf) bu değerlerin hem nicelik hem de nitelik olarak hangi seviyelerde seyrettiği takip edilmiştir. Üçüncü aşama olan "Analiz" aşamasında; alt niyet kütüphanelerinden hangilerinin öncelikli olarak iyileştirileceğinin saptanmasında ve yapılan uygulama çalışmasının hangi alt niyette ne ölçüde başarısız ifade yakalama performans değerlerini değiştirdiğini takip etmede ve buna göre karar destek sistemlerini işletmede araç olarak "Pareto Analizi (80-20 Kuralı)"nden istifade edilmiştir. Problemlerin %80'inin çözümlenmesinde, tüm problem kök nedenlerinin %20'sinin ortadan kaldırılması yeterli olacaktır mantığını temel alan "Pareto Analizi" hem elle (manuel) alt niyet kütüphanelerinin iyileştirilmesi süreçlerinin oldukça yüksek bir efor istemesinden dolayı, çalışmaya maksimum olumlu etkiyi yapacak alt niyet kütüphanelerinin tespit edilmesinde hem de başarısız ifade yakalama performanslarının alt niyetlere göre dağılımının aylık olarak seyrinin takip edilmesi ile başarısız ifade oranı yüksek olan alt niyet kütüphanelerine yapılan müdahalelerin, kurumsal chatbot genel performansını hangi ölçüde iyileştirdiğini analiz etmede kullanılmıştır. "DMAIC" metodolojisinin dördüncü aşaması olan "Geliştirme" aşamasında ise chatbot genel ve alt niyetler bazında ifade yakalama performans dağılım skalasına göre "Çok Güçlü İfade Yakalama Performans" değerlerinin oransal olarak değişimi ile uygulamada kat edilen gelişim ortaya konulmuştur. Son aşamada ise, uygulamanın, dijital ürünün tüm anahtar ifade yakalama performans değerlerine ne ölçüde etki ettiği ortaya konularak bir kurumsal chatbotun alt niyet kütüphanelerinde yapılacak böyle bir uygulama çalışmasının hangi şartlarda, hangi anahtar performans değerlerinde nasıl bir değişime yol açtığı gösterilerek uygulama çalışmasının sonuçları ve bulguları paylaşılmıştır. “DMAIC” sistematik yönetim çerçevesinin dijital ürün yönetim süreçlerinin analiz edilmesi ve iyileştirilmesi süreçlerine entegre edilmesi ile hayata geçirilen çalışmanın gözlemlenen sonuçları şu şekilde ortaya konulmuştur; Ocak 2025-Temmuz 2025 döneminde, kurumsal chatbotun mevcut “61” alt niyet kütüphanesinden “10” adedi seçilerek her bir alt niyet kütüphanesine ait ifadelere belirli aylarda elle (manuel) olarak ifade eklemesi yapılmıştır. Uygulama çalışmasında; ifade yakalama skalasında nitel olarak “Güçlü” nicel olarak ise “0.95-0.99” skor aralığına (yapay zekanın ifadeyi götüreceği alt niyet kütüphanesini belirlemede kullandığı eşleşme skoru) denk gelen ifadelerin ilgili alt niyet kütüphanelerine eklenmesi neticesinde; sonraki aylarda, ifade yakalama skalasına göre “Çok Güçlü” nitelik ve bu niteliği karşılayan “1.00” nicelik oranında, tam puanlı bir skor ile “kullanıcı girdi-alt niyet kütüphane ifade” eşleşme oranlarının artırılarak kurumsal chatbot ifade yakalama anahtar performans değerlerinin iyileştirilesine odaklanılmıştır. Şubat 2025 ve sonrası dönemlerde, genel ve alt niyet bazlı performans

ölçümlemelerinde "%20 – %80" değer aralığında değişen oranlarda nicel olarak "1.00" skorlu eşleşmeleri temsil eden “Çok Güçlü” nitel ifade yakalama performans değerlerinin arttığı görülmektedir. Yine, yapılan uygulama çalışmasının; genel ve alt niyet bazlı performans iyileştirme süreçlerindeki “Çok Güçlü” ifade yakalama performans artışı ile ilişkisini ortaya koyan regresyon analizi sonuçları da göstermektedir ki; uygulamanın çok güçlü ifade yakalama performansına dönük anahtar performans değerlerini iyileştirme süreçlerine olan etki seviyesi nitel olarak “Güçlü İlişki” seviyesine tekabül eden “0.56” nicel değerini yakalamaktadır. Sonuçta, arka plan mimarisinde NLP mantığıyla çalışan bir yapay zekayı kullanan yeni nesil bir dijital ürüne ait performans iyileştirme süreçlerinin analizinde ve iyileştirilmesinde geleneksel “DMAIC” uygulaması ile sürece güçlü pozitif etki eden sonuçlar ortaya konulmuştur.

408 – Tedavi Sürelerindeki Belirsizlik Altında Kemoterapi Planlaması

Günsu Dağıstanlı Çallı *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*
Serhat Gül *TED Üniversitesi*
Melih Çelik *University of Bath*

Nüfus artışı ve kanserojen maddelere maruziyetin yükselmesi nedeniyle kemoterapi tedavilerine yönelik küresel talebin artması, onkoloji klinikleri için önemli operasyonel zorluklar oluşturmaktadır. Kemoterapi ünitelerinin sınırlı kapasiteleri, yüksek hasta bakım standartlarını korurken kaynak kullanımını optimize edecek etkin planlama ve çizelgeleme yöntemlerini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, her hasta için birden fazla kemoterapi seansının planlama ufku boyunca atanması problemi, tedavi sürelerindeki belirsizlik dikkate alınarak ele alınmaktadır. Problem için iki aşamalı stokastik karma tamsayılı programlama (SMIP) modeli geliştirilmiştir. İlk aşamada hasta tedavilerinin belirli koltuk ve günlere atanması gerçekleştirilirken erkenlik ve gecikme sapmaları belirlenmektedir. İkinci aşamada ise tedavi sürelerinin gerçekleşmeleri dikkate alınarak gerekli fazla mesai süreleri hesaplanmaktadır.

Hastalar, ilk tedavisi henüz planlanmamış olanlar (P_F) ve en az bir seans geçirmiş olanlar ($P \setminus P_F$) olarak iki gruba ayrılmaktadır. İlk kez planlanan hastalar için talep tarihi ile tedavi başlangıcı arasında minimum f_i ve maksimum l_i günlük bekleme süresi tanımlanmaktadır. Tedavilerin tercih edilen aralık dışında planlanması durumunda erkenlik veya gecikme cezaları uygulanmaktadır. Ayrıca ilk seanstan sonraki tedaviler için ardışık randevular arasında minimum r_i^{min} ve maksimum r_i^{max} dinlenme süreleri tanımlanmakta, bu aralığın dışındaki planlamalar da cezalandırılmaktadır. Tedaviler tercih edilen aralık içinde planlandığında klinik daha erken günleri tercih etmekte ve aralığın geç günlerine yapılan atamalar için günlük ceza uygulanmaktadır. Planlama dönemi içinde yerleştirilemeyen tedaviler sonraki döneme ertelenmekte ve buna bağlı ceza maliyeti oluşmaktadır. Modelde her koltuğun belirli bir hemşireye atanmış olduğu varsayılmaktadır. Böylece hemşireler yalnızca kendi koltuklarındaki hastalardan sorumludur ve hasta koltuğa atandığında ilgili hemşire de dolaylı olarak belirlenmektedir. Hastalar ihtiyaç duydukları hemşire desteğine göre sınıflandırılmakta ve dengeli iş yükü sağlamak amacıyla her hemşirenin günlük hasta kapasitesine sınırlamalar getirilmektedir.

SMIP modelinde hasta tedavileri ilk aşamada koltuklara atandıktan sonra her tedavi süresi gerçekleşmesi için ikinci aşama problemi çözülmekte ve fazla mesai değerleri hesaplanmaktadır. Fazla mesai, belirli bir eşik değere kadar düşük oranla cezalandırılırken eşik sonrası daha yüksek ceza oranı uygulanmaktadır. Modelin çözümünde stokastik programlamada yaygın olarak kullanılan senaryo azaltma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, orijinal senaryo kümesini daha küçük bir senaryo kümesiyle temsil ederek çözüm süresini önemli ölçüde azaltmayı amaçlamaktadır. Literatürde senaryo azaltma yöntemleri dağılım tabanlı ve problem tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dağılım tabanlı yöntemler yalnızca rassal girdilere odaklanırken, problem tabanlı yöntemler model çıktıları ve amaç fonksiyonu değerlerini dikkate almaktadır. Keutchayan et al. (2023) tarafından geliştirilen Problem Tabanlı Senaryo Kümeleme (PSC) yöntemi, senaryoları kümeleme hatasını minimize edecek şekilde gruplandırmakta ve her kümeden bir temsilci senaryo seçmektedir. Kümeleme hatası, temsilci senaryonun amaç fonksiyonu değeri ile aynı kümedeki diğer senaryoların amaç fonksiyonu değerleri arasındaki toplam mutlak fark olarak tanımlanmaktadır. Bu amaçla temsilci senaryoların seçimi ve senaryoların kümelere atanması için bir karma tamsayılı programlama modeli kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Keutchayan et al. (2023) tarafından geliştirilen problem tabanlı senaryo kümeleme algoritması iki alternatif yöntem önerilerek genişletilmektedir. Bu yöntemler çözüm kalitesi ve hesaplama verimliliği açısından karşılaştırılmaktadır. Ayrıca en başarılı yöntem, literatürde yer alan pratik sezgisel yöntemlerle kıyaslanmaktadır. Bunun yanında model, kemoterapi planlamasına yönelik yönetsel içgörüler sağlamak amacıyla kayan ufuk yaklaşımı kullanılarak uygulanmaktadır. Son olarak stokastik çözümün değeri değerlendirilmektedir.

409 – Elektrikli Araç Entegre Enerji Sistemlerinde Temsili Gün Seçiminin Uzun Dönem Üretim Genişletme Planlamasına Etkileri

Ali Osman Kabil *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Murat Bilsel *Marmara Üniversitesi*
Engin Çiçek *Marmara Üniversitesi*
Hatice Tekiner Moğulkoç *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Mehmet Güray Güler *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Mehmet Yasin Ulukuş *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Abdullah Kayacan *Boğaziçi Üniversitesi*
Bahadır Tunaboylu *Marmara Üniversitesi, Sultan Qaboos University*

Elektrikli araçların (EA) artan penetrasyonu, saatlik elektrik talebinde önemli değişkenlik ve belirsizlik oluşturarak uzun dönem üretim genişletme planlaması için yeni zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışma, farklı temsili gün seçimi yöntemlerinin EA entegre enerji sistemlerinde planlama sonuçlarını nasıl etkilediğini incelemektedir. Özellikle, veri indirgeme tekniklerinin tam çözünürlüklü bir referans modele kıyasla yatırım kararlarını ne ölçüde etkilediği değerlendirilmektedir.

Türkiye'nin 2023 yılı elektrik piyasasına ait saatlik talep verileri (temel yük), yıl içi değişkenliği yakalamak amacıyla mevsimsel k-ortalamalar kümeleme yöntemi kullanılarak işlenmiştir. Her küme için hem tipik hem de aşırı işletme koşullarını temsil etmek amacıyla üç temsili gün — merkez, en yüksek talep ve maksimum toplam talep günleri — seçilmiştir. EA şarj talebi ise, farklı ev ve varış noktası şarj erişilebilirliği seviyelerine sahip dokuz şarj altyapısı senaryosu altında Monte Carlo benzetimleri kullanılarak stokastik yük profilleri oluşturulan önceki bir çalışmadan dışsal olarak alınmıştır. Bu stokastik EA yük profilleri daha sonra dört alternatif yaklaşım kullanılarak indirgenmiştir: (i) yumuşatılmış Ortalama Yük profili, (ii) temel istatistiksel özellikleri koruyan Optimizasyon Tabanlı karma tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımı, (iii) sistem performansı tabanlı gruplaymayı merkez gün seçimi ile birleştiren kümeleme tabanlı hibrit yöntem ve (iv) sistem performansı tabanlı gruplaymayı en yüksek talep ve maksimum toplam talep gün seçimi ile birleştiren kümeleme tabanlı hibrit yöntem.

Elde edilen indirgenmiş gösterimler, maliyet ve emisyon hedefleri altında üretim kapasitesi genişletmesi için çok amaçlı bir üretim genişletme planlama modeline entegre edilmiştir. Model sonuçları, tam çözünürlüğü koruyan ve gerçek dünya sistem davranışının bir göstergesi olarak kabul edilen Tüm Günler durumu ile karşılaştırılmıştır. Performans; toplam yatırım, kurulu güç bileşimi ve karşılanamayan talepteki sapmalar açısından değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, değerlendirilen yöntemler arasında tutarlı farklılıklar olduğunu göstermektedir. Kümeleme tabanlı yaklaşımlar, yatırım seviyeleri ve temel planlama göstergeleri bakımından Tüm Günler referansına en yakın sonuçları üretmiştir. Buna karşılık, Ortalama Yük yaklaşımı talep değişkenliklerini yumuşatma eğiliminde olduğundan planlama sonuçlarında sapmalara neden olabilmektedir. Optimizasyon Tabanlı yöntem ise belirli istatistiksel özellikleri korumasına rağmen kritik yüksek talep dönemlerini yeterince temsil edememekte ve bu nedenle referans modele kıyasla daha düşük yatırım seviyeleriyle sonuçlanmaktadır.

Sonuçlar ayrıca, yöntemler arasındaki farklılıkların temel olarak talep değişkenliğini ve aşırı koşulları temsil etme yeteneklerinden kaynaklandığını göstermektedir. Bu özellikleri koruyabilen yöntemler tam çözünürlüklü duruma daha yakın sonuçlar üretirken, basitleştirilmiş gösterimler yatırım kararları ve sistem yeterliliğinde belirgin sapmalara yol açabilmektedir.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 221M111 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

412 – Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının Etkileşiminin Çevresel Perspektiften Analizi

Füsun Ülengin *Sabancı Üniversitesi*
İlker Topcu *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Şule Önsel Ekici *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*
Özgür Kabak *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Özay Özaydın *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Birleşmiş Milletler tarafından 2015 yılında kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları kapsayan evrensel bir çerçeve sunmaktadır. Ancak bu amaçlar birbirinden bağımsız değildir; aksine, birbirleri üzerinde sinerji yaratan veya ödünleşim gerektiren karmaşık bir etkileşim ağına sahiptirler. Özellikle "İklim Eylemi (SKA 13)", "Sudaki Yaşam (SKA 14)" ve "Karasal Yaşam (SKA 15)" gibi çevresel hedeflerin başarısı, sosyoekonomik hedeflerle olan yapısal ilişkilerin doğru anlaşılmasına bağlıdır. Literatürdeki çalışmalar genellikle betimsel ağ analizlerine veya değişkenler arasında önsel hipotezlere dayanan regresyon modellerine odaklanmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar, değişkenler arasındaki olasılıksal nedensellikleri ve sistemin bir bütün olarak yapısını keşfetmekte yetersiz kalabilmektedir.

Bu çalışmada, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini etkileyen yapısal bağımlılıkları, nedensel mekanizmaları ve performans açıklarını belirlemek amacıyla veri temelli, hibrit ve çok aşamalı yeni bir analitik çerçeve önerilmektedir. Bu çerçeve, öncelikle yapısal keşif için Bayes Ağları (BN-TAN)kullanmakta, daha sonra BN-TAN ile ortaya konan olasılıksal nedensellikleri istatistiksel olarak doğrulamak için Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi (PLS-SEM) yönteminden yararlanmakta ve son olarak Önem-Performans Harita Analizi (IPMA) kullanarak politika önceliklendirmesi yapılmasından oluşmaktadır.

Çalışmada, 2000-2022 yılları arasına ait küresel SKA gösterge verileri kullanılmıştır. İlk aşamada, BN-TAN algoritması kullanılarak, herhangi bir önsel uzman yargısına dayanmadan değişkenler arasındaki koşullu bağımlılıklar ve veri temelli ağ yapısı ortaya çıkarılmıştır. Bu yaklaşım, geleneksel istatistiksel yöntemlerin aksine, değişkenlerin birbirlerinden bağımsız olduğu varsayımını reddederek, sistemin gizli yapısını olasılıksal olarak modellemeye olanak tanımıştır. İkinci aşamada, elde edilen bu yapılar PLS-SEM ile test edilmiş, yol katsayıları ve açıklayıcılık oranları hesaplanarak modelin istatistiksel geçerliliği sağlanmıştır. Son aşamada ise, çevresel hedefler üzerinde en yüksek yapısal etkiye sahip ancak düşük performans gösteren alanları belirlemek için IPMA uygulanmıştır.

Analiz sonuçları, "Sorumlu Tüketim ve Üretimin (SKA 12)", incelenen üç çevresel hedef (SKA 13, 14 ve 15) üzerinde de en kritik etkiye sahip kaldıraç noktası olduğunu ve tüketim ve üretim sistemlerinin dönüştürülmesinin iklim değişikliği ile biyolojik çeşitlilik kaybıyla mücadelede merkezi bir strateji olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca çalışma, "Sağlık ve Kaliteli Yaşam (SKA 3)" ile çevresel hedefler arasında önemli ödünleşimler olduğunu; buna karşılık "Erişilebilir ve Temiz Enerji (SKA 7)" ve "Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı (SKA 9)" hedeflerinin çevresel sürdürülebilirliği destekleyen teknolojik kolaylaştırıcılar olduğunu göstermektedir.

Tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, çevresel sürdürülebilirliğin yalnızca çevre politikalarıyla değil, üretim-tüketim rejimlerinin köklü dönüşümüyle mümkün olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda çalışmamız, SKA'ları birbirinden bağımsız hedefler olarak değil, müdahale noktaları doğru belirlendiğinde sistem genelinde çarpan etkisi yaratabilecek dinamik bir bütün olarak ele almanın gerekliliğini göstermektedir. Veri temelli ve nedensel bir çerçeve sunarak, karar vericilere yalnızca "nerede sorun var?" sorusunun değil, "hangi kaldıraçla en büyük dönüşüm sağlanır?" sorusunun da yanıtının verilmesini hedeflemektedir. Dolayısıyla çalışma, SKA etkileşimlerinin anlaşılmasında metodolojik bir katkı sunmanın ötesinde, sürdürülebilirlik politikalarının stratejik yeniden tasarımına yönelik somut bir yol haritası önermektedir.

413 – Ateşli Silahlarda Karşılaşılan İç Mekanizma Kaynaklı Tutukluluklar için Karar Alma Çerçevesi ve Sürdürülebilir Bakım Yönetimi Kapsamında Prototip Önerisi

Hakan Ayhan Dağıstanlı *Milli Savunma Üniversitesi*
İsmet Çelik *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi*

Ateşli silahlarda iç mekanizma kaynaklı arızalar; sistem güvenilirliği, atış sürekliliği ve hedef performansı açısından kritik öneme sahiptir. Literatürde bu tür problemler genellikle bakım, aşınma ve mekanik uyum ekseninde değerlendirilmektedir. Özellikle namlu içi kirlenme, karbon ve bakır birikimi, yay yorgunluğu, sürgü-ray sürtünmesi, tırnak aşınması, ejector deformasyonu ve kilitleme mekanizması problemleri; tutukluluk ve atış döngüsü hatalarının temel nedenleri arasında gösterilmektedir. Bunun yanında yetersiz veya aşırı yağlama, hareketli parçaların çalışma toleranslarını olumsuz etkileyerek mekanik güvenilirliği düşürebilmektedir. Bu çalışmada öncelikle iç mekanizma sorunlarının değerlendirilmesi için bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) prosedürü işletilmiştir. İkinci aşamada sonuçlar incelenerek namlu temizliği için klasik uygulamaya oranla görece daha hassas ve etkili, kullanımı pratik ve taşınması kolay bir prototip tasarlanmıştır. Bu sayede bakım ve operasyonel güvenilirlik alanında rahatlıkla kullanılabilecek fiziksel bir ürün geliştirilerek ihtiyaçlar doğrultusunda revize edilmesi sağlanabilecektir.

414 – Tarımsal Girdi Stoklarının Yönetimi İçin Optimizasyon Destekli Bir Karar Destek Sistemi Önerisi

Ali Arda Narlı *Çukurova Üniversitesi*
Ali Kokangül *Çukurova Üniversitesi*
Yusuf Kuvvetli *Çukurova Üniversitesi*

Tarımsal girdilerin raf ömrü, talep belirsizliği ve mevsimsel değişkenlik gibi sektör dinamikleri, etkili stok yönetim sistemlerinin geliştirilmesini stratejik açıdan önemli hale getirmiştir. Bu çalışmada, tarımsal üretim süreçlerinde kullanılan gübre, ilaç ve yardımcı malzemelerin stok yönetimini daha sistematik, izlenebilir ve karar destek sistemi odağıyla gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Çalışmanın temel problemi, yıllık ihtiyaç ve sipariş planlamasının; mevcut stok, son kullanma tarihi, depo kapasitesi, bütçe, ambalaj büyüklüğü, minimum sipariş miktarı ve ürün kritikliği gibi değişkenlerle yapılabilmesidir. Bu problemin çözümü için önerilen yaklaşımda ise ilk olarak zaman serilerine bağlı talep tahminlemesi yapılmıştır. Tahminleme aşaması sonrasında ürünlere özel (örneğin gübrelerde alan bazlı, ilaçlarda ise su-ton bazlı) gereksinim mantığı oluşturulmuştur. Çalışmanın karar destek kısmında, ürün bazında sipariş miktarını belirlemek amacıyla karma-tamsayılı programlama modeli kurulmuştur. Modelin amacı; satın alma maliyetini, karşılanamayan ihtiyaç cezasını ve fazla stok cezasını birlikte minimize etmektir. Modelde bütçe limiti, depo kapasitesi, ambalaj katı, minimum sipariş miktarı ve ürün kritikliği dikkate alınmıştır. Kritik ürünlerde stok açığını azaltmak için daha yüksek ceza katsayıları kullanılmıştır. Böylece sistem yalnızca en düşük maliyetli siparişi değil, ihtiyacı mümkün olduğunca karşılayan, kritik ürünleri önceliklendiren ve gereksiz stok birikimini azaltan dengeli bir sipariş planı üretilmiştir. Modelleme aşaması sonrasında bir web uygulaması oluşturulmuş ve stok yönetiminin izlenmesi sağlanmıştır. Bu aşamada, ürün türü, lokasyon kapasitesi, mevcut doluluk oranı, güvenlik seviyesi ve depolama koşulları dikkate alınarak her ürün için uygun depo veya raf önerisi yapılmaktadır. Depoların doluluk oranları sistemde görsel olarak izlenebilmekte, her ürünün hangi lokasyonda bulunduğu doğrudan görüntülenebilmektedir. Ayrıca ürün ve lokasyon bazlı QR/barkod etiketleme yapısı sayesinde stok giriş-çıkış işlemleri mobil cihazlarla hızlı şekilde kaydedilebilmekte, böylece sahadaki fiziksel hareketler dijital stok kayıtlarıyla ilişkilendirilebilmektedir. Geliştirilen sistem, tarımsal işletmelerde stok fazlası, stok açığı, son kullanma tarihi kaynaklı kayıp ve depo yönetimi problemlerinin azaltılmasına katkı sağlayabilecek uygulanabilir bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Stok yönetimi, karar destek sistemi, tarımsal planlama, depo yönetimi, Matematiksel Modelleme

415 – Şehir İçi Lojistikte Dinamik Sipariş Gruplama ve Zaman Pencereli Rotalama için Simülasyon Tabanlı Bir Yaklaşım

Gizem Kayran *Manisa Celal Bayar Üniversitesi*
Özlem Uzun Araz *Manisa Celal Bayar Üniversitesi*

Tedarik zincirinin son halkasını oluşturan "son kilometre teslimatı" (last-mile delivery) işlemleri, müşteri siparişlerinin tercih edilen varış noktalarına ulaştırıldığı kritik aşama olarak tanımlanmaktadır. Bu teslimat süreci, dağıtım merkezlerinden müşterilere bazı durumlarda gün içinde ya da anında dağıtım sağlamayı gerektirmektedir. Özellikle çevrimiçi alışverişin yaygınlaşmasıyla anında teslimatın önemi artmış, zamanında ve doğru teslimat bir rekabet unsuru haline gelmiştir.

Son kilometre teslimatının yönetimi, birçok faktöre bağlı olarak verimli planlama ve koordinasyon gerektiren zorlu bir operasyonel karar sürecidir. Bu süreç, lojistik hizmet sağlayıcıları açısından operasyonel maliyetleri artıran önemli bir unsur olmakla birlikte, alınan dağıtım ve rotalama kararları trafik yoğunluğu, hava kirliliği ve gürültü kirliliği gibi olumsuz çevresel sonuçlara yol açabilmektedir. Bununla birlikte eve teslimat, müşteriler açısından oldukça önemli olup müşteri memnuniyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Anında teslimat işlemlerinde müşteri hizmet seviyesini korurken operasyonel maliyetleri ve olumsuz çevresel etkileri azaltacak şekilde teslimatları yönetmek önemli bir zorluktur ve verimli bir planlama ve koordinasyon gerektirmektedir.

Bu çalışmada çevrimiçi siparişlerin şehir içi anında teslimatının dinamik koşullar altında yönetilmesi problemi ele alınmıştır. Problem kapsamında dinamik ortamda sisteme zaman içinde gelen müşteri siparişleri için zaman pencereli teslimat kısıtları tanımlanmıştır. Gerçek dünya belirsizlikleri altında siparişlerin taşıyıcılara atanması, gruplanması ve teslimat rotalarının oluşturulması amacıyla çok taşıyıcılı sipariş gruplama ve araç rotalama optimizasyonuna yönelik simülasyon tabanlı hibrit sezgisel bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın etkinliği, literatürde yer alan klasik algoritmalarla yapılan karşılaştırmalar aracılığıyla kanıtlanmıştır.

416 – Endüstriyel Fırın Üretiminde Çok İşçili Montaj Hattı için İşçi ve İstasyon Sayısının Enküçüklenmesine Yönelik Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Tavlama Benzerim Algoritması ve COMSOAL Algoritması

Serap Gülse Geredelioğlu *Ostim Teknik Üniversitesi*
Emirhan Özkan *Ostim Teknik Üniversitesi*
Esra Eren *Ostim Teknik Üniversitesi*

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte modern üretim sistemlerine ilgi pratikte ve teorikte artış göstermektedir. Ancak bu gelişim beraberinde montaj hattı dengeleme problemi için yeni araştırma problemleri ortaya çıkarmaktadır. Çok işçili montaj hattı istasyonlarda birden fazla işçinin çalıştığı bir montaj hattı türüdür. Çok işçili montaj hattı dengeleme problemlerinde, bazı görevler yüksek iş gücü gereksinimi veya operasyonel zorluklar nedeniyle özel düzenlemeler gerektirebilmektedir. Çünkü bazı hatlarda çevrim zamanını aşan ya da çevrim zamanına çok yakın görev sürelerine sahip işler yer almaktadır. Bu tip görevler için, görev yapısında herhangi bir değişikliğe gidilmeden sistem kapasitesini artırmak amacıyla paralel istasyon yapıları kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, mevcut görevlerin istasyonlar arasında dağıtılması yoluyla üretim performansının iyileştirilmesini hedeflemektedir. Bununla birlikte çok işçili montaj hattı dengeleme problemine ürün kalitesini ve operasyonel güvenilirliği korumak amacıyla negatif bölgeleme kısıtı eklenmiştir. Bu kısıt ile taşlama ve çapak alma gibi çevreye iletken metal tozu yayan işlemlerin, hassas elektriksel aksam montajının yapıldığı istasyonlardan fiziksel olarak izole edilmesi sağlanmıştır. Bu doğrultuda paralel istasyon ve negatif bölgeleme kısıtı kullanarak problemin matematiksel formülasyonu yapılmıştır. Geliştirilen matematiksel modelin birincil amacı işçi sayısını, ikincil amacı istasyon sayısını minimizasyonudur. Model küçük ve orta ölçekli problemler için optimal çözüm bulurken, büyük ölçekli problemler için tam sayılı çözüm bulmuştur. Büyük boyutlu problemlerin çözülebilmesi amacıyla sezgisel (COMSOAL) ve metasezgisel yöntem (Tavlama Benzetim) geliştirilmiştir. Tavlama benzetim parametre değerlerinin ayarlanması amacıyla parametre optimizasyonu yapılmıştır. Önerilen sezgisel algoritmalar ve matematiksel model literatürde yer alan test problemleri üzerinden deneysel olarak test edilerek sonuçları incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında matematiksel model The General Algebraic Modeling System (GAMS) programında kodlanarak CPLEX 10.2 çözücü kullanılarak 1.6 GHZ/ 16GB Rame sahip bilgisayarda 3600 sn koşturulmuştur. Sezgisel algoritmalar ise Python programa dili ile kodlanmıştır. Çalışmanın son aşamasında gerçek bir fabrika üzerinde geliştirilen model uygulanarak vaka analizi yapılmıştır. Çalışma sonuçları uygulayıcılar açısından daha adil bir iş yükü dağılımı oluşturan alternatif çözüm yöntemleri sunmaktadır. Geliştirilen model ve yaklaşım başka sektörlerde ve işletmelerde uygulanabilirdir.

Anahtar Kelimeler: Çok işçili montaj hattı dengeleme, matematiksel model, tavlama benzetimi, COMSOAL, negatif bölgeleme kısıtı, paralel istasyon.

417 – Hızlı Kargo Taşımacılığında Yapay Zeka ve Yöneylem Araştırması Uygulamaları: Sistematik Bir Literatür Taraması

Egemen Eroğlu *DHL Express Türkiye*
Burak Koç *DHL Express Türkiye*
Berna Şimşek *DHL Express Türkiye*
Tuncay Özcan *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Hızlı kargo taşımacılığı, Covid-19 sonrası dönemde ivmelenen e-ticaret büyümesiyle birlikte lojistik operasyonlarının en kritik bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Bu alandaki karar problemlerinin karmaşıklığı, analitik ve veri odaklı yaklaşımlara olan ilgiyi artırmıştır. Bununla birlikte, bu alanı optimizasyon, makine öğrenmesi ve yapay zeka perspektiflerini bir arada ele alan bütünleşik bir sistematik derleme çalışması literatürde yer almamaktadır. Bu çalışmada, hızlı kargo taşımacılığı problemlerine yönelik söz konusu yöntemleri kullanan akademik çalışmalar sistematik biçimde incelenmiştir.

Tarama, PRISMA protokolü çerçevesinde 2020-2026 dönemini kapsayacak şekilde Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. "Express Cargo" terimi; "Optimization", "Forecasting", "Machine Learning" ve "Artificial Intelligence" terimleriyle ikili kombinasyonlar halinde kullanılmıştır. Kapsama yalnızca hakemli dergi makaleleri ve konferans bildirileri alınmış; kitap bölümleri ve gri literatür dışarıda bırakılmıştır.

Çalışmalar; ele alınan problem türü, model yapısı, çözüm yaklaşımı ve problem büyüklüğü ölçütlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu tarama, araştırmacılara mevcut birikimi özetleyen ve gelecek çalışmalar için yön gösteren bir kaynak sunmaktadır.

418 – Cam Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmede İmalat Değişimi Çalışmalarının Çizelgelenmesi

Aslı Nur Bülbüloğlu *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*
Müjgan Sağır *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*

Günümüz üretim işletmelerinde, kaynakların etkin kullanımı, üretim süreçlerinin plana uygun yürütülebilmesi ile mümkündür. Bazı işletmelerde üretim süreci öncesinde karmaşık ön hazırlık işlemleri bulunabilmektedir. Doğrudan üretim sürecinde sayılmayan ve işler arasındaki geçişten farklı üretim başlamadan önce gereken çeşitli ön hazırlıklar, doğrudan ürüne katma değer katmayan ama verimlilik artışına etki eden süreçlerdir. Bunlar arasında yer alan imalat değişim süreçleri ve bağlı olarak çeşitli bakım çizelgeleri, bu kapsamda eniyi şekilde yönetilmesi gereken süreçlerdir. Bu çalışma, cam imalatı sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin İşletme Bakım Onarım Departmanında gerçekleştirilmiştir. Fabrikada üretim, 17 üretim hattında çalışan 17 ana makine ve bu makineleri destekleyen yardımcı ekipmanlar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Söz konusu departman, tüm bu makine ve ekipmanların bakımı ve yedekleme çalışmalarından sorumludur. Ayrıca, üretim süreçlerindeki imalat değişimleri, ani makine duruşları ve beklenmedik arızalara müdahale edilmesi gibi görevler de ilgili birimin sorumluluk alanına girmektedir. İşçiler, üç vardiya sistemiyle çalışmakta ve vardiyalar arası işçi dağılımı üretim ihtiyaçlarına göre değişiklik göstermektedir. İmalat değişimi, bir grup ürünün tamamlanan üretim sürecinden, diğer bir grup ürünün üretimine geçiş öncesinde, makinelerin belirli parçalarının demontaj, montaj ve kontrol işlemlerini içermektedir. Tüm bu hazırlık işlemleri bittikten sonra diğer grup üretime geçilebilmektedir. Bu kavram, üretim anında bir makinede bir ürünün üretiminden diğer bir ürünün üretimine geçişte söz konusu olabilecek hazırlık süresi gibi konuları içermemekte olup farklıdır. Burada ele alınan problemde, bir atölye ortamında, birden fazla makinede, yeni bir grup üretime hiç başlamadan bir veya birden fazla makinede yapılması gereken çeşitli kontrol, ayar, tamir, bakım işlerinin başlayacak üretimi aksatmayacak şekilde hangi makinelerde ve hangi işçilerle yapılması gerektiğinin planlanması gerekmektedir. İmalat değişim süreçlerinin düzensiz ve sistematik olmayan bir şekilde gerçekleştirilmesi; işçi sayısında yetersizlik ve iş dağılımında plansızlık gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Örneğin, aynı gün içerisinde birden fazla imalat değişimi planlandığında, işçi sayısı yetersiz kalabilmekte ve bu durum, üretim sürecinde gecikmelere neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, çeşitli performans seviyelerine sahip işçilerin çeşitli işlem noktalarında üstlenecekleri görevleri makinaların ihtiyaç duyduğu işlem sırasına, işçi performansılarına göre, belirli kısıtları gözeterek planlamaktır. Bu amaçla önerilen çözüm yaklaşımı şu şekildedir. Tamamlanan bir üretim sürecinden sonraki yeni üretime geçişlerde, işçi sayısının ve atamaların etkin bir şekilde planlanarak zaman kaybının en aza indirilmesi için bir matematiksel model geliştirilerek GAMS ortamında çözülmüştür. Öte yandan modelin etkin kullanımı amacıyla, Microsoft Excel aracılığıyla kullanıcı dostu bir arayüz geliştirilmiştir. Böylece kullanıcı; aktif makine, iş sırası ve iş tipi bilgilerini bu arayüz yardımı ile girebilmekte; GAMS kodu arka planda çalışarak atama tablosu ve Gantt şeması elde edilmekte ve sonuçlar etkin bir biçimde izlenebilmektedir.

Mevcut durum ile önerilen durum karşılaştırıldığında, önerilen sistemin işçilerin daha etkin bir şekilde dağıtılmasına olanak sağladığı, kaynak kullanımını optimize ettiği ve iş süreçlerinin aksamadan yürütülebilmesini temin ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca, işçi ekiplerinin ve makinelerin iş yükleri arasında dengeli bir dağılım sağlamasıyla iş sağlığı ve güvenliğine de katkı sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak, bu yaklaşımın, sadece cam sektörüyle sınırlı kalmayarak, benzer imalat değişimlerinin yoğun olduğu diğer sektörlerde de uygulanabilirliği dikkat çekmektedir. Bu sistemin esnek yapısı sayesinde farklı sektörlere adapte edilmesi mümkün olup, özellikle otomotiv, beyaz eşya ve savunma sanayi gibi süreç odaklı üretim yapılan alanlarda işletmelerin verimliliklerini artırma potansiyeline sahiptir. İlgili sektörlerde yapılacak ileri çalışmalarla, sistemin sektörel ihtiyaçlara göre özelleştirilmesi ve daha geniş ölçekli uygulamalara yönelik geliştirilmesi önerilmektedir.

419 – Uzun Dönem Ekip Planlama Optimizasyonu

Ahmet Cihat Baktir *Turkish Technology*
Seyit Ulutaş *Turkish Technology*
Zeren Alpoğuz *Turkish Technology*

Havacılık sektöründe, özellikle hava yolu şirketleri için operasyonel maliyetlerin önemli bir kısmını ekip maliyetleri oluşturmaktadır. Bu sebeple uzun dönemli ve stratejik ekip planlaması operasyonel süreklilik ve finansal sürdürülebilirlik açısından temel bir gereksinimdir.

Uzun dönem ekip planlama süreci, filo genişleme projeksiyonları, mevsimsel pazar talepleri ve uluslararası sivil havacılık otoriteleri tarafından belirlenen çok katmanlı kısıtlar altında ekip arzının optimize edilmesini hedefler. Bu aşamada yapılan verimsiz planlamalar, orta ve uzun vadede ekip yetersizliğine, yüksek maliyetli dış kaynak kullanımına veya uçuş iptallerine yol açabilir.

Bu doğrultuda, uzun dönem kokpit ekip planlaması için bir optimizasyon modeli önerilmektedir. Model, hava yolu şirketlerinin uzun vadede operasyonel gereksinimlerini için gerekli olan ekip sayılarını karşılamak amacıyla tasarlanmıştır. Maliyet minimizasyonu amaç fonksiyonu ile tasarlanan matematiksel model, karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) tekniklerini kullanmaktadır. Eğitimler ve filo geçişleri, yeni ekip katılışları ve yıllık izin planlamaları gibi karar değişkenleriyle, optimizasyon modeli ekip ihtiyacının uzun vadede karşılanmasına yönelik bir planlama sunmaktadır.

Modelde, ekiplerin deneyim seviyesi, eğitim gereksinimleri ve geçiş kuralları gibi kısıtlar dikkate alınmaktadır. Örneğin, belirli bir filodan diğerine geçiş için gereken eğitim süresi ve ekip üyelerinin deneyim seviyesi gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Yıllık izin planlaması da modelin önemli bir bileşenidir. Uzun vadeli gereksinimleri karşılamak için eğitim geçişlerinin maliyetli olduğu durumlarda yıllık izin dağılımları da geçmiş verilerin analizleri neticesinde optimizasyon modeli tarafından planlanabilmektedir.

Diğer tarafta, senaryo bazlı çalıştırma ve sonuçların karşılaştırılması için esnek bir yapı sunulmaktadır. Kullanıcı, çeşitli parametre değerleriyle birlikte farklı senaryolar oluşturup sonuçlarını karşılaştırma imkanına sahiptir.

Geliştirilen optimizasyon modelinin performans değerlendirmesi kapsamında, Türk Hava Yolları'nın verileri ve kuralları temel alınmıştır. Maliyet minimizasyonu amaç fonksiyonunun kullanıldığı deneylerde farklı senaryolar ile testler yürütülmüştür. Yüksek verimlilik sunan bu optimizasyon modeli sayesinde, hava yolu şirketleri uzun dönem ekip planlamasını daha hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleştirebilecektir.

420 – Afet Sonrası Ulaşım Ağının Bağlılığının Etkin Şekilde Belirlenmesi

Şimal Ekin Çağlar *Sabancı Üniversitesi/Işık Üniversitesi*
Tonguç Ünlüyurt *Sabancı Üniversitesi*
Tonguç Yavuz *Kadir Has Üniversitesi*

Afet sonrası ulaşım ağında bazı bağlantılar kullanılamaz hale gelebilir. Bu durumda kritik iki noktanın kullanılabilir bir rota ile bağlı olup olmadığının en hızlı şekilde belirlenmesi önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kritik noktalar nüfusun çok olduğu yerler, güvenli yerler, yardımların depolandığı yerler, hasarın yoğun olduğu yerler olabilir. Bu çalışma kapsamında bağlantıların sağlamlığını test etmek için bir dronun bağlantı noktasına gönderildiği ve o bağlantı noktasını test ettiği varsayılmaktadır. Test sonucunda bağlantının kullanılır olup olmadığı kesin olarak belirlenmektedir. Hem dronun ulaşımı hem de testin tamamlanması belirli bir zaman almaktadır ve bu zamanlar bilinmektedir. Bu testin sonucu ile ilgili de olasılıksal bilgi tarihsel veriler analiz edilerek tahmin edilmektedir. Bağlantıların birbirinden bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda problem en az beklenen sürede bağlantının var olup olmadığını belirleyen bir strateji geliştirmektir. Bu çalışmada seri bir ağda dronun menzilini de düşünerek en az beklenen zamanı veren stratejilerin üretilmesi ana amaçtır. Seri ağ olduğu durumda bağlantıların her permütasyonu, dronun herhangi bir bağlantıda şarj edilebildiği durumda, olurlu bir çözüm vermektedir. Çalışma çerçevesinde farklı algoritmalar değişik özellikleri olan problem durumlarında test edilerek etkinlikleri karşılaştırılmaktadır.

424 – Şehirlerarası Yolcu Ulaştırmasında Modal Rekabet, Altyapı ve Enerji Etkileşimlerinin Bütünleşik Optimizasyonu

Esin Tetik *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Kemal Sarıca *Gebze Teknik Üniversitesi*
Y. İlker Topcu *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Bu çalışma, Türkiye şehirlerarası yolcu ulaştırma sektörünü, il bazında ve temelden yukarıya bir modelleme çerçevesi olan TITAN-TIMES (Time-Integrated Transport Analysis and Network TIMES) modelini sunmaktadır. Model, Uluslararası Enerji Ajansı tarafından geliştirilen ve enerji sistem optimizasyonu için yaygın bir şekilde kullanılan TIMES modelleme çerçevesi üzerine inşa edilmiştir. Ulaştırma talebi, ulaşım modları arası rekabet, teknolojik dönüşümler, altyapı sistemleri, enerji tüketimi ve seyahat davranışları arasındaki uzun dönemli etkileşimler, bütünleşik bir doğrusal programlama yapısı içinde temsil edilmektedir.

Türkiye'deki 81 il, yolculukların başlangıç ve varış (BV) noktaları olarak tanımlanmış ve 6480 BV çifti üzerinden iller arası yolcu akışlarının coğrafi olarak ayrık biçimde modellenmesi sağlanmıştır. Baz yıl talebi, nüfus, gelir ve mesafe gibi sosyoekonomik değişkenlerle kalibre edilen çekim modeli yaklaşımıyla mod bazında tahmin edilmiş, ardından yolcu-kilometre cinsine dönüştürülerek TITAN-TIMES için ulaştırma hizmet talebi olarak entegre edilmiştir. Tahmin sonuçları, baz yıl mod payları ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Modlar arası rekabet; özel otomobil, otobüs, konvansiyonel demiryolu, yüksek hızlı demiryolu, havayolu ve denizyolu arasında, yatırım maliyetleri, işletme-bakım giderleri, enerji tüketimi, altyapı maliyetleri ve seyahat sürelerini içeren genelleştirilmiş ulaştırma maliyetleri üzerinden içsel olarak çözülmektedir. Geleneksel ekonomik maliyetlere ek olarak, modele seyahat süresi bütçesi kısıtı eklenerek hareketliliğin davranışsal boyutu temsil edilmiştir. Bu kısıt, hızlı ancak pahalı modlar ile yavaş ancak ekonomik alternatifler arasındaki tercih dengesinin içsel biçimde belirlenmesini sağlamaktadır. Farklı gelir gruplarına göre ayrıştırılmış zaman değeri parametreleri, yolcu tercihlerindeki heterojen yapıyı yansıtmaktadır.

Ulaştırma altyapısı ve teknolojik dönüşümler arasındaki etkileşim de modelde temsil edilmektedir. Demiryolu ağları, havalimanları, limanlar ve şarj/yakıt ikmal altyapıları, teknolojiye özgü yatırım ve kapasite kısıtları aracılığıyla tanımlanmıştır. Bu yapı sayesinde araç teknolojileri, altyapı genişleme gereksinimleri, alternatif yakıt sistemleri ve elektrifikasyon dönüşümleri eşzamanlı olarak analiz edilebilmektedir.

TITAN-TIMES, 2050'ye uzanan planlama ufku boyunca toplam indirgenmiş sistem maliyetini minimize eden bir doğrusal programlama problemi olarak formüle edilmiştir. Amaç fonksiyonu; yatırım, işletme-bakım, yakıt ve elektrik maliyetleri, vergi ve sübvansiyonlar, altyapı yatırımları ile emisyon ilişkili maliyetleri kapsamaktadır.

Bu yaklaşım, BV tabanlı talep modellemesi, içsel modlar arası rekabet, seyahat süresi kısıtları ve altyapı temsillerini TIMES tabanlı bir optimizasyon yapısına entegre ederek ulaştırma-enerji modelleme literatürüne katkı sağlamaktadır. TITAN-TIMES, karbon fiyatlandırma, elektrifikasyon, yüksek hızlı demiryolu genişlemesi ve modal kayma politikaları gibi senaryoların uzun dönemli teknolojik, altyapısal ve davranışsal etkilerini bütünleşik biçimde değerlendirebilen esnek bir karar destek aracı sunmaktadır.

427 – İstanbul Havalimanı Kalkış Pisti Çizelgeleme Problemi İçin MILP ve Komşuluk Arama Yaklaşımı

Emre Şimşek Politecnico di Milano
Görkem Yılmaz *İzmir Ekonomi Üniversitesi*

Hava trafiğindeki artış, özellikle çok pistli ve yoğun havalimanlarında pist kaynaklarının etkin kullanımını hava trafik yönetiminin temel problemlerinden biri haline getirmektedir. Yeni pist yatırımlarının yüksek maliyeti dikkate alındığında, mevcut pistlerin daha verimli kullanılması için matematiksel optimizasyon ve sezgisel karar destek yaklaşımları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul Havalimanı kalkış operasyonları için pist ataması ve kalkış sıralaması problemi ele alınmaktadır. Amaç, operasyonel güvenlik kısıtları korunarak toplam gecikmenin ve uçuşların tamamlanma zamanının azaltılmasıdır.

Problem ilk aşamada karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modeli olarak formüle edilmiştir. Modelde hedef off-block zamanı (TOBT), tahmini/hesaplanan kalkış zamanı (ETOT/CTOT), pist bazlı engelsiz taksi süresi (EXOT), uçak öncelikleri ve minimum ayırma süreleri dikkate alınmaktadır. Karar değişkenleri uçuş-pist atamasını, ardışık kalkış sıralarını ve planlanan kalkış zamanlarını temsil etmektedir. Kısıtlar; her uçuşun yalnızca bir piste atanmasını, aynı pistte güvenli ayırma sürelerinin sağlanmasını, zaman pencerelerine uyulmasını ve alt tur oluşumlarının engellenmesini garanti etmektedir. Model Python ortamında kurulmuş ve Gurobi çözücüsü ile çalıştırılmıştır.

Büyük ölçekli senaryolarda MILP modelinin uygulanabilir çizelgeler üretmesine rağmen kısa süre sınırları içinde optimumluk kanıtının zorlaştığı görülmüştür. Bu nedenle ikinci aşamada MILP modelini destekleyen komşuluk arama tabanlı bir iyileştirme algoritması önerilmektedir. Önce FCFS ve açgözlü başlangıç çözümü ile uygulanabilir çizelge oluşturulmakta, ardından Constrained Position Shifting (CPS) prensibine dayalı swap, insert ve runway-change hareketleriyle çözüm iyileştirilmektedir. Ayrıca pistler bağımsız ve birbirine bağımlı gruplar olarak ayrıştırılarak yalnızca operasyonel olarak etkileşen pist çiftleri birlikte ele alınmaktadır. Deneysel çalışmalarda 90 ve 120 operasyon/saat yoğunluk seviyeleri kullanılmakta; FCFS, MILP ve komşuluk arama sonuçları toplam gecikme, maksimum tamamlanma zamanı ve pist kullanım verimliliği açısından karşılaştırılmaktadır. Gerçek İstanbul Havalimanı verileri ile modelin doğrulanması hedeflenmektedir.

428 – Zamansal Önceliklendirilmiş Radyoterapi Planlaması

Ayşenur Karagöz Bilkent Universitesi
Soheil Hemmati University of Oklahoma
Andrew J. Schaefer Rice University
Clifton D. Fuller MD Anderson Cancer Center

Baş-boyun kanseri radyoterapisinde kullanılan Zamansal Önceliklendirilmiş Radyoterapi (TFRT), yoğunluk ayarlı radyoterapide (IMRT) amaçlandığı gibi risk altındaki sağlıklı organların dinlenme süresini artırmak amacıyla farklı doz seviyelerine sahip günlük alt planları birleştirir. Standart TFRT her sağlıklı organ için eşit dinlenme süresi önerirken, organların farklı radyoduyarlılık profillerinin dikkate alınmasıyla değişken dinlenme süreleri kullanılarak toksisite sonuçlarının iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, toplam iyileşmeyi maksimize ederek sağlıklı organlara özgü dinlenme sürelerini optimize eden bir karar verme çerçevesi geliştirilmiştir. Model iki temel bileşeni bir araya getirmektedir: lineer-kuadratik modele dayalı biyolojik etkili doz ve zaman içinde doza bağlı iyileşmeyi temsil eden dinamik bir iyileşme modeli. Çerçeve, farklı dokuların radyasyona verdiği yanıtları yansıtacak şekilde sağlıklı organlar arasında heterojen radyoduyarlılığa izin vermektedir. Bu yaklaşım kullanılarak optimize edilmiş TFRT planları, standart TFRT ve IMRT ile tedavi sonundaki iyileşme açısından karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar, radyoduyarlılıktaki değişkenliğin dikkate alınmasının bazı sağlıklı organlarda iyileşmeyi artırırken diğerlerinde benzer performans sağladığını göstermektedir. Kümülatif doz seviyeleri benzer olduğunda, optimize edilmiş TFRT daha etkili zamansal doz modülasyonu sayesinde daha iyi iyileşme sağlamaktadır. Kümülatif dozların farklı olduğu durumlarda ise toplam doz ile iyileşme arasında ödünleşimler ortaya çıkmakta; ancak optimize edilmiş yaklaşım en kötü durumdaki sağlıklı organ iyileşmesini sürekli olarak iyileştirmektedir.

Genel olarak, sağlıklı organlara özgü radyoduyarlılığın TFRT'ye dahil edilmesi, uyarlanabilir dinlenme süresi optimizasyonuna olanak sağlamakta ve sağlıklı organ korunumu için daha esnek bir çerçeve sunarak baş-boyun kanseri radyoterapisine bağlı toksisitelerin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir.

429 – Kronik Hepatit B Hastalarında Sağlık Okuryazarlığı Ölçeği Geliştirilmesi ve Düzeyinin İstatistiksel ve Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Modellenmesi

Dr. Öğr. Üyesi Emine Yaylalı *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Barış Elaltunterin İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ali Asan *Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bursa Yüksek İhtisas Eğitim A. Hastanesi*

Hepatit B virüsü (HBV), dünya genelinde yaklaşık 250 milyon kişiyi etkileyen ve karaciğer sirozu, karaciğer yetmezliği ile hepatosellüler karsinom gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilen kronik bir enfeksiyon hastalığıdır. Ülkemizde 18 yaş üstü nüfusun yaklaşık üçte birinin HBV ile enfekte olduğu ya da enfeksiyonu geçirdiği bilinmektedir. Hastalığın uzun süreli izlem ve tedavi gerektiren yapısı, hastaların sağlık sistemine etkin katılımını ve bilgiye dayalı karar alabilme kapasitelerini kritik hâle getirmektedir.

Sağlık okuryazarlığı, bireylerin sağlıkla ilgili bilgilere ulaşma, bu bilgileri anlama, değerlendirme ve sağlık kararlarında etkin biçimde kullanabilme kapasitesini ifade etmektedir. Düşük sağlık okuryazarlığı düzeyi; tedaviye uyumsuzluk, gereksiz acil servis başvuruları ve kötüleşen klinik sonuçlarla ilişkilendirilmektedir. Buna karşın Türkiye'de HBV'ye özgü, Türkçe geliştirilmiş ve psikometrik geçerliliği istatistiksel olarak test edilmiş bir ölçeğin mevcut olmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, kronik HBV hastalarına yönelik geçerli ve güvenilir bir sağlık okuryazarlığı ölçeği geliştirmek; elde edilen verilerle sağlık okuryazarlığı düzeyini istatistiksel ve makine öğrenmesi yöntemleriyle modellemektir.

Çalışmanın örneklemi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bursa Yüksek İhtisas EAH Enfeksiyon Hastalıkları Polikliniği'ne başvuran 219 kronik HBV hastasından oluşmaktadır. Veri toplama aracı olarak iki bölümlü bir anket formu kullanılmıştır: birinci bölümde sosyodemografik ve klinik bilgiler, ikinci bölümde ise 5'li Likert tipi 16 maddeden oluşan HBV sağlık okuryazarlığı soruları yer almaktadır. Ölçek puanlaması, Avrupa Sağlık Okuryazarlığı Konsorsiyumu'nun önerdiği standardize indeks yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Ölçeğin içerik geçerliliği, enfeksiyon hastalıkları ve klinik mikrobiyoloji alanlarından uzmanların görüşleri alınarak kapsam geçerlilik oranları (KGO) ile değerlendirilmiştir. Faktör analizine uygunluk Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) ve Bartlett's küresellik testleriyle sınanmış; yapı geçerliliği keşfedici faktör analizi (KFA) ile incelenmiştir. Her faktörün iç tutarlılığı Cronbach's Alpha katsayısıyla ölçülmüştür.

İstatistiksel modelleme aşamasında sağlık okuryazarlığı skorları düşük, orta ve yüksek düzey olarak kategorize edilmiş; sıralı lojistik regresyon orantılı olasılıklar varsayımını sağlayamaması nedeniyle (Brant testi) multinomial lojistik regresyon (MLR) modeli tercih edilmiştir. Makine öğrenmesi aşamasında ise sağlık okuryazarlığı skoru sürekli değişken olarak Random Forest regresyon modeliyle, sınıflandırma performansı karşılaştırma amaçlı KNN algoritmasıyla modellenmiştir.

Uzman değerlendirmeleri sonucunda tüm maddelerin KGO eşik değerini karşıladığı doğrulanmıştır. KMO değeri 0.80'in üzerinde, Bartlett's testi istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.001$) bulunmuştur. Faktör yük dağılımları incelendiğinde hiçbir faktörle yeterli bağlantı kuramayan 11. madde ölçekten çıkarılmıştır. Kalan 15 madde üzerinde gerçekleştirilen KFA, üç faktörlü bir yapıyı istatistiksel olarak desteklemiştir. Bu faktörler "Hastalığı Tanıma", "Tedaviyi Anlama" ve "Sağlığın Geliştirilmesi" olarak adlandırılmıştır. Her üç faktör için hesaplanan Cronbach's Alpha değerleri 0.70'in üzerinde çıkmıştır.

Kurulan multinomial lojistik regresyon modeli güçlü bir performans sergilemiştir ($LR = 236.57$, $df = 26$, $p < 0.000001$). McFadden $R^2 = 0.811$, Nagelkerke $R^2 = 0.903$ değerleri elde edilmiş; sınıflandırma doğruluğu %97 olarak hesaplanmıştır. Model katsayıları incelendiğinde üç faktörün —özellikle Sağlığın Geliştirilmesi (F2), Hastalığı Tanıma (F1) ve Tedaviyi Anlama (F0)— sağlık okuryazarlığı düzeyinin temel belirleyicileri olduğu görülmüştür.

Random Forest regresyon modeli, sağlık okuryazarlığı skorunun tahmininde $R^2 = 0.928$, $RMSE = 2.575$, $MAE = 1.779$ değerlerini elde etmiştir. Değişken önem analizi, F2 faktörünün toplam model öneminin yaklaşık %60'ını tek başına açıkladığını ortaya koymuştur; bunu F1 (%15.7) ve F0 (%7.9) izlemiştir.

KNN algoritması genel doğruluk açısından %80 değerine ulaşmış; ancak Makro Ortalama F1-Skor %49 olarak kalmıştır. Sınıf dengesizliği nedeniyle model düşük sağlık okuryazarlığı kategorisindeki hiçbir hastayı doğru sınıflayamamıştır.

Bu çalışma, Türkiye'de kronik Hepatit B hastalarına yönelik geliştirilmiş, geçerlilik ve güvenilirliği istatistiksel olarak kanıtlanmış özgün bir sağlık okuryazarlığı ölçeğini literatüre kazandırmaktadır. Üç faktörlü yapı HBV'ye özgü sağlık okuryazarlığının temel bileşenlerini kapsamlı biçimde yansıtmaktadır. Multinomial lojistik regresyon modeli yüksek sınıflandırma doğruluğuyla (%97) açıklayıcı sonuçlar sunarken, Random Forest modeli skorun sürekli değişken olarak yüksek hassasiyetle ($R^2 = 0.928$) tahmin edilebildiğini ortaya koymaktadır. İki yöntemin birlikte kullanımı, sağlık okuryazarlığının hem neden–sonuç hem de öngörülebilirlik boyutlarının bütüncül değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Ölçeğin farklı sağlık kuruluşlarında test edilmesi, dijital karar destek sistemlerine entegre edilmesi ve benzeri bulaşıcı hastalıklara uyarlanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hepatit B, sağlık okuryazarlığı, ölçek geliştirme, multinomial lojistik regresyon, Random Forest

430 – Uçak Ağırlık ve Denge Optimizasyon Modeli

İmran Toprak *Turkish Technology*
Seyit Ulutaş *Turkish Technology*
Yavuz Durdak *Turkish Technology*

Uçak Ağırlık ve Denge (Weight and Balance) Optimizasyon Modeli, uçağın güvenli bir şekilde kalkış, iniş ve uçuş gerçekleştirmesini ve yakıt tasarrufu sağlanmasını hedefleyen bir atama problemi olarak sınıflandırılmaktadır. Probleme getirilen çözümün asıl işlevi, uçağa yerleştirilmesi gereken palet (ULD) ve dökme (bulk) yüklerin uçağın gövdesindeki hangi pozisyona yükleneceğine belli hedefler ve kısıtlar doğrultusunda optimal bir şekilde karar vermektir. Her bir yük birden fazla pozisyona atanabilir, hatta bir dökme yük farklı pozisyonlara dağıtılabilir; bu yüzden bir kombinatoryal optimizasyon modeli gerekmektedir. Diğer kombinatoryal optimizasyon modelleri gibi, Uçak Ağırlık ve Denge modelinin de zorluk seviyesi NP-Hard sınıfına girmektedir ve kısa sürede optimal çözüme ulaşmak zordur.

Bahsedilen optimizasyon modeli, birçok farklı hedef ve kısıtlardan oluşmaktadır. Bu hedefler birbiriyle çatışmakta, birini iyileştirmek diğerinden ödün vermeyi gerektirmektedir. Bunlar yük maksimizasyonu, ağırlık merkezinin ideal noktadan sapma miktarı, yükleme öncelik sırası ve kapıya yakınlık öncelik sıralamasıdır. Bu farklı hedef fonksiyonları arasında sabit bir hiyerarşik ilişki yoktur, bu yüzden hedef fonksiyonunda bu farklı hedeflerin karşılığı olan formüller ağırlıklandırılmak zorundadır.

Bu hedefleri gerçekleştirirken de ağırlık kapasitesi, pozisyon-yük uyum kuralları, pozisyon çakışma kuralları, pozisyon sabitleme, 3 farklı ağırlık merkezi aralığı (park, kalkış ve iniş) ve uyumsuz yüklerin beraber yüklenememesi gibi kısıtlar göz önünde bulundurulmaktadır.

Yukarıda detayları verilen hedefler ve kısıtlar doğrultusunda çok amaçlı bir karışık tam sayılı doğrusal problem (Multi-objective MILP) geliştirilmiştir. Problem, operasyonel kullanımdaki çözüm süresi kısıtlarını sağlamak için ideal bir şekilde formülize edilmiştir.

431 – İşbirliği Yapan Sağlık Hizmeti Sağlayıcılarla Çok Amaçlı, Öncelikli Evde Sağlık Hizmeti Rotalama ve Çizelgeleme

Mert Parçaoğlu *Koç Üniversitesi*
F. Sibel Salman *Koç Üniversitesi*
Özgür M. Araz *University of Nebraska Lincoln, College of Business*

Evde sağlık hizmetleri, artan yaşlı nüfusu sebebiyle sağlık sektöründe artarak önem kazanmaktadır. Evde sağlık hizmetleri planlanırken her bir sağlık hizmeti sağlayıcısına (HSP) evlerinde ziyaret edilecek hastaların bir listesi atanır. Bu çalışmada, evde sağlık hizmetlerinde günlük hasta ziyareti çizelgesi çıkartılarak ziyaret rotalarının optimizasyon yaklaşımıyla belirlenmesi ele alınmıştır. Hasta öncelikleri ve konumları dikkate alınarak ziyaret edilecek hastalar seçilmekte ve her bir HSP için günlük rota planı oluşturulmaktadır. Literatürden farklı olarak, beklenmedik acil hasta taleplerinin ortaya çıkması durumunda HSP'lerin işbirliği yapmasını içeren dinamik bir optimizasyon problemi incelenmektedir. Gerektiğinde, bir HSP kendi hasta listesi dışından bir hastayı evde ziyaret edebilmektedir.

Problemde birden çok amaç tanımlanarak bunların önem sırasına göre leksikografik optimizasyon yaklaşımı benimsenmiştir. Problemin çözümü için iki farklı yaklaşım geliştirilmiştir: belirli bir zaman limiti altında çözülen bir karışık tamsayılı programlama modeli (TL-MIP) ve Açgözlü Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü ile Değişken Komşuluk Arama yöntemlerini birleştiren sezgisel yaklaşım (GRASP+VNS). Önerilen yöntemler, evde sağlık hizmetlerine ilişkin bir vaka çalışması üzerinde karşılaştırılmış ve kapsamlı simülasyon deneyleri ile performansları değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, GRASP+VNS yaklaşımının TL-MIP'e kıyasla çözüm sürelerini ortalama %85 oranında azalttığını göstermektedir. Bununla birlikte, sezgisel yöntem ziyaret edilen hastaların toplam öncelik değeri açısından yüksek kaliteli çözümler üretmiş ve farklı örnek tiplerinde TL-MIP çözümlerinden en fazla %2 oranında sapma göstermiştir. Ayrıca, iki ve üç hizmet sağlayıcısının işbirliğiyle gerçekleştirilen merkezi planlama yaklaşımı, işbirliği yapılmayan modele kıyasla toplam seyahat süresini sırasıyla %30 ve %45 oranında azaltmış, ertelenen ziyaret sayısında ise %50'ye varan iyileşme sağlamıştır.

432 – Beklenen İstanbul Depremi Sonrası Mobil ve Sahra Hastanelerinin Yerleşimi ve Yaralı Tahsisi için İki Aşamalı Stokastik Optimizasyon Modeli

İrem Cebeci *Yeditepe Üniversitesi*
Canan Pehlivan Yıldırım *Yeditepe Üniversitesi*
Dilek Tüzün Aksu *Yeditepe Üniversitesi*
Muzaffer Görkem Özel *Yeditepe Üniversitesi*

Büyük ölçekli depremler, özellikle İstanbul gibi yoğun nüfuslu, karmaşık ulaşım ağına sahip ve yüksek sismik risk taşıyan metropollerde sağlık sistemleri üzerinde ani ve ağır bir baskı oluşturmaktadır. Mevcut hastanelerin deprem nedeniyle hasar görmesi, kullanılabilir kapasitelerinin azalması, yaralı talebindeki ani artış karşısında yetersiz kalması veya ulaşım ağındaki bozulmalar nedeniyle erişilebilirliğinin azalması, sağlık ağının tam kapasiteyle hizmet vermesini engelleyebilir. Bu çalışmada, beklenen büyük İstanbul depremi sonrasında mevcut sağlık altyapısını desteklemek amacıyla mobil ve sahra hastanelerinin afet öncesi konumlandırılması, mobil hastanelerin afet sonrası yeniden konuşlandırılması ve aciliyet düzeylerine göre sınıflandırılmış yaralıların uygun sağlık tesislerine tahsis edilmesi problemi ele alınmaktadır.

Çalışmanın temel amacı, afet öncesi hazırlık kararları ile afet sonrası müdahale kararlarını birlikte değerlendiren bütünleşik bir karar destek modeli geliştirmektir. Bu kapsamda mevcut hastaneler, sahra hastaneleri ve yeniden konumlandırılabilir mobil hastaneleri birlikte ele alan iki aşamalı stokastik bir yerleşim-tahsis optimizasyon modeli önerilmektedir. Birinci aşamada sahra hastanelerinin kurulacağı aday noktalar ve mobil hastanelerin başlangıç konuşlandırma bölgeleri belirlenmektedir. İkinci aşamada ise gerçekleşen deprem senaryosuna bağlı olarak mobil birimler dinamik biçimde yeniden konumlandırılmakta; acil müdahale gerektiren Tip-1 yaralılar ile belirli ölçüde bekleyebilir Tip-2 yaralılar, toplam ulaşım süresi ve mobil hastane yeniden konumlandırma maliyetlerini azaltacak şekilde mevcut hastanelere, sahra hastanelerine veya mobil hastanelere tahsis edilmektedir. Modelde hastane kapasite kayıpları ve yol hasarlarından kaynaklanan ulaşım süresi artışları senaryo bazında dikkate alınarak kararların gerçekçi afet koşulları altında uygulanabilir kalması hedeflenmektedir.

Çalışmanın temel yöntemsel katkılarından biri, kuyruk teorisine dayalı hizmet seviyesi kısıtlarının doğrudan optimizasyon modeline entegre edilmesidir. Afet sonrası sağlık tesislerinde oluşabilecek yoğunluk, iki sınıflı öncelikli M/M/c kuyruk modeli ile temsil edilmektedir. Tip-1 (acil) yaralıların beklemeye toleransları olmadığı varsayılmıştır, dolayısıyla kapasite-yük ilişkisi belirli bir hedef kabul oranı üzerinden Erlang kayıp modeliyle kurulmuştur. Tip-2 yaralıların stokastik kapasite gereksinimleri ise yalnızca kendi taleplerine değil, aynı sağlık tesisine yönlendirilen Tip-1 yaralıların oluşturduğu öncelikli yüke de bağlıdır. Bu nedenle modelde Tip-2 kapasite gereksinimi; hastane kapasitesi, Tip-1 hasta yükü ve Tip-2 hasta yükü arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayımıyla modele dahil edilmektedir. Bu doğrusallaştırma, stokastik karma tam sayılı programın çözülebilirliğini korurken sağlık hizmeti sunumunun olasılıksal yapısını da dikkate almaktadır.

Model, İstanbul'un Avrupa yakasında yüksek riskli alanları temsil eden gerçekçi bir ön çalışma üzerinde uygulanmış ve Gurobi ile çözülmüştür. Daha büyük örneklerin çözümü için ise bir branch-and-cut algoritmasının kullanılması planlanmaktadır. Çalışmaya talep noktaları, mevcut hastaneler, sahra hastanesi aday alanları, mobil birim konumlandırma bölgeleri ve bu noktalar arasındaki ulaşım ilişkileri coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak belirlenmiştir. Altı farklı deprem senaryosu altında yaralı talebindeki değişimler, hastane kapasite kayıpları ve yol hasarlarından kaynaklanan ulaşım süresi artışları modele dahil edilmiştir.

Gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinde, modelin farklı bütçe düzeyleri ve yaralı talebi senaryoları altındaki davranışı incelenmiştir. Bütçe analizleri, afet öncesi açılacak sahra hastaneleri ile konuşlandırılacak mobil birim sayılarının bütçe düzeyine bağlı olarak değiştiğini; belirli bir bütçe seviyesinin üzerinde ise ek yatırımın amaç fonksiyonuna katkısının sınırlı kaldığını göstermektedir. Talep duyarlılık analizleri ise yaralı talebi arttıkça toplam sistem maliyetinin yükseldiğini, seçilen kapasite düzeylerinin ve mobil birim konfigürasyonunun değişen afet şiddetine göre yeniden şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, afet sonrası sağlık ağı planlamasında

yalnızca toplam kapasitenin artırılmasının değil, kapasitenin doğru bölgelerde konumlandırılmasının ve mobil kaynakların senaryo bazlı yeniden yerleştirilmesinin de kritik olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın özgün katkısı, mobil ve sahra hastanelerini mevcut hastanelerle birlikte ele alan bütünleşik bir afet sağlık lojistiği modeli sunmasıdır. Ayrıca yaralı sınıflandırması, hastane ve yol hasarları, stokastik kapasite gereksinimleri, bekleme/kabul performansı, bütçe kısıtları ve mobil hastane yeniden konumlandırma kararları aynı matematiksel yapı içinde değerlendirilmektedir. Geliştirilen model; AFAD, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İl Sağlık Müdürlüğü ve ilçe belediyeleri gibi afet hazırlık süreçlerinde görev alan kurumlar için karar destek aracı olarak kullanılabilecek niteliktedir. Bu yönüyle çalışma, afet yönetimi, sağlık lojistiği ve yöneylem araştırması literatürüne anlamlı bir katkı sağlamaktadır.

433 – Depo Yönetiminde Operasyonel Cihaz Yönetimi İçin Simülasyon Tabanlı Analiz ve Takip Otomasyonu Sistemi

Emin Yüksel *Trendyol Kocaeli Ar-Ge Merkezi*
Ayşenur Canlıdır Demircioğlu *Trendyol Kocaeli Ar-Ge Merkezi*
Abdurrahman Özçalkap *Trendyol Kocaeli Ar-Ge Merkezi*
Tuncay Özcan *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Depo yönetiminde, operasyonel süreçlerde kullanılan el terminallerinin takip ve yönetimindeki manuel süreçler önemli kayıplara yol açmaktadır. Bu çalışmada, ilk olarak, bu kayıpları önlemek için cihazların doğru bir şekilde izlenebilmesi, kullanıcı bilgileri ile yer tespiti sağlanabilmesi ve anlık durum takibi yapılabilmesi olanağı sunan bir otomasyon sistemi tasarlanmıştır. Daha sonra, bu sistemin operasyonel verimliliğe ve operatörlerin bekleme süresine etkisi, bir simülasyon modeli ile ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda, mevcut ve el terminali izleme sisteminin devreye alındığı yeni sistemde, depo süreçleri için proses akış diyagramları oluşturulmuş ve operasyonel süreçler için gerekli veriler toplanmıştır. Bu veriler kullanılarak, Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov testleri ile her bir prosesi temsil edecek en uygun olasılık dağılımları belirlenmiştir. Simülasyon modelinin oluşturulması ve kodlanması ARENA simülasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelinin doğrulanması ve geçerlemesi için mantıksal sınamalar ve istatistiksel testler uygulanmıştır. Çıktı modelleme kapsamında simülasyon modelleri için gerekli replikasyon sayıları hesaplanmış, mevcut ve önerilen sistemin bekleme süresi, çevrim süresi, çıktı miktarı gibi anahtar performans ölçütleri hesaplanarak performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, cihaz izleme ve takip sisteminin mevcut sisteme göre performans ölçütlerinde önemli iyileşmeler sağladığını doğrulamıştır.

434 – Stokastik Hedef Tespiti için İHA Yol Planlamasında Zaman Pencereli Yaklaşım

Büşra Bişkin Dursun *Milli Savunma Üniversitesi*
Hakan Ayhan Dağıstanlı *Milli Savunma Üniversitesi*

Gezgin Satıcı Problemi (GSP), bir dizi düğümü tam olarak bir kez ziyaret eden en kısa rotayı arayan, iyi bilinen bir kombinatoryal optimizasyon problemidir. Bu çalışma, klasik GSP'yi, hedef konumunun sabit değil olasılıksal olduğu İHA tabanlı görev planlamasından esinlenerek, stokastik, zaman pencereli bir varyanta genişletmektedir. Bir İHA'nın, yörüngesi bilinmeyen ancak matematiksel olarak karakterize edilebilen hareketli bir hedefi (yasadışı sınır geçişi yapan biri ya da afetzede) tespit etmesi gereken senaryoları ele almaktadır. Görev alanı ayrık alt alanlara bölünmekte ve her alt alanda hedef varlığı için zamana bağlı olasılık dağılımları oluşturmak için Monte Carlo tarzı simülasyonlar kullanılmaktadır. Bu, tespit problemini, İHA'nın belirli bir zamanda bir alt alanı ziyaret ettiğinde olasılıksal bir ödül topladığı, ödülü maksimize eden bir rota belirleme problemine dönüştürmektedir. Bir karma tamsayılı doğrusal programlama çerçevesi içinde iki formülasyon önerilmiştir. Statik Optimal Kurtarma Yolu Problemi, her düğüme sabit olasılık ağırlıkları atarken, Dinamik Optimal Kurtarma Yolu Problemi ise ağırlıkları zamana bağlı hale getirerek hedef konumunun gelişen belirsizliğini daha iyi yansıtmaktadır. Her iki model de maksimum uçuş mesafesi kısıtlaması altında çalışır ve yönlendirilmiş tam bir grafikte tanımlanır. Bu çalışma, zaman açısından kritik görevlerde kombinatoryal optimizasyon ve gerçek zamanlı belirsizlik modellemesi arasında köprü kuran, İHA yol planlaması için prensipli bir stokastik GSP formülasyonu sunmaktadır.

436 – Otomotiv Yan Sanayisinde Ürün Ağacı (BOM) Yapılandırılması ve Optimizasyonu

Elife Yasak *Bursa Uludağ Üniversitesi / Tredin Oto Donanım*
Mehmet Emir Kan *Bursa Uludağ Üniversitesi / Tredin Oto Donanım*
Muammer Çimen *Bursa Uludağ Üniversitesi / Tredin Oto Donanım*

Otomotiv yan sanayisinde artan ürün çeşitliliği, müşteri taleplerindeki değişkenlik ve üretim sistemlerinin karmaşık yapısı, ürün ağacı (Bill of Material-BOM) oluşturma süreçlerinin önemini her geçen gün artırmaktadır. BOM yapıları; malzeme ihtiyaç planlaması, satın alma faaliyetleri, stok yönetimi, maliyetlendirme, üretim planlama ve kapasite yönetimi gibi işletmenin temel fonksiyonlarına veri sağlayan kritik bilgi yapılarıdır. Bu nedenle BOM verilerinin doğru, güncel ve standart bir şekilde oluşturulması işletmelerin operasyonel performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak birçok işletmede ürün ağacı oluşturma süreçleri hâlen mühendis deneyimine dayalı olarak yürütülmekte, manuel hesaplamalar yoğun şekilde kullanılmakta ve bu durum süreç sürelerinin uzamasına, kullanıcı kaynaklı farklılıkların ortaya çıkmasına ve maliyet hesaplarında sapmalara neden olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, otomotiv yan sanayisinde faaliyet gösteren Tredin Oto Donanım Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de akustik izolasyon ürünlerine yönelik BOM oluşturma süreçleri incelenmiş ve mevcut sistemde karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik veri tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Yapılan saha çalışmaları, mühendis görüşmeleri ve süreç analizleri sonucunda yeni ürün tekliflendirme ve ürün ağacı oluşturma aşamalarında gerçekleştirilen hesaplamaların önemli bir bölümünün manuel olarak yapıldığı belirlenmiştir. Ürün ölçülerinin değerlendirilmesi, uygun pres alternatifinin seçilmesi, kalıp göz sayılarının belirlenmesi, nonwoven (tela) yerleşim planlarının oluşturulması ve malzeme tüketim miktarlarının hesaplanması gibi işlemlerin büyük ölçüde kullanıcı tecrübesine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum özellikle yüksek maliyetli nonwoven hammaddelerde fire oranlarının artmasına ve optimum üretim senaryolarının belirlenmesinde zorluklara yol açmaktadır.

Çalışmada öncelikle mevcut sistem analiz edilmiş, ürün gruplarına ait ıskarta maliyetleri değerlendirilmiş ve Pareto analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçları toplam ıskarta maliyetinin önemli bir bölümünün akustik izolasyon ürün grubunda oluştuğunu göstermiştir. Ardından Balık Kılçığı (Ishikawa) analizi kullanılarak süreçteki temel problem kaynakları belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, problemin yalnızca hesaplama süreçlerinden değil; veri yönetimi, yöntem standardizasyonu, kullanıcı deneyimi ve malzeme yönetimi gibi çok sayıda faktörün etkileşiminden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Belirlenen problemlerin çözümü amacıyla geliştirilen sistemde ürün boyutları, pres kapasiteleri, göz boşluğu gereksinimleri, nonwoven rulo genişlikleri, sünger parametreleri ve üretim kısıtları birlikte değerlendirilmektedir. Sistem farklı üretim alternatiflerini otomatik olarak analiz ederek ürünlerin çeşitli pres, nonwoven ve yerleşim kombinasyonları altında üretilebilirlik durumlarını incelemektedir. Bu kapsamda ürünlerin hem standart hem de 90 derece döndürülmüş yerleşim alternatifleri değerlendirilmekte, pres içerisine yerleştirilebilecek maksimum göz sayıları hesaplanmakta ve farklı üretim senaryoları karşılaştırılmaktadır. Çalışmada kullanılan optimizasyon yaklaşımı, kesme stok problemi (Cutting Stock Problem) ve iki boyutlu yerleşim problemleri (Nesting Problems) temellerinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Model içerisinde oluşan fire miktarı, nonwoven maliyeti ve üretim verimliliği gibi kriterler birlikte değerlendirilmiş; çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak optimum üretim senaryosunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Her bir alternatif için performans skorları hesaplanmış ve minimum skor değerine sahip üretim kombinasyonu en uygun çözüm olarak seçilmiştir.

Geliştirilen karar destek sisteminin veri altyapısı Microsoft Excel kullanılarak oluşturulmuş, hesaplama ve optimizasyon süreçleri Python programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kullanıcıların alternatifleri daha etkin değerlendirebilmesi amacıyla grafiksel kullanıcı arayüzü geliştirilmiş ve iki boyutlu yerleşim simülasyonları sisteme entegre edilmiştir. Böylece yalnızca hesaplama süreçlerinin değil, aynı zamanda karar verme ve sonuçların görselleştirilmesi süreçlerinin de desteklenmesi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen uygulama çalışmaları sonucunda sistemin farklı ürün geometrileri ve üretim koşulları altında başarılı şekilde çalışabildiği görülmüştür. Sistem sayesinde uygun pres seçimi, optimum nonwoven alternatifi, maksimum göz sayısı, malzeme tüketim miktarları

ve fire oranları otomatik olarak belirlenebilmektedir. Elde edilen sonuçlar, mühendislik hesaplamalarının standartlaştırılması, tekliflendirme süreçlerinin hızlandırılması, kullanıcı kaynaklı farklılıkların azaltılması ve malzeme kullanım verimliliğinin artırılması açısından önemli kazanımlar sağlandığını göstermektedir. Ayrıca geliştirilen yapının işletmenin dijital dönüşüm çalışmalarına katkı sağlayabilecek, veri temelli karar verme süreçlerini destekleyebilecek ve farklı ürün gruplarına uyarlanabilecek sürdürülebilir bir altyapı sunduğu değerlendirilmektedir.

438 – Eklemeli İmalat için Toplam Gecikmeyi Enküçükleme Amaçlı Üretim Planlama ve Çizelgeleme Problemi

Tevhide F Altekin *Sabancı Üniversitesi*
Yossi Bukchin *Tel Aviv Üniversitesi*

Eklemeli imalat (Eİ), biyomedikal, havacılık, otomotiv ve savunma sektörlerinde yüksek çeşitlilikte ve düşük hacimde metal parça üretimi için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS) yöntemi kullanan Eİ ortamları için statik üretim planlama ve çizelgeleme problemi ele alınmaktadır.

Müşteri siparişleri teslim tarihleri ve talep edilen parçaların sayıları ve özellikleri bakımından birbirinden farklılık göstermektedir. Her parça için hacmi, yüksekliği, taban alanı ve üretilirken kullanılması gereken katman kalınlığı bilinmektedir. Aynı katman kalınlığıyla üretilmesi gereken parçalar aynı işe atanarak birlikte üretilebilmektedir. Her işin üretilmesi, Eİ makinesine bağlı bir hazırlık süresi gerektirmektedir. Her Eİ makinesine atanan iş için parçaların makinenin yapım platformunun yükseklik ve taban alanına sığması gerekmektedir. Eİ makinelerinin yapılandırmaları bir veya daha fazla katman kalınlığı ayarını desteklemekte olup bir iş için seçilen ayar; parçaların katmanlar hâlinde üretilmesinde birim hacim başına üretim hızını ve toz serme hızını belirlemektedir. Bir müşteri siparişi, onu oluşturan tüm parçalar üretildiğinde tamamlanmış sayılmaktadır.

Problem; parçaların işlere, işlerin makinelere atanmasını ve her iş için kullanılacak katman kalınlığının belirlenmesini eş zamanlı olarak içermekte olup amacı toplam gecikmeyi en aza indirmektir. Çalışmada bir karma tam sayılı programlama (KTP) formülasyonu önerilmekte ve tek, özdeş ve özdeş olmayan makine ortamlarını kapsayan problem örnekleri çözülmektedir. Tek makine durumu için iş sayısına ilişkin alt ve üst sınırlar ile toplam gecikme için bir alt sınır önerilmekte; formülasyonu güçlendirmek amacıyla geçerli eşitsizlikler geliştirilmektedir. 8 müşteriye ve 34 parçaya kadar olan problem örnekleri üzerinde yürütülen hesaplamalı deneyler, güçlendirilmiş modelin etkinliğini ortaya koymaktadır.

440 – Plastik Enjeksiyon Sektöründeki Kalite Hatalarının İstatiksel Analizi Ve İyileştime Önerileri

Ece Erkiner *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Hacer Taşkesen *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Doğukan Alıcı *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Nihal Erginel *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Duygu Candar *Nova Kalıp AŞ.*

Otomotiv sektörüne enjeksiyon yöntemiyle plastik parça üretimi gerçekleştiren bir firmada, fire oranlarının minimum seviyede tutulması hem üretim maliyetlerinin optimize edilmesi hem de firmanın pazar koşullarında rekabetçiliğini koruyabilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçte firmanın toplam üretim miktarının yaklaşık 19,18 milyon adet, fire oranının ise firma çapında %1,37 olduğu belirlenmiştir. Bu oran düşük bir düzeyde görünse de belirli ürün bazında bu oranın oldukça yüksek seviyelere ulaştığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, 2025 yılının Ocak–Eylül dönemine ait 9 aylık üretim verileri kullanılarak öncelikle en çok üretilen ve en çok fire oranına sahip, aynı zamanda gelir açısından öne çıkan 186 farklı ürün kodu Pareto analizi ile incelenmiştir. Pareto analizi sonunda, yalnızca ilk 10 ürünün tek başına toplam fire miktarının %58,47'sini oluşturduğu tespit edilmiştir. Toplam firenin %81'ini oluşturan kritik 28 ürün tespit edilmiştir. Bu ürünleri kümeleme analizi kullanarak, fire profillerine göre K-means algoritması ile önce 3 farklı kümeye ayrılmış; genel ortalamadaki ürünler Küme 0, hem üretimi hem fire oranı yüksek olanlar Küme 1, üretimi düşük ama fire oranı yüksek olanlar ise Küme 2 olarak ayrılmıştır. K-means algoritmasının tüm veri noktalarını bir kümeye dahil etme zorunluluğunu aşmak içim DBSCAN kümeleme algoritması kullanılmıştır. Bu analizde 10 aykırı ürün belirlenmiş; bu ürünlerin 9'u yüksek fire oranı, 1'i ise çok yüksek üretim hacmine rağmen son derece düşük fire oranı tespit edilmiştir. Hata türleri arasındaki sistematik birliktelikleri ve eş zamanlı ortaya çıkan kusurları belirlemek için uygulanan Bimax (İkili Kümeleme) algoritması kullanılmış ve özellikle eksik enjeksiyon ve çapak hatalarının birbiriyle doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Uzmanların katılımıyla gerçekleştirilen kök neden analizleri ve Hata önceliklendirme matrisleri sonucunda, tüm kalite hatalarında makine parametrelerinin en kritik faktörler olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda; enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, mal alma miktarı, ütüleme basıncı ve ütüleme hızı olmak üzere beş farklı faktörü kapsayan bir deney planlanmıştır. Üretilen her bir ürün, uzmanları tarafından kalitesine göre 1 (kusursuz) ile 5 (ağır kusurlu) arasında değişen sıralı bir skalada puanlanmıştır. Sıralı Lojistik Regresyon modeli ile veriler analiz edilmiştir. Kurulan modeli %92 uyum doğruluğu sağlarken, modelin Ki-Kare testi de istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı çıkmıştır ($p < 0,001$). Sıralı Lojistik Regresyon modelinin sonuçları incelendiğinde, enjeksiyon basıncının ve mal alma miktarının ürün kalitesi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur ($p=0,000$); diğer üç faktörün etkisinin ise (enjeksiyon hızı, ütüleme hızı, ütüleme basıncı) anlamsız olduğu görülmüştür.

Üretim adetleri milyonlar ile ifade edilen üretim ortamlarında fire oranları küçük gibi görünse de adet ve maliyet olarak oldukça önemlidir. Ürün çeşitliliğinin fazla olduğu durumlarda doğru problem tespiti çeşitli problem çözme teknikleri ile belirlenebileceği gibi günümüzde veriye dayalı kümeleme algoritmaları da oldukça popüler ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha sonra da makine parametrelerini optimize etmek için de deney planlaması ve istatistiksel teknikler kullanılmasının fire oranını azalttığı görülmüştür.

441 – Avrupa Birliği'nde Döngüsel Ekonominin Yapısal Bağımlılıkları, Yakınsama Eğilimleri ve Ülke Heterojenliği: Bir Bayes Ağları Analizi

Esma Nur Çinicioğlu *İstanbul Üniversitesi*

Döngüsel ekonomi (DE), Avrupa Birliği'nin sürdürülebilirlik politikalarının merkezinde yer almakta; kaynak verimliliği, geri dönüşüm, atık yönetimi, tüketim davranışları ve çevresel baskılar gibi birbiriyle ilişkili birçok ekonomik, çevresel ve yönetsel boyutun birlikte değerlendirilmesini gerektiren kapsamlı bir dönüşüm süreci olarak öne çıkmaktadır. Ancak mevcut çalışmaların önemli bir bölümü döngüsel ekonomi performansını çoğunlukla tekil göstergeler veya bağımsız performans ölçütleri üzerinden değerlendirmekte, göstergeler arasındaki karşılıklı bağımlılık yapısını ve sistem düzeyindeki etkileşimleri yeterince ortaya koyamamaktadır.

Bu çalışma, Avrupa Birliği döngüsel ekonomisini Bayes Ağları aracılığıyla sistem düzeyinde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, Avrupa Birliği döngüsel ekonomi göstergeleri arasındaki yapısal bağımlılıkların, yakınsama eğilimlerinin ve ülke grupları etrafında ortaya çıkan heterojen döngüsel ekonomi yollarının analiz edilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda EUROSTAT tarafından yayımlanan Avrupa Birliği döngüsel ekonomi göstergeleri kullanılmıştır. Veri seti, Avrupa Birliği üyesi ülkelerin on yıllık dönem boyunca gözlemlerini içermektedir. Analizde geri dönüşüm oranları, döngüsel malzeme kullanım oranı, kaynak verimliliği, malzeme ayak izi, atık üretimi, yenilenebilir enerji kullanımı ve çevresel baskı göstergeleri gibi farklı boyutları temsil eden değişkenler yer almaktadır.

Sürekli değişkenler, keyfi eşik değerler belirlemek yerine veri yapısını dikkate alan hiyerarşik ayrıklaştırma yöntemiyle ordinal durumlara dönüştürülmüştür. Ağ yapıları skor temelli Bayesyen arama algoritmaları kullanılarak öğrenilmiş; modelin aşırı karmaşıklaşmasını önlemek ve yorumlanabilirliğini korumak amacıyla ebeveyn sayısı sınırlandırılmıştır. Ağın model parametreleri beklenti maksimizasyon algoritması (EM) aracılığıyla ile veriden öğrenilmiştir. Elde edilen ağ yapıları, döngüsel ekonomi göstergelerinin bağımsız performans alanları olarak değil, karşılıklı bağımlılıklar içeren bütünleşik bir yapının parçaları olarak hareket ettiğini göstermektedir. Öğrenilen ağ yapıları yalnızca değişkenler arasındaki bağlantıları ortaya koymamakta, aynı zamanda bağlantı gücü ölçüleri ve değişken düzeyinde geliştirilen etki göstergeleri aracılığıyla sistem içinde hangi göstergelerin daha merkezi veya belirleyici konumda bulunduğunu değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Bu çerçevede bazı göstergelerin ağ yapısında daha baskın bir rol oynadığı, bazı göstergelerin ise daha çok dolaylı bağımlılık yapıları üzerinden sistemle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmada ayrıca senaryo temelli çıkarım analizleri gerçekleştirilmiştir. Ağda belirli göstergelere ilişkin gözlem yapıldığında diğer değişkenlerin sonsal olasılık dağılımlarında ortaya çıkan değişimler incelenmiştir. Bulgular, farklı gözlem koşullarının kimi durumlarda benzer sistem düzeyi olasılık örüntülerine yol açabildiğini göstermektedir. Bu durum, Avrupa Birliği döngüsel ekonomisinde belirli yapısal yakınsama eğilimlerinin bulunduğuna işaret etmektedir. Bunun yanında analizler, ülkelerin benzer döngüsel ekonomi mekanizmalarına sahip olmadığını ve ülke grupları arasında farklı bağımlılık yapılarının ortaya çıktığını da göstermektedir. Özellikle görece gelişmiş döngüsel ekonomi sistemlerinde döngüsel malzeme kullanımının daha çok sistem düzeyindeki kaynak verimliliği ve malzeme kullanımı dinamikleriyle ilişkili olduğu görülürken, daha heterojen yapılarda geri dönüşüm göstergelerinin daha belirgin bir rol oynadığı gözlemlenmiştir.

Çalışmanın temel katkılarından biri, Bayes Ağlarının sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi çalışmalarında açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımı olarak kullanılabileceğini göstermesidir. Bayes Ağları yalnızca doğrudan ilişkileri değil, dolaylı bağımlılıkları, olasılıksal etkileşimleri ve sistem düzeyindeki örüntüleri incelemeye olanak tanımaktadır. Ayrıca senaryo analizi ve olasılık güncelleme mekanizmaları sayesinde politika yapıcılar açısından yorumlanabilir ve güncellenebilir bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.

Bu çerçevede elde edilen bulgular, Avrupa Birliği'nde döngüsel ekonominin yalnızca göstergelerden oluşan statik bir performans alanı olarak değil, karşılıklı bağımlılıklar ve olasılıksal ilişkiler üzerinden şekillenen bütünleşik bir yapı olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Analiz sonuçları, döngüsel ekonomi göstergeleri arasındaki yapısal bağımlılıklara, sistem düzeyindeki yakınsama eğilimlerine ve ülke grupları arasında farklılaşan bağımlılık örüntülerine ilişkin içgörüler sunmaktadır.

442 – Çatı Üstü Güneş Enerji Sistemlerinin Kuruluş Yeri Seçimi İçin Bir Karar Modeli

Doç. Dr. Onur Çetin *Trakya Üniversitesi*
Eyüp Öner *Trakya Üniversitesi*

Sürdürülebilirlik son yıllarda önemi gittikçe artan konulardan biridir. Konunun önemi işletmeler açısından ve tedarik zinciri açısından da gittikçe artmaktadır (Nickel, 2005). Sürdürülebilirlik kapsamında önemli konulardan birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıdır (Adedeji vd., 2020). Rüzgâr enerjisi güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili önemli konulardan birisi yenilenebilir enerji kaynağının üretileceği tesisin nerede konumlanacağıdır (Bolturk ve Kahraman, 2018). Güneş enerjisini yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanmak için gereken panellerin nerelerde konumlandırılacağı da akademik çalışmalara konu olmuştur. Burada tipik bir kuruluş yeri seçimi problemi söz konusudur. Literatürdeki problemlerde daha çok güneş enerjisi santralleri için kuruluş yeri seçimi problemi incelenmiştir (Wu ve Geng, 2014; Noorollahi vd., 2016; Ateş ve Topal, 2021; Imamverdie, 2022; Gökmener vd., 2023; Anjuman vd., 2023; Tekdemar ve Tekdamar, 2024). Ancak son yıllarda, artan şehirleşme ve sanayi bölgelerinde enerji tüketiminin yoğunlaşmasıyla birlikte çatı üstü GES uygulamaları öne çıkmaya başlamıştır. Buna rağmen, çatı alanlarının güneş enerjisi üretimi açısından değerlendirilmesiyle ilgili sistematik çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (Boztepe & Çetin, 2020).

Literatürde kuruluş yeri seçimi problemleri için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) kullanımı oldukça yaygındır (Nickel, 2005). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kuruluş yeri seçiminde de ÇKKV kullanılmaktadır. Güneş enerjisi santrali için yer seçimi, Türkiye'de ve dünyada yapılan birçok çalışmada incelenmiştir. Bu çalışmalarda kimi zaman sadece Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), kimi zaman ise birden fazla yöntem kullanılmıştır (Göbeloğlu, 2024).

Bu çalışma, çatı üstü güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu için karar verme sürecinde dikkate alınması gereken kriterleri belirlemeyi ve bu kriterlerin birbirleriyle olan etkileşimlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Temel hedef, karar vericilere en uygun çatı seçiminin yapılabilmesi için bilimsel ve uygulanabilir bir değerlendirme modeli sunmaktır. Bu kapsamda ilk olarak, ÇKKV yöntemlerinden biri olan DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. DEMATEL, belirlenen kriterlerin birbirini ne ölçüde etkilediğini analiz ederek aralarındaki neden–sonuç ilişkilerini ortaya çıkarmakta ve kriterlerin önem düzeylerini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Böylece çatı üstü güneş panelleri kurulumu için karar süreci daha sistemli ve anlaşılır hale gelmektedir.

Çalışmada karar modelinde yer alacak olan kriterler literatürden elde edilmekle birlikte bu kriterler ile ilgili uzman görüşüne başvurulmuştur. Literatürde çok da önemli görünmeyen statik yük durumu kriterinin uzmanlarca oldukça önemli olarak görülmüştür. Literatür çalışması uzman görüşleri ile birleştirilip 11 kriterli bir DEMATEL karar modeli oluşturulmuştur. DEMTAEL yöntemi ile uzman görüşleri alınarak hem nedensel ilişkiler hem de ağırlıklar elde edilmiştir. Kriterler arasındaki nedensellik ilişkisi açısından bakıldığından Depo çatı alanı, yıllık ışınım miktarı çatı tipi ve eğimi, rüzgâr potansiyeli ve gölgelenme riski etkileyen kriterler olarak öne çıkmıştır. Kriter ağırlıkları açısından yapılan incelemede en yüksek ağırlıktan en düşük ağırlığa doğru kriterler; Güneşlenme süresi, depo çatı alanı, güneş panellerinin yönü, yıllık ışınım miktarı, çatı tipi ve eğimi, rüzgâr potansiyeli, öz tüketim, gölgelenme riski, statik yük, sıcaklık, şebeke bağlantı durumu olarak ortaya çıkmıştır. Elde edilen bulgular, saha tipi GES araştırmalarından farklı olarak, yalnızca enerji potansiyeli ve iklimsel faktörlerin değil, çatıya özgü yapısal ve operasyonel kriterlerin de kurulum uygunluğunu belirlemede kritik rol oynadığını göstermektedir. Çalışma, özellikle çatı üstü GES sistemlerinde "statik yük durumu", "çatı tipi ve eğimi", "öz tüketim miktarı" ve "trafo bağlantı durumu" gibi çatıya özgü faktörlerin önemini sayısal olarak göstermesi bakımından akademik alanda yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Araştırma bulguları, çatı üstü güneş enerjisi kurulumu planlayan işletmeler, mühendislik firmaları ve uygulayıcılar için doğrudan yararlanılabilir niteliktedir. Gelecek çalışmalarda farklı yöntemlerle bu model uygulanarak test edilebilir. Bunun yanında çatıya has faktörler çok önemli olduğundan öztüketim, çatı alanı, statik yük, gölgelenme riski gibi kriterler açısından farklılaşan yapı türleri için (sanayi tesisleri kamu binaları, yüksek katlı binalar) model denenebilir. Sonraki araştırmalarda, farklı ölçeklerde (örneğin sanayi tesisleri, ticari binalar veya kamu yapıları) benzer modeller uygulanarak, çatı üstü güneş enerjisi sistemleri için karar verme süreçlerinin farklı yapı tiplerine uyarlana bilirliği değerlendirilebilir.

444 – Çok Paydaşlı Dron Rotalama Probleminde Federe Öğrenme Tabanlı Sipariş Önceliklendirme Sistemi

Tuba Bazancir *Trabzon Üniversitesi*
Nadide Çağlayan Özaydın *Erzurum Teknik Üniversitesi*
Vecihi Yiğit *Atatürk Üniversitesi*

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle online teslimat yapan perakende ve yiyecek-içecek işletmeleri sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle günlük hayatta bunu online olarak yapan işletmelerde yoğunluğun oluşması siparişlerin nasıl önceliklendirilmesi gerektiği sorununu ortaya çıkarmıştır. Teslimatı gerçekleştiren dağıtım ağlarında siparişlerin verimli dağıtılabilmesi için siparişlerin doğru biçimde önceliklendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada dron ile teslimatın yapıldığı bir son-mil teslimat yapısı ele alınmaktadır. Talep yaratan müşteriler, siparişleri onaylayan perakende ve yiyecek-içecek işletmeleri ile gelen taşıma taleplerini konsolide ederek lojistik koordinasyonu üstlenen üçüncü taraf teslimat sağlayıcısı dikkate alınır. Merkezi öğrenme tekniklerinde marketlerden ve restoranlardan gelen bilgiler tek bir merkezde toplanır. Bu çalışmada, bir karar destek aracı ile entegre çalışabilecek federe öğrenme modeli gelen siparişleri önceliklendirmek için uygulanarak merkezi öğrenme modeli ile karşılaştırılmıştır. Farklı işletmelerden gelen bilgiler ele alınarak önceliklendirileceği için işletmenin sipariş verisi ticari açıdan gizlilik içermekte olup merkezi toplanması hem veri güvenliği hem de iletişim maliyeti açısından doğrudan paylaşılması istenmeyebilir. Federe öğrenme, model ağırlıklarının paylaşılması yoluyla ham verinin işletme dışına çıkmasını engellerken lojistik merkezin tüm ağdan ağırlıkları öğrenmesine olanak tanır. Federe öğrenme tabanlı modelde mesafe miktarı, bekleme süresi ve sipariş türü olmak üzere üç özellik dikkate alınarak siparişleri türlerine göre gruplandırmak ve böylece kritik öncelikli olanları dronlara atayarak sürecinin verimli biçimde yönetilmesi hedeflenmektedir. Çalışmada çok paydaşlı dron sistemlerinde sipariş önceliklendirme problemini çözmek amacıyla federe öğrenme tabanlı karar destek sistemi geliştirilerek, merkezi öğrenme yaklaşımıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sipariş türü parametresi acil, büyük ve standart olarak üçe kategoriye ayrılmış ve öncelik hesaplamasında üçüncü bir özellik olarak kullanılmıştır. 0.00 – 0.33 arası “Standart”, 0.34 – 0.66 arası “Büyük” ve 0.67 ve üzeri “Acil” alınarak sipariş türü sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Acil grubunda yer alan siparişlerin, diğer özelliklerle birlikte değerlendirilerek daha yüksek öncelik skorları alması hedeflenmiştir. Böylece sistem içinde kritik olan siparişler daha hızlı değerlendirilebilecektir. Üç girdili ve tek çıktılı olarak tasarlanan sistemde doğrusal sinir ağı modeli Pytorch tabanlıdır. Modelin eğitimi için mesafe miktarı, bekleme süresi ve sipariş türü girdilerine mesafe miktarı ve bekleme süresi daha baskın olacak şekilde ağırlık katsayıları verilmiştir. Federe öğrenme yapısında istemciler modeli kendi yerel verileri ile eğiterek model ağırlıklarını merkezi sisteme göndermiştir. Yerel modellerden gelen ağırlıkların ortalaması FedAvg algoritması ile alınarak küresel model güncellenmiştir. Eğitim sonunda elde edilen model ile siparişlerin öncelik skorları hesaplanmış ve bu skorlar kullanılarak sıralama yapılmıştır. Bu model ile sipariş süreci etkili olarak yönetilerek işletmelerden gelen veriler merkezi toplanmaya ihtiyaç duyulmadan eğitilmektedir. Eğitilen model, farklı işletmelere gelen 10 sipariş verileriyle çalıştırılarak sonuçlar merkezi ve federe yaklaşımları kullanılarak kıyaslanmıştır. Modelin sonucunda, siparişler türlerine göre gruplandırılır, gruplar kendi içinde öncelik puanına göre sıralanır ve en yüksek skora sahip olan siparişler dronlara atanarak yönlendirilir. Deneysel sonuçlara bakıldığında merkezi öğrenmenin daha az güvenilir ama daha hızlı, federe öğrenmenin ise daha güvenli ama daha yavaş bir yapı sunduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle federe öğrenme yaklaşımı, çok paydaşlı sistemlerde operasyonel sürdürülebilirlik ve veri gizliliği açısından daha uygun bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

448 – Gezgin Satıcı Probleminin Yelken Balığı Optimizasyon Algoritması ile Çözümünde Farklı Kodlama Tekniklerinin Etkisi

Ahmet Cihan *Düzce Üniversitesi*

Yöneylem Araştırması kapsamında önemli bir yere sahip olan Gezgin Satıcı Problemi, bir satıcının tüm düğümleri bir ve yalnızca bir kez ziyaret ederek başlangıç noktasına geri döndüğü en kısa turun belirlenmesini amaçlayan ve NP-Zor sınıfında yer alan klasik bir optimizasyon problemidir. Problem, sahip olduğu yüksek hesaplama karmaşıklığı nedeniyle literatürde uzun yıllardır yoğun biçimde incelenmekte; özellikle sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler, problemin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu meta-sezgisel yöntemlerden biri olan Yelken Balığı Optimizasyon Algoritması, yelken balıklarının kolektif avlanma davranışından esinlenerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır. Algoritmada yelken balığı bireyleri avcı çözümleri temsil ederken, sardalya bireyleri ise kurban rolünü üstlenmekte; böylece çözüm uzayındaki keşif kapasitesi artırılarak algoritmanın yerel en küçüklere takılma olasılığı azaltılmaktadır. Sahip olduğu keşif ve sömürü mekanizması sayesinde algoritma, karmaşık optimizasyon problemlerinde rekabetçi sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Bu çalışmada, kombinatoryal optimizasyon alanının temel problemlerinden biri olan Gezgin Satıcı Probleminin çözümünde Yelken Balığı Optimizasyon Algoritmasının performansı farklı kodlama teknikleri için incelenmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan küçük boyutlu kıyas problemleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, çözüm temsil yöntemi olarak kullanılan rastgele anahtar kodlama tekniği ile öncelik kodlama tekniği karşılaştırılmış; her iki yaklaşımın çözüm kalitesi ve algoritmik performans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

449 – Sepsisle İlişkili Akut Böbrek Hasarının Erken Tahmininde Makine Öğrenmesi Yaklaşımı

Duygu Topaloğlu *Pamukkale Üniversitesi*
Olcay Polat *Pamukkale Üniversitesi*

Sepsisle ilişkili akut böbrek hasarı (SB-ABH), yoğun bakım ünitelerinde yatan sepsis tanılı hastaların yaklaşık yarısında gözlenen, mortaliteyi belirgin biçimde artıran ve uzun dönemde kronik böbrek yetmezliği riskini yükselten ciddi bir komplikasyondur. Erken tanı; sıvı tedavisinin zamanında düzenlenmesine, nefrotoksik ilaç maruziyetinin sınırlanmasına ve gerektiğinde böbrek destek tedavisinin başlatılmasına olanak tanıyarak hasta sonuçlarının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle elektronik sağlık kayıtlarına dayalı tahmin modellerinin geliştirilmesi hem klinik karar destek hem de yoğun bakım analitiği açısından önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu çalışmada, MIMIC-IV v3.1 yoğun bakım veri tabanı kullanılarak SB-ABH için bir makine öğrenmesi modeli geliştirilmiştir. Çalışma kohortuna; yaşı 18 ve üzerinde, yoğun bakım yatış süresi en az 24 saat olan sepsis tanılı hastalar dahil edilmiş; böbrek nakli geçirenler, kronik diyaliz alanlar ve yatış öncesinde akut böbrek hasarı bulunanlar dışlanmıştır. Her hasta için yalnızca ilk yoğun bakım yatışı analiz birimi olarak alınmıştır. Sonuç değişkeni, Böbrek Hastalığı: Küresel Sonuçları İyileştirme (KDIGO) Çalışma Grubu (2012) tarafından yayımlanan akut böbrek hasarı klinik uygulama rehberi ölçütlerine göre tanımlanmıştır. Demografik bilgiler, eşlik eden hastalıklar, vital bulgular ve rutin laboratuvar değerlerinden oluşan bir öznitelik kümesi üzerinden SB-ABH için modelleme yapılmıştır. Model olarak ağaç tabanlı arttırmalı yöntemlerden XGBoost seçilmiş; kohort rastgele bölünme şeması altında eğitim ve test alt kümelerine ayrılmıştır. Model performansı eğri altı alan (AUROC) ile değerlendirilmiştir. Geliştirilen XGBoost modeli, test kümesinde literatür bandı içinde, 0,73 düzeyinde bir ayırt edicilik elde etmiştir. Bu sonuç, MIMIC-IV üzerinde SB-ABH erken tahmininin klinik açıdan anlamlı bir başarıyla mümkün olduğunu göstermektedir. Çalışma; yoğun bakım analitiği ve klinik karar destek sistemleri kapsamında, sepsis hastalarının böbrek hasarı açısından erken risk gruplandırmasına katkı sağlama potansiyeli taşımaktadır.

450 –Aktarmalı Envanter Rotalama Problemleri için ALNS Tabanlı Hibrit Bir Sezgisel Çözüm Önerisi

Melik Alp Atik *Pamukkale Üniversitesi*
Prof. Dr. Olcay Polat *Pamukkale Üniversitesi*

Envanter rotalama problemi, tedarik zincirlerinde stok düzeyi ve araç rotalama kararlarının birlikte ele alınmasını gerektiren çözümü zor birleşik karar problemlerinden biridir. Klasik problem yapısında ürün akışı yalnızca depodan müşterilere doğru gerçekleşmekte ve müşteriler arasında yatay ürün aktarımına izin verilmemektedir. Bu çalışmada, müşteriler arası aktarma kararlarını da içeren envanter rotalama problemi ele alınmakta ve bu problem için uyarlanabilir büyük komşuluk araması temelli hibrit bir sezgisel çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Çerçeve, müşteri ziyaret ve rota kararlarını üreten sezgisel arama katmanı ile teslim miktarlarını ve aktarma akışlarını eniyileyen matematiksel programlama katmanı arasındaki koordinasyona dayanmaktadır. Rota oluşturma kararları ile envanter ve aktarma miktarlarına ilişkin kararlar bütünleşik biçimde değerlendirilmektedir. Çalışmanın yöntemsel katkısı, uyarlanabilir büyük komşuluk araması yapısına eklenen çok turlu onarım mekanizmasıdır. Geleneksel uygulamalarda bozma işlemini tek bir onarım adımı izlerken, önerilen yapıda onarım süreci ardışık turlara ayrılmakta ve her tur ayrı bir aday çözüm üretmektedir. Ayrıca, bozma sonrasında onarım yapılmayan ara çözüm de bağımsız bir aday olarak değerlendirme havuzuna alınmaktadır. Bu sayede, büyük bozma hareketleri sonrasında arama uzayında aşırı sıçramalar önlenmekte ve bazı yinelemelerde onarımsız çözümün daha düşük maliyet üretme olasılığı sistematik olarak değerlendirilebilmektedir. Önerilen yaklaşımın başarımı, literatürde yaygın olarak kullanılan kıyaslama veri kümeleri üzerinde toplam maliyet, çözüm süresi ve yöntem bileşenlerinin katkısı açısından incelenecektir. Çalışmanın, aktarma kararlarını içeren envanter rotalama problemleri için esnek ve geliştirilebilir bir sezgisel çözüm çerçevesi sunması beklenmektedir

452 – Futbolda Forvet Oyuncusu Seçimine Çok Amaçlı Karar Destek Yaklaşımı

Muhammed Nasuhi Genç *İstanbul Üniversitesi*
Enise Karataş *İstanbul Üniversitesi*
Seda Tolun Tayalı *İstanbul Üniversitesi*

Futbol, düşük skor üretim yapısı nedeniyle her hücum aksiyonunun yüksek marjinal değer taşıdığı bir karar ortamı sunmaktadır (Rathke, 2017). Bu özellik, oyuncu performansının yalnızca gol sayısı gibi tek boyutlu göstergelerle değerlendirilmesini yetersiz kılmaktadır. Teknik direktörlerin farklı oyun planlarına bağlı olarak değişen beklentileri; ceza sahası içi bitiricilik, geçiş oyununa katkı ve uzak mesafeden şut tehdidi gibi çelişen performans boyutları yaratarak çok amaçlı bir karar destek çerçevesi üretmektedir. Bu çalışmada, söz konusu dinamikleri ele almak amacıyla, kümeleme tabanlı taktiksel segmentasyon ile öncelikli hedef programlamayı entegre eden, oyun planına özgü nesnel bir karar destek çerçevesi kurgulanmıştır. Araştırmada 2020-2025 Türkiye Süper Ligi sezonlarına ait veri setinden forvet pozisyonundaki 526 oyuncuya ait 14.373 şut ayrıştırılmış; performans oynaklığını azaltmak için en az 30 şut barajını karşılamayan analiz dışı bırakılmış ve örneklem 134 oyuncuya indirgenmiştir. Penaltı vuruşları, oyun içi performansı saptırma riski nedeniyle veri setinden çıkarılmıştır. Hesaplamalarda Opta tabanlı xG modeli (şut kalitesine dayalı gol olasılığı metriği) kullanılmıştır. Oyuncu performansını temsil eden değişken seti iki grupta tanımlanmıştır. Başarı metrikleri; toplam xG, ortalama xG, dönüşüm oranı (gol / şut) ve G-xG; taktiksel profil değişkenleri ise ceza sahası içi şut oranı (ceza sahası içi şut / toplam şut), ceza sahası dışı şut oranı (ceza sahası dışı şut / toplam şut), kafa şutu oranı (kafa şutu / toplam şut) ve kontra atak şut oranından (kontra atak şutu / toplam şut) oluşmaktadır. Toplam xG ve G-xG hariç tutularak, oyun tarzını yansıtan altı profil göstergesi normalize edilerek k-ortalamalar ile kümeleme gerçekleştirilmiştir. Yapılan kümeleme değerlendirmelerinde k=2 uygun bir seçenek olarak görünse de bu yapının taktiksel heterojenliği yeterince yansıtmadığı değerlendirilmiş; daha ayrıştırıcı sonuçlar üretmesi ve antrenör tercihlerini daha gerçekçi biçimde desteklemesi nedeniyle k=3 küme sayısı benimsenmiştir. Elde edilen kümeler taktiksel pratiklerle uyumlu biçimde şu şekilde belirlenmiştir: Yüksek ceza sahası içi şut ve kafa vuruşu oranıyla "Ceza Sahası Forveti"; kontra atak şutlarıyla öne çıkan "Hareketli Forvet" ve ceza sahası dışı şut eğilimi gösteren "Geniş Alan Forveti". Bu aşama, oyuncuların kalitesinden ziyade sahadaki rollerini belirlemektedir. Çok amaçlı karar problemlerinde hedeflerin önem sırasına göre yapılandırıldığı durumlarda öncelikli hedef programlama kullanılmaktadır (Ignizio, 1985). Bu yaklaşımda hedefler öncelik sırasına göre değerlendirilir; üst düzey hedefler mutlak önceliğe sahiptir ve alt düzey hedefler ancak üst düzey hedeflerin optimal değerlerini koruyacak şekilde iyileştirilebilir. Modelin ilk aşamasında, küme içi toplam xG üretiminde 75. yüzdelik dilim barajını geçemeyen oyuncular elenerek ön eleme havuzu sert kısıt olarak tanımlanmıştır. Karar yapısı, her oyuncu için tanımlanan ikili karar değişkeni $x_j \in \{0,1\}$ üzerine kurulmuş ve $\Sigma x_j = 1$ kısıtı ile her küme için tek bir oyuncu seçimi zorunlu kılınmıştır. Hedef programlama yapısında farklı ölçeklerdeki metriklerin birbirini baskılamasını önlemek amacıyla normalize edilmiş sapmalar kullanılmış ve 100/10/1 öncelik katsayı yapısı benimsenmiştir (Tamiz vd., 1998). Modelin amaç fonksiyonu üç temel öncelik düzeyinden oluşmaktadır. Birinci öncelikte dönüşüm oranındaki negatif sapma minimize edilmekte, ikinci öncelikte G-xG metriğindeki eksiklik azaltılmakta, üçüncü öncelikte ise kümeye özgü taktiksel profil metriklerinden sapma minimize edilmektedir. Geniş Alan Forveti modelinde ayrıca ortalama şut mesafesi için çift yönlü sapma ($d^- + d^+$) minimize edilmektedir. Mutlak sapmanın minimize edilmesine dayanan bu hedef, belirlenen taktiksel standardın ne altında kalınmasının ne de üzerine çıkılmasının istenmediği, profile özgü mesafelere yakınlığın önceliklendirildiğini göstermektedir. Önerilen öncelikli hedef programlama modelleri, her üç profil için taktiksel beklentilerle uyumlu sonuçlar üretmiştir. Ceza Sahası Forveti kümesinde, toplam xG barajını geçen oyuncular arasından Mauro Icardi seçilmiştir. Icardi'nin beş yıllık süreçte beklentinin üzerinde skor üretmesi ve dönüşüm oranında küme standardını aşması, kurgulanan yapının bitiricilik kalitesini ayırt etme yeteneğini yansıtmaktadır. Hareketli Forvet kümesinde hem verimlilik kriterlerini hem de kontra atak eğilimini karşılayan Nuno da Costa ön plana çıkmıştır. Geniş Alan Forveti kümesinde, toplam xG eşiğini geçen sınırlı sayıda oyuncu arasından Hugo Rodallega model tarafından seçilmiştir. Bu kümede yalnızca altı oyuncunun eşik değerini karşılayabilmesi, geniş alan forvet profilinin veri seti içerisinde daha dar bir performans dağılımına sahip olduğunu göstermektedir. Opta modelinin taktiksel profil atamasındaki duyarlılığı, sınırda kalan oyuncuların kümelerini ve dolayısıyla seçim havuzunu doğrudan şekillendirmektedir. Bu durum, xG modellerinin yalnızca skor tahmini değil, aynı zamanda oyuncu profilini belirleyen birer sınıflandırma filtresi olarak da ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışma, G-xG metriğini öncelikli bir hedef programlama modeline entegre

ederek, oyun planına özgü forvet seçimi için nesnel bir çerçeve sunmaktadır. Önerilen yaklaşım, tek metrikten kaynaklanan yanıltıcı değerlendirmelerin önüne geçerek karar vericiye matematiksel olarak savunulabilir bir seçim aracı sağlamaktadır. Analizin yalnızca şut kayıtlarını kapsaması, dakika bazlı normalizasyon yapılamaması ve G-xG metriğinin içerdiği volatilite riski çalışmanın temel kısıtlarıdır. Gelecek araştırmalarda pas, top kazanma ve pres gibi ek performans boyutlarının modele dahil edilmesi ve çok dönemli bir yapıyla oyuncu gelişiminin izlenmesi önerilmektedir.

453 – Afet Müdahale Planlamasında Entegre Yer Seçimi ve Atama için Stokastik Optimizasyon Modeli

İhsan Demir *Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ)*
Mehmet Kürşat Öksüz *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi*

Afet sonrasında sağlık hizmetlerine erişim, toplanma alanlarının kullanımı ve geçici barınma ihtiyacının karşılanması, müdahale sürecinin temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Deprem gibi yıkıcı afetler sonrasında yaralıların uygun sağlık tesislerine hızlı biçimde yönlendirilmesi, afetzedelerin güvenli alanlarda toplanması ve barınma ihtiyacı bulunan bireylerin uygun geçici barınma alanlarına yerleştirilmesi, can kayıplarının azaltılması ve kaynakların etkin kullanılması açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak bu bileşenlerin birbirinden bağımsız olarak planlanması, özellikle afetin büyüklüğü, etkilenen nüfus, yaralı sayısı ve tesis kapasiteleri gibi belirsizliklerin bulunduğu durumlarda bütüncül kararlar alınmasını zorlaştırabilmektedir. Bu çalışmada, deprem sonrası müdahale sürecinde sahra hastaneleri, toplanma alanları ve geçici barınma alanlarının yer seçimi ile afetzede ve yaralı atama kararları bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Önerilen modelde, afetten etkilenen nüfusun mahallelerden uygun toplanma alanlarına yönlendirilmesi, yaralıların triaj durumlarına göre mevcut hastanelere veya sahra hastanelerine atanması ve barınma ihtiyacı bulunan bireylerin geçici barınma alanlarına yerleştirilmesi birlikte değerlendirilmiştir. Böylece afet müdahale süreci yalnızca tesislerin konumlandırılması açısından değil, aynı zamanda hizmet talebinin uygun tesis ve alanlara dağıtılması açısından da ele alınmıştır. Çalışmanın uygulama alanı olarak deprem riski yüksek bölgelerden biri olan Erzincan ili Merkez ilçesi seçilmiştir. Olası deprem etkilerini temsil etmek üzere farklı senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar altında afet müdahale sisteminin daha gerçekçi biçimde planlanabilmesi için stokastik karma tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, farklı afet senaryolarında hangi tesis ve alanların öncelikli olarak kullanılabileceğini göstermekte; aynı zamanda mevcut kapasitenin yetersiz kaldığı durumları ve sistemde oluşabilecek darboğazları ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, deprem öncesi hazırlık ve afet sonrası müdahale planlaması için senaryo temelli, bütünleşik ve uygulanabilir bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.

454 – Metin Madenciliğine Dayalı Kansei Mühendisliği Yaklaşımı: Otel Hizmetlerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Uygulama

Leman Esra Dolgun *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Zeynep Ezgi Yeşil *Eskişehir Teknik Üniversitesi*
Cemre Başak Kılıç *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Kansei Mühendisliği, müşteri hislerinin ve duygularının tasarıma aktarılması metodolojisidir. Japonca bir kelime olan "Kansei" hisler, duygular, imaj anlamına gelir. Kansei'nin ölçülmesinde en yaygın kullanılan araçlardan biri olan Kansei kelimeleri, ilgilenilen ürün/hizmet için müşterinin hislerini, algılarını ve imajı ifade eden kelime veya kelime gruplarından oluşur. Kansei Mühendisliği; Kansei'nin ölçülmesi için semantik uzayın taranması (Kansei kelimelerinin belirlenmesi), ürün/hizmet özelliklerinin belirlenmesi ve ürün/hizmet özellikleri ile müşteri hisleri (Kansei kelimeleri) arasındaki ilişkilerin belirlendiği sentezleme süreçlerinden oluşur. Sentezleme aşamasında gerekli verinin toplanması için genellikle başvurulan anket uygulaması, önemli ölçüde emek isteyen, maliyetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Katılımcılar anketi geçmiş tecrübelerine dayalı anıları hatırlamaya çalışarak veya olası senaryoları düşünerek doldurmaya çalışır. Anketin ürün/hizmet denemelerini içermesi durumunda ise planlama ve uygulama için gerekli zaman, emek ve maliyet artar. Müşteri beklentilerinin ve tercihlerinin hızlıca değiştiği günümüzde büyük çaba ile elde edilen anket verisi güncelliğini kısa sürede yitirebilir.

Günümüzde müşterilerin ürünler/hizmetler ile ilgili paylaştıkları çevrimiçi yorumlar çok sayıda kullanıcı tarafından yapılan güncel ve doğrudan değerlendirmeleri içerdiğinden müşteri deneyimlerini ve beklentilerini anlamada önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Metin Madenciliği, anket verisi gibi yapılandırılmış olmayan fakat zengin içerikli çevrimiçi müşteri yorumlarından anlamlı bilgilerin çıkarılmasını sağlar.

Bu çalışmada, Metin Madenciliği'ne dayalı bir Kansei Mühendisliği yaklaşımı geliştirilmiştir. Yöntemin uygulaması Belek'te yer alan beş yıldızlı oteller için bir çevrimiçi rezervasyon ve değerlendirme sitesinde yapılan yorumlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, otel hizmet özellikleri ve Kansei kelimelerinin eş zamanlı olarak ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Ön işlemeden geçirilen çevrimiçi yorumlara Python SpaCy kütüphanesi kullanılarak Bağlılık Ayrıştırma yöntemi uygulanmıştır. Bağlılık Ayrıştırma bir Metin Madenciliği yöntemidir ve cümlede bulunan kelimeler arasındaki bağlılık ilişkilerinin belirlenmesini sağlar. "nmod:poss" ilişkisi ile isim tamlamaları belirlenmiş ve belirlenen isim tamlamaları içinden otel hizmet özelliği olamayacaklar elenmiştir. Müşteri yorumlarında aynı hizmet özelliğinden farklı ifadeler kullanılarak bahsedilebileceğinden aynı veya benzer anlama sahip isim tamlamaları gruplanmıştır. Kansei kelimelerinin belirlenmesi için "nmod:poss" ilişkisi görülen cümleler içinde "nsubj" ilişkisinin aranmıştır. Bağlılık Ayrıştırma yönteminde "nsubj" (nominal subject) ilişkisi yüklem konumundaki sıfatlara ait özneler için kullanılır. Böylelikle, Kansei kelimeleri otel hizmet özellikleri ile bağlantıları ortaya çıkarılacak şekilde belirlenmiştir.

Otel hizmet özellikleri ile Kansei kelimelerinin ilişkilendirilmesi için link analizi ve önem-performans analizi gerçekleştirilmiştir. Link analizinde hizmet özelliklerinin müşterilerde hangi hisleri yarattığının anlaşılması amacıyla hizmet özellikleri ile Kansei kelimelerinin müşteri yorumlarında birlikte yer alma sıklıkları grafikler ile görselleştirilmiştir. Önem-performans analizi ile otellerin birincil ve ikincil iyileştirme alanlarının ve rekabetçi avantaja sahip oldukları özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bir hizmet özelliğinin önemi ilgili özelliğin yorumlarda yer alma sayısının tüm hizmet özelliklerinin yorumlarda yer alma sayısına oranı, performansı ise ilgili özelliğin olumlu Kansei kelimeleri ile birlikte yer alma sayısının özelliğin yorumlarda yer alma sayısına oranı olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin ortalamaları önem ve performans boyutlarının ikiye bölünmesi için kullanılmış ve böylelikle yüksek önem - yüksek performans, yüksek önem - düşük performans, düşük önem - düşük performans, düşük önem - yüksek performans olacak şekilde dört bölge belirlenmiştir. Her bölgeye düşen hizmet özellikleri ilgili hizmet özelliğinin müşterilerde hangi hisleri uyandırdığını gösteren link analizi grafiği ile birlikte değerlendirilmiş ve iyileştirme önerileri geliştirilmiştir.

Önerilen yöntem, tek bir otel bazında, farklı hizmet alanlarında veya ürün tasarımlarının iyileştirilmesinde de kullanılabilir.

461 – Endüstri Mühendisliği Alanında Sonuçlanan TÜBİTAK ARDEB Projelerinin Tematik ve Zamansal Analizi

Pınar Soylu *TÜBİTAK ARDEB*
Tankut Yıldız *TÜBİTAK ARDEB*
Bora Kat *TÜBİTAK ARDEB*
Burhaneddin Sandıkçı *İstanbul Teknik Üniversitesi*
Olcay Polat *Pamukkale Üniversitesi*

Bu çalışmada, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Araştırma Destek Programları Başkanlığı (ARDEB) kapsamında Endüstri Mühendisliği alanında 2012 yılı sonrasında desteklenmiş ve sonuç raporları kabul edilmiş projelerin tematik ve zamansal yapısının incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın çıkış noktası, desteklenen proje portföyünün yalnızca sayısal göstergeler üzerinden değil, proje başlığı, özet ve anahtar kelime içeriklerinde yer alan kavramsal örüntüler üzerinden de değerlendirilmesinin alanın gelişim eğilimlerini anlamak açısından önemli olmasıdır. Bu kapsamda ilgili dönemde sonuç raporları kabul edilen ve TR-Dizin'de yayımlanmış veya yayımlanma süreci devam eden 172 projeden ambargo süresi dolmuş olan projeler çalışmaya dahil edilerek, metin madenciliği ve denetimsiz konu modelleme yaklaşımıyla analiz edilmiştir.

Yöntemsel olarak, proje metinleri öncelikle Türkçe metin işleme adımlarından geçirilmiş, durak kelimeler temizlenmiş, alan-özel kavramlar standartlaştırılmış ve analiz için uygun doküman-terim yapısı oluşturulmuştur. Ardından Negatif Olmayan Matris Faktörizasyonu (NMF-Non-negative Matrix Factorization) yöntemi kullanılarak proje metinlerindeki örtük araştırma temaları belirlenmiştir. Model performansını artırmak amacıyla konu tutarlılığı ve konu çeşitliliği ölçütleri birlikte değerlendirilmiştir.

Elde edilecek bulguların, Endüstri Mühendisliği alanında hangi araştırma konularının öne çıktığını, hangi temaların yıllar içinde güçlendiğini veya görece sınırlı kaldığını ve desteklenen projelerin yöntemsel ya da uygulama alanı bakımından nasıl kümelendiğini göstermesi beklenmektedir. Bu yönüyle çalışmanın, TÜBİTAK destekli Endüstri Mühendisliği araştırmalarının geçmiş dönem eğilimlerini veri temelli olarak ortaya koyarak gelecek dönem araştırma önceliklerinin tartışılmasına katkı sunması planlanmaktadır.

462 – Deprem Sonrası İHA Bazlı Baz İstasyonlarının Yerleşim ve Kullanım Optimizasyonu

Betül Çoban Yelken *Abdullah Gül Üniversitesi*
Hacer Aflaz *Abdullah Gül Üniversitesi*
Efşan Gülümser İdis *Abdullah Gül Üniversitesi*
Safiye Aybala Kılıç *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*
Eda Yücel *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*

Büyük ölçekli afetlerin ardından, karasal iletişim altyapısı genellikle ciddi şekilde hasar görür ve bu da bilgi akışında ve acil durum koordinasyonunda önemli aksamalara yol açar. Mobil baz istasyonları olarak konuşlandırılan İnsansız Hava Araçları (İHA'lar), afet sonrası acil dönemde kritik iletişim desteği sağlamak için umut vadeden bir çözüm sunmaktadır. Ancak, bu tür sistemlerin etkin kullanımı, sınırlı pil kapasitesi, dalgalanan kullanıcı talebi ve şarj altyapısıyla koordineli çalışma ihtiyacı ile kısıtlanmaktadır. Bu çalışma, enerji sınırlamaları nedeniyle periyodik olarak şarj istasyonlarını ziyaret etmesi gereken, afet bölgesinde faaliyet gösteren bir İHA filosunu ele alarak İHA Tabanlı Mobil Baz İstasyonu Dağıtım Problemini ele almaktadır.

İHA'ların konumlandırılması, hizmet ataması, hareket kararları ve şarj işlemleri, karma tamsayı doğrusal programlama (MILP) formülasyonu aracılığıyla birlikte modellenmiştir. Amaç, operasyonel kısıtlamalar altında hizmet kapsamını ve iletişim güvenilirliğini en üst düzeye çıkarmaktır. Gurobi çözücüsü kullanılarak yapılan hesaplama deneyleri, önerilen modelin sınırlı boyutta gerçekçi ortamlarda etkili sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bulgular, önerilen modelin test edilen problem örneklerinde etkili performans gösterirken, daha büyük ölçekli şebeke yapıları ve daha kapsamlı İHA filoları için sezgisel yaklaşımların benimsenmesinin gerekliliğini de ortaya koymaktadır. Ele alınan problemi büyük çaplı gerçek hayat verileri ile çözmek amacıyla Açgözlü Rastgele Uyarlamalı Arama Prosedürleri (ARUAP) Algoritması geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve bulgular sunulacaktır.

463 – Çevrim İçi Sağlık Sektöründe RFM Analizi ve K-Means Algoritması ile Müşteri Segmentasyonu ve Makine Öğrenmesi ile Yüksek Terk Etme Riskine Sahip Müşterilerin Tahmini

Betül Emre *Istanbul Technical University*
Erkan Işıklı *Istanbul Technical University*

Modern pazarlama müşterilerin ürettiği verinin artmasıyla içgörü ve tahmine dayalı modellerden faydalanır, aynı zamanda bireysel ihtiyaçlara yönelik kişiselleştirilmiş kampanya ve iletişim stratejilerini kapsar. Özellikle veri merkezli sektörlerde ve sözleşmeli yapılarda, örneğin bankacılık ve telekomünikasyon alanlarında müşteri analitiği çalışmaları erken adapte edilmiştir ve mevcut literatürde örneklerine sıkça rastlanabilmektedir. Daha geleneksel bir yapı olan sağlık sektöründe ise gerek alanın insan sağlığı ile olan ilişkisinin önceliklenmesinden gerekse çevrim içi sağlık uygulamalarının daha sonra gelişmesinden dolayı müşteri analitiği çalışmaları limitli kalmıştır. Bu çalışmanın amacı çevrimiçi sağlık alanında ve sözleşmesiz bağlamda pazarlama analitiği çalışmalarına öncü olabilmek ve literatüre katkıda bulunurken kullanıcıların sunulan sağlık hizmetinden en etkili şekilde faydalanmasına aracı olacak içgörüyü sağlayabilmektedir.

Bu kapsamda çalışma Türkiye'de faaliyet gösteren ve çevrim içi sağlık hizmetlerine erişim sunan bir platformun müşteri verisi ile yürütülmüştür. Çalışma, klasik segmentasyon analiz yöntemi olan sadece müşterinin geçmişte ürettiği veriden yola çıkarak güncel bir müşteri grubunu saptamaktan ziyade gelecekteki terk etme davranışı olasılığını da içeren yeni bir çerçeve sunmayı amaçlar. Araştırma, iki bölümden oluşup ilk kısımda segmentasyon analizi yapılmış ikinci kısımda ise terk etme olasılığı tahmini çalışılmıştır. Sırayla kullanılan modeller segmentasyon için RFM ve denetimsiz/gözetimsiz makine öğrenme modeli olan K-Means kümeleme algoritmasıdır, hangi müşterinin gelecekte terk edeceğini tahmin edebilmek için ise derin öğrenme modelleri olan LSTM (Long-Short Term Memory) ile Evrişimsel Sinir Ağları (CNN – Convolutional neural network) ve karar ağaç temelli gradyan arttırma (gradient boosting) algoritmaları olan XGBoost ile LightGBM kullanılmıştır. Müşterilerin platformda çevrimiçi olma, satın alma, görüşme yapma davranışları veri ayıklama yöntemleri ile elde edilmiş ve özellik mühendisliği uygulamaları ile ham veriden yeni değişkenler türetilmiştir. Ortaya çıkan veri ön işleme adımında aykırı değerlerden arındırılmış, boş değerler için uygun doldurma işlemleri yapılmış, veri dağılımları incelenmiş ve gerekli yerlerde dönüştürülmüş ve son olarak algoritmaların yapısına uygun standardizasyon teknikleri ile hazırlanmıştır.

Analizin ilk aşaması olan segmentasyon çalışmasında, ortalama değerle kıyaslandığında sıfır ve bir, ikili (binary) etiketleri ile RFM modelinde sekiz; RFM-L değerleri ile eğitilen K-Means algoritmasında ise beş farklı müşteri grubu ortaya çıkmıştır. İkinci aşamada ise LSTM, CNN, XGBoost ve LightGBM modelleri eğitilerek kullanıcıların gelecekteki terk etme olasılığı tahmin edilmiştir. Değerlendirme adımında derin öğrenme ve karar ağaçları modelleri olarak iki ayrı grubun metriklerinde fark görülürken grup içinde değerlendirme metriklerinde çok az bir üstünlük farkı gözlemlenmiştir. Metrikler sırasıyla önce derin öğrenme modellerinin sonra gradyan arttırım modellerinin olmak üzere şu şekildedir: AUC-ROC için 0,83 ile 0,92 F1 skoru 0,76 ile 0,84 MCC içinse 0,54 ile 0,71. Tüm modeller arasında skorlar incelendiğinde LightGBM modelinin üstün olduğu sonucu çıkarılmıştır ve bu modelin tahminleri alınarak çalışmanın ilk fazlı olan segmentasyon analizi birleştirilmiştir.

Bileşik çalışma sonucu olarak RFM ile sekiz farklı segmente ayrılan grupların terk etme olasılığı her bir grup için birbirinden farklı değerler alırken K-Means algoritması ile ortaya çıkan beş farklı grubun sadece birinde terk etme olasılığı diğer gruplardan ayırt edilebilirken kalan dört grup için yakın değerler göstermektedir. Bu yönüyle çalışma klasik RFM segmentini gelişmiş modern makine öğrenmesi yöntemleri ile birleştirerek kullanıcıların yenilik, sıklık ve parasal değerine ek olarak terk etme olasılığını yeni bir değer olarak anlamlı şekilde entegre etmiştir.

464 – Merkezi Kompozit Tasarım ile Atık Su Gideriminde Biyosorpsiyon Süreci Optimizasyonu

Esra Çiftçi *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*
Belma Nural Yaman *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*
Yeliz Buruk Şahin *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*

Su, canlı organizmaların yaşamını sürdürebilmesi ve ekosistemlerin devamlılığının sağlanabilmesi açısından en temel doğal kaynaklardandır. Bununla birlikte, kirleticiler ve özellikle endüstriyel atık sularda bulunan reaktif boyalar, su kaynaklarının kirlenmesine neden olmakta ve kaynakların kullanılabilirliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Özellikle endüstriyel ve evsel atıkların yeterli arıtma ve geri kazanım süreçlerinden geçirilmeden doğrudan suya karıştırılması, su kirliliğinin giderek artmasına ve çevresel sorunların daha ciddi boyutlara ulaşmasına yol açmaktadır. Boya içeren atık sular, su ortamlarında ışık geçirgenliğini azaltmakta, çözünmüş oksijen miktarında düşüşe neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, bu dirençli organik bileşiklerin büyük bir kısmı toksik, mutajenik ve kanserojen özellik göstermeleri nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Bu bağlamda, renkli endüstriyel atık suların etkin bir şekilde arıtılması ve suyun yeniden kullanıma kazandırılması, çevresel kirliliğin azaltılması ve sürdürülebilir su yönetiminin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, Yanıt Yüzey Yöntembilimi kullanılarak % biyosorpsiyon için en iyi tasarım düzeyleri araştırılmıştır. Merkezi kompozit tasarım ile çalkalama hızı, biyokütle miktarı ve boyar madde konsantrasyonu için literatür araştırması sonuçlarıyla belirlenen faktör düzeyleri seçilerek varyans analizi çalışması yapılmış ve tahmin denklemleri elde edilmiştir. Yanıt Yüzey Yöntembilimi analizleri için Design Expert yazılımı kullanılmıştır. Bu çalışma ile, biyosorpsiyon sürecinde Reaktif Mor 1 gideriminde en etkili faktörün biyokütle miktarı olduğu tespit edilmiştir. İleriki çalışmalar için ön veri oluşturmuştur.

Bu çalışma Esra Çiftçi'nin Yüksek Lisans Tezinin kapsamında hazırlanmıştır.

465 – Bir Tohum Temizleme Tesisinde Ürün Özelliklerine Duyarlı Dinamik Fiyatlandırma Modeli Geliştirilmesi

Emre Teselli *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*
Yeliz Buruk Şahin *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*

Bu çalışma, tohum temizleme tesislerinde geleneksel olarak uygulanan sabit ağırlık bazlı fiyatlandırma modellerinin yarattığı verimlilik kayıplarını ve ücretlendirme farklılıkları sorunlarını çözmek amacıyla, ürün özelliklerine duyarlı dinamik bir fiyatlandırma modeli geliştirmeyi hedeflemektedir. Ülkemizdeki mevcut sistemde fiyatlandırmanın ürün kalitesinden bağımsız olarak sadece ağırlık üzerinden yapılması; özellikle düşük yoğunluklu, kılçıklı, yabancı madde oranı yüksek veya tozlu ürünlerin yarattığı ek makine yükü, enerji tüketimi ve uzayan işlem sürelerini maliyetlere tam olarak yansıtamamaktadır. Bu durum, işletmeler için gizli maliyet zararlarına, üreticiler için ise adaletsiz bir teşvik sistemine yol açmaktadır. Çalışma kapsamında, bir Tohum Temizleme Tesisi referans alınarak, Zaman Dayalı Faaliyet Tabanlı Maliyetleme ve çok kriterli karar verme yöntemlerini birleştiren hibrit bir karar destek sistemi kurgulanmıştır. Geliştirilen model, fiziksel özelliklere göre bir Ürün Kalite İndeksi oluşturmakta ve bu veriyi tonaj bazlı dinamik kâr marjı yaklaşımıyla sentezleyerek adil birim fiyatları otonom olarak hesaplamaktadır. Sistemin pratik uygulaması için karar destek sistemi çerçevesinde Excel VBA tabanlı bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen modelin, işletme maliyetlerini daha doğru analiz ettiği, kapasite kullanımını optimize ettiği ve kaliteli üretimi teşvik eden şeffaf bir fiyatlandırma altyapısı sunduğu görülmüştür. Bu modelin, tarım sektöründe dijital dönüşümü destekleyerek hem ekonomik hem de akademik anlamda gelişime açık bir sistem sunduğu öngörülmektedir.

466 – Türkiye'de Havaalanı Bağlantısallığının Bölgesel Kalkınma Açısından Analizi: Tüm Sivil Havalimanlarına Yönelik Endeks Tabanlı Bir İnceleme

Fatma Talya SUDABAŞ *Doğuş Üniversitesi*
Özay ÖZAYDIN *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

Bu çalışma, Türkiye'deki sivil havalimanlarının hava ulaşımı bağlantısallık düzeylerini kapsamlı biçimde analiz ederek bölgesel kalkınma ile olan ilişkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında Türkiye'de aktif olarak faaliyet gösteren tüm sivil havalimanları değerlendirmeye alınmış ve Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) metodolojisine dayalı Hava Bağlantısallık Endeksi (Air Connectivity Index – ACI) hesaplanmıştır. Endeks oluşturulurken yalnızca uçuş sayıları değil; uçuş frekansları, koltuk kapasiteleri, destinasyon çeşitliliği ve bağlantı sağlanan havalimanlarının stratejik önemi birlikte dikkate alınmıştır. Böylece havalimanlarının ulusal ve uluslararası hava ulaşım ağı içerisindeki işlevsel konumları çok boyutlu bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Elde edilen ACI değerleri ile havalimanları bağlantısallık düzeylerine göre k-ortalamalar (k-means) kümeleme yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Analiz sonucunda Türkiye hava ulaşım sisteminin belirgin biçimde hiyerarşik ve asimetrik bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. İstanbul Havalimanı küresel ölçekte baskın bir merkez olarak öne çıkarken; Sabiha Gökçen, Antalya ve Ankara Esenboğa havalimanlarının ikincil uluslararası merkezler olarak kritik işlev üstlendiği belirlenmiştir. Buna karşılık özellikle Doğu Anadolu, Karadeniz ve İç Anadolu'daki birçok havalimanının düşük bağlantısallık düzeyine sahip olduğu ve büyük ölçüde iç hat odaklı faaliyet gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışmada ayrıca hava bağlantısallığı ile bölgesel kalkınma göstergeleri arasındaki ilişki çoklu doğrusal regresyon modeli yardımıyla incelenmiştir. Analizlerde kişi başına düşen gelir düzeyinin hava bağlantısallığı üzerinde güçlü ve pozitif bir etkiye sahip olduğu belirlenirken, sosyoekonomik gelişmişlik düzeyinin de bağlantısallığı destekleyen önemli bir değişken olduğu görülmüştür. Buna karşılık istihdam oranının tek başına hava bağlantısallığını açıklamada yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bulgular, ekonomik refah düzeyi yüksek bölgelerin daha yoğun uluslararası hava ağına entegre olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, Türkiye'de hava ulaşımı altyapısının bölgesel eşitsizlikler üzerinde önemli etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Özellikle ikincil merkez niteliği taşıyan havalimanlarının yeni dış hat bağlantıları, altyapı yatırımları ve ulaşım entegrasyonu politikalarıyla desteklenmesi durumunda bölgesel kalkınmaya önemli katkılar sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Çalışma, Türkiye'deki tüm sivil havalimanlarını kapsayan veri temelli ve karşılaştırmalı bir analiz sunarak ulaştırma planlaması, bölgesel kalkınma ve havacılık politikaları literatürüne katkı sağlamaktadır.

467 – İstatiksel Dağılım Parametrelerinin Nokta Tahminlerinin Elde Edilmesi Sürecinde Metasezgiseller İle Çok Kriterli Karar Verme

Oğuz Çalışkan *Ankara Üniversitesi*
Özlem Türkşen *Ankara Üniversitesi*

Gerçek dünya problemlerine ilişkin verilerin stokastik modellemesinde istatiksel dağılımlar etkin rol oynar. Bir istatistiksel dağılım, dağılım parametreleriyle karakterize edildiğinden parametrelerin doğru tahmin edilmesi sonuç çıkarımlarının güvenilirliği bakımından önemlidir. Dağılım parametrelerinin nokta tahminlerinin belirlenmesinde, klasik yaklaşım olarak, En Küçük Kareler (EKK) ve En Çok Olabilirlik (EÇOB) yöntemleri sıklıkla kullanılır. EKK yöntemi, hata kareleri toplamının minimizasyonuna dayalı olup EÇOB yönteminde ise olabilirlik fonksiyonunun maksimum yapılması amaçlanır. Minimum ve maksimum değeri elde edilmesi istenen amaç fonksiyonlarının optimizasyonu, türevle veya türeve dayalı yöntemlerle bazen kolaylıkla yapılamayabilir. Bu durumda, meta-sezgisel algoritmaların uygulanması optimizasyon sürecinde kolaylık sağlar.

Bu çalışmada, istatistiksel dağılım parametrelerinin meta-sezgisel algoritmalarla nokta tahminlerinin hesaplanması konusu ele alınmıştır. Çalışmada uygulanan meta-sezgisel algoritmalar, evrimsel, müzik, fizik, matematik, insan, sistem ve biyoloji tabanlı olmak üzere farklı kategorilerde gruplandırılmıştır. Bu kategorilerdeki meta-sezgiseller, Python programlama dilinde MEALPY kütüphanesi kullanılarak EKK ve EÇOB yaklaşımlarıyla oluşturulan amaç fonksiyonlarının optimizasyonlarında uygulanmıştır. Uygulanan bu meta-sezgisellerin performanslarının değerlendirilmesinde amaç fonksiyonu değeri ve hesaplama süresi kriter olarak dikkate alınıp Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle meta-sezgisel algoritmaların öncelik sıralaması yapılmıştır. Elde edilen sıralama sonuçlarına göre, klasik meta-sezgisel yöntemlerin yanı sıra yeni meta-sezgisel yöntemlerin kullanımının da uygun olacağı görülmüştür.

470 – IMU Verileri ile Transformer Tabanlı İnsan Aktivite Tanıma

Hasan ŞEN *Bursa Teknik Üniversitesi*
Ömer Faruk EFE *Bursa Teknik Üniversitesi*

Bu çalışmada, insan aktivitelerinin otomatik olarak sınıflandırılmasına yönelik IMU tabanlı bir derin öğrenme yaklaşımı ele alınmıştır. Çalışma kapsamında hareket verileri, ivme ve jiroskop sinyalleri üzerinden temsil edilerek modelleme sürecine uygun hale getirilmiştir. Ön işleme aşamasında farklı uzunluklara sahip hareket kayıtları standart bir giriş yapısına dönüştürülmüş ve sınıflandırma modeli için kullanılabilir hale getirilmiştir. Geliştirilen Transformer tabanlı model, hareket örüntülerindeki ayırt edici özellikleri öğrenerek farklı aktivite türlerini sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Model performansı, bireyler arası farklılıkları dikkate alan bir doğrulama yaklaşımıyla değerlendirilmiş ve yöntemin daha önce görülmeyen örnekler üzerindeki genellenebilirliği incelenmiştir. Elde edilen bulgular, IMU verilerinin insan aktivite tanıma probleminde kullanılabilir bir temsil sunduğunu ve Transformer mimarisinin bu alanda uygulanabilir bir sınıflandırma yaklaşımı olduğunu göstermektedir.

471 – Açıklanabilir Yapay Zekâ Destekli Dijital Ergonomi Risk Analizi: Akademik Personel Üzerine Bir Araştırma

Asude Demir *Bursa Teknik Üniversitesi*
Ömer Faruk Efe *Bursa Teknik Üniversitesi*
Yunus Demir *Bursa Teknik Üniversitesi*

Dijitalleşmenin akademik çalışma süreçlerine yoğun şekilde entegre olması, akademik personelde uzun süreli bilgisayar kullanımına bağlı ergonomik ve bilişsel risklerin artmasına neden olmaktadır. Uzun ekran süreleri, yetersiz mola alışkanlıkları ve ergonomik olmayan çalışma koşulları; kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının yanı sıra bilişsel iş yükünü de olumsuz etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, akademik personelin dijital çalışma alışkanlıkları, ergonomik koşulları, kas-iskelet sistemi belirtileri ve bilişsel iş yükü arasındaki ilişkilerin açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımıyla incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada akademik personelden elde edilen veriler çevrim içi anket yöntemiyle toplanmıştır. Veri toplama aracında demografik bilgiler, çalışma alışkanlıkları ve ergonomik koşullara ilişkin soruların yanı sıra kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının değerlendirilmesinde Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ) ve bilişsel iş yükünün belirlenmesinde NASA Task Load Index (NASA-TLX) temelli maddeler kullanılmıştır. Ölçeklerin güvenilirliği Cronbach Alpha katsayısı ve Bootstrap güven aralıkları ile değerlendirilmiştir. Verilerin analizinde öncelikle tanımlayıcı istatistikler, korelasyon ve regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Ardından bilişsel iş yükünü açıklamak amacıyla Random Forest Regressor modeli kurulmuş ve değişkenlerin göreli etkilerini ortaya koymak için SHAP (SHapley Additive exPlanations) analizi uygulanmıştır. Bulgular, Nordic risk düzeyi arttıkça bilişsel iş yükünün arttığını, buna karşılık ergonomik çalışma koşullarının bilişsel iş yükünü azaltıcı yönde etkili olduğunu göstermektedir. SHAP analizi sonuçları, bilişsel iş yükü üzerinde etkili olan temel ergonomik ve fiziksel faktörlerin belirlenmesine olanak sağlamıştır. Elde edilen sonuçların, akademik çalışma ortamlarında insan odaklı ergonomik düzenlemelerin geliştirilmesine, dijital çalışma koşullarının iyileştirilmesine ve bilişsel iş yükünü azaltmaya yönelik uygulamalara katkı sağlaması beklenmektedir.

472 – Araç İçi Klima Arayüz Tasarımında Hibrit Etkileşim Modeli: Sürüş Güvenliği ve Bilişsel Yük Odaklı Bir HMI Yaklaşımı

Aleyna Arslan *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Otomotiv endüstrisindeki dijitalleşme dalgası, geleneksel fiziksel kontrol elemanlarının yerini geniş dokunmatik ekranlara bırakmasına neden olmuştur. Bu trend estetiklik sunsa da sürücünün birincil görevi olan yola odaklanma eylemini bölerek ciddi ergonomik riskler ve bilişsel yük artışı doğurmaktadır. Bu çalışma; araç içi klima kontrol süreçlerinde aşırı dijitalleşmenin yarattığı dikkat dağınıklığını önlemek adına İnsan-Makina Etkileşimi ilkeleri temelli bir Hibrit Etkileşim Modeli önermektedir. Geliştirilen arayüz mimarisinde fonksiyonlar, sürüş güvenliğine etkilerine göre kategorize edilerek fiziksel ve dijital kanallar arasında hiyerarşik olarak dağıtılmıştır. Önerilen modelin işlevsel akışı, Ford SYNC 4 mimarisi kıyaslama noktası alınarak, Oz Büyücüsü tekniği ve senaryo tabanlı kullanıcı testleriyle doğrulanmıştır. Elde edilen nicel performans metrikleri neticesinde ortalama Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SUS) skoru 97,5 olarak kaydedilmiş ve sistem Hayal Edilebilecek En İyi kategorisinde konumlanmıştır