

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZAMAN BAĞIMLI ZAMAN PENCERELİ HETEROJEN FİLOLU ÇOK
ÜRÜNLÜ KAPASİTELİ BÖLMELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ
VE ÇÖZÜM ÖNERİSİ**

Ertuğrul AYYILDIZ

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

Temmuz, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZAMAN BAĞIMLI ZAMAN PENCERELİ HETEROJEN FİLOLU ÇOK
ÜRÜNLÜ KAPASİTELİ BÖLMELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE
ÇÖZÜM ÖNERİSİ**

Ertuğrul AYYILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 09.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nezir AYDIN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Selçuk ALP, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gülfem TUZKAYA, Üye
Marmara Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ÖZÇELİK, Üye
Karadeniz Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Zaman Bağımlı Zaman Pencere Heterojen Filolu Çok Ürünlü Kapasite Bölmeli Araç Rotalama Problemi ve Çözüm Önerisi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ertuğrul AYYILDIZ

İmza

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FBA-2020-3808 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Aileme

TEŞEKKÜR

Yıldız Teknik Üniversitesi'ne girdiğim günden mezun olana kadar her türlü manevi desteği gösteren, bilgi birikimi ve tecrübesini büyük bir sabır ve anlayışla aktaran, alanında yetkin bir akademisyen olma yolunda, her zaman kendisini örnek aldığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ'e sonsuz teşekkür ederim. Aynı şekilde tez izleme jürimde olan ve tezimin her aşamasında değerli görüşleri ile bana hep destek olan çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Gülfem TUZKAYA ve Sayın Doç. Dr. Nezir AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım. Doktora eğitimi sırasında takıldığım konularda değerli fikirleri ile beni destekleyen ve içtenlikle yardım eden, Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümü hocalarım ve mesai arkadaşlarıma, doktora eğitiminin yoğun ve sıkıntılı süreçlerinde manevi desteklerini ve özellikle de anlayışlarını esirgemeyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ndeki hocalarıma, fikirleri ve değerli katkıları ile desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Miraç MURAT ve Arş. Gör. Selin YALÇIN'a ve her zaman yanımda olan, her başarımda çok büyük desteği ve emeği olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenimim süresince 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında sağladığı burs desteği ile daha verimli bir tez hazırlama imkanı tanıyan dolayı "Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu"na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Ertuğrul AYYILDIZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xviii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Orijinal Katkı	8
2 TEDARİK ZİNCİRİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ YENİ BİR SCOR	
MODELİ UZANTISI: SCOR 4.0	9
2.1 Günümüzde Tedarik Zinciri	9
2.2 Literatürde Tedarik Zinciri Performans Değerlendirilmesi	11
2.3 SCOR 4.0 Modeli.....	12
2.3.1 SCOR Modeli.....	12
2.3.2 SCOR 4.0 Modeli ve Performans Metrikleri	14
2.4 Önerilen SCOR 4.0 Metodolojisi.....	21
2.4.1 Best Worst Yöntemi	22
2.4.2 Pisagor Bulanık Sayılar	24
2.4.3 Aralıklı Pisagor Bulanık Sayılar	27
2.4.4 Pisagor Bulanık AHP	29
2.5 Petrol Tedarik Zinciri için Bir Uygulama	30
2.5.1 Seviye-1 Metriklerin Ağırlıklarının BWM ile Belirlenmesi	31
2.5.2 Seviye-2 ve Seviye-3 Metriklerin Ağırlıklarının PB-AHP Yöntemi ile Belirlenmesi	32

2.6	Yapılan Uygulamanın Sonuçları.....	37
3	AKARYAKIT İSTASYONU YER SEÇİMİ PROBLEMİ İÇİN YENİ BİR ÇKKV	
	METODOLOJİSİ	39
3.1	Giriş.....	39
3.2	Önerilen Yer Seçim Metodolojisi	42
3.2.1	Küresel Bulanık Sayılar.....	43
3.2.2	KB-WASPAS Yönteminin KB-AHP ile Entegrasyonu	44
3.3	İstanbul için Gerçek Bir Uygulama	47
3.3.1	Akaryakıt İstasyonu Yer Seçim Metodolojisinin Duyarlılık Analizi...	53
3.4	Yapılan Uygulamanın Sonuçları.....	54
4	TEHLİKELİ MADDE TAŞIMACILIĞI İÇİN RİSK DEĞERLENDİRME	
	METODOLOJİSİ	55
4.1	Giriş.....	55
4.2	Tehlikeli Madde Taşımacılığı Literatür Taraması	56
4.3	Önerilen Tehlikeli Madde Taşımacılığı Risk Atama Metodolojisi.....	59
4.3.1	Modifiye Delphi Yöntemi.....	59
4.4	Tehlikeli Madde Taşımacılığı için Risk Faktörleri	60
4.5	Petrol Taşımacılığı için Risk Atama Uygulaması.....	62
4.5.1	Faktörlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	64
4.5.2	Risk Atama Metodolojisinin Duyarlılık Analizi.....	66
4.6	Petrol Taşımacılığı için Risk Atama Uygulaması Sonuçları.....	68
5	GÜNLÜK BENZİN TÜKETİMİ İÇİN BİR TAHMİN MODELİ	69
5.1	Petrol Tüketim Tahmini Literatür Araştırması.....	69
5.2	Önerilen Tahmin Metodolojisi	71
5.2.1	Verilerin Temizlenmesi	72
5.2.2	Özelliklerin Çıkarılması ve Seçilmesi	72
5.2.3	Önerilen Modeller ile Günlük Tahmin Yapılması.....	75
5.3	Türkiye’de Günlük Tüketilen Benzinin Tahmin Edilmesi	76
5.4	Yapılan Tahmin Uygulamasının Sonuçları	83

6 ZAMAN BAĞIMLI ZAMAN PENCERELİ AKARYAKIT İSTASYONU İKMAL PROBLEMİ	85
6.1 Akaryakıt İstasyonu İkmal Problemi.....	85
6.2 Akaryakıt İstasyonu İkmal Problemi için Önerilen Matematiksel Model ve Varsayımları.....	87
6.3 Akaryakıt İstasyonu İkmal Problemi için Bir Uygulama.....	93
6.3.1 Sonuçların Analizi ve Tartışma.....	96
6.3.2 Önerilen Matematiksel Modelin Duyarlılık Analizi.....	98
6.4 Bölüm Sonuçları.....	99
7 ZAMAN BAĞIMLI ZAMAN PENCERELİ HETEROJEN FİLOLU ÇOK ÜRÜNLÜ KAPASİTELİ BÖLMELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	100
7.1 Önerilen Yöntemin Aşamaları.....	100
7.1.1 Ele Alınan Problem.....	100
7.1.2 Önerilen Matematiksel Model.....	101
7.2 Önerilen Yöntemin Uygulanması.....	105
7.2.1 Verilerin Derlenmesi.....	105
7.2.2 Sonuçların Analizi ve Tartışma.....	108
7.3 Duyarlılık Analizi.....	110
7.4 Bölüm Sonuçları.....	112
8 SONUÇ VE ÖNERİLER	113
8.1 Literatüre Katkı.....	113
8.2 Gelecek Çalışmalar.....	115
KAYNAKÇA	116
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	139

SİMGE LİSTESİ

S_i	Akaryakıt istasyonun servis süresi (i)
$H(\alpha)$	Doğruluk fonksiyonu
d_{ij}	Düğümmler arası mesafeler (i, j)
R_{ij}	Düğümmler arası riskler (i, j)
W_i	İstasyon (i) nin bekleme süresi
D_{ip}	İstasyon (i) nin ürün (p) talebi
ζ	Model tutarlılığı
$S(\alpha)$	Skor fonksiyonu
L_i	Tankerin istasyon (i)den ayrılma zamanı
A_i	Tankerin istasyon (i)ye varış zamanı
t_{ijk}	Tanker (k) nın bağlantı (i, j) arası yolculuk süresi
C_{ks}	Tanker (k) nın (s) bölmesinin kapasitesi
μ	Üyelik derecesi
v	Üye olmama derecesi
π	Tereddüt derecesi
V_t	Zaman aralığına göre tanker hızı (t)
B_t	Zaman aralığının başlangıcı (t)
E_t	Zaman aralığının sonu (t)
m_i	Zaman penceresi başlangıcı (i)
n_i	Zaman penceresi bitişi (i)

KISALTMA LİSTESİ

ACF	Otokorelasyon Fonksiyonu
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANFIS	Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems
CSFT	Cross Step moving on Four Stops
ANP	Analitik Ağ Süreci
ARAS	Additive Ratio Assessment
ARIMA	Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
ATM	Automated Teller Machine
BWM	Best Worst Yöntemi
CI	Tutarlılık İndeksi
CODAS	Combinative Distance-Based Assessment
COPRAS	Complex Proportional Assessment
CPU	Merkezi İşlem Birimi
CR	Tutarlılık Oranı
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Reality English
GSYH	Gayri Safı Yurtiçi Hasıla
IMF	Uluslararası Para Fonu
KB-AHP	Küresel Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzde Hatası
MSE	Ortalama Hata Karesi
PB-AHP	Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
pchip	Parçalı Kübik Hermit İnterpolasyon Polinomu
PROMETHEE	The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
RI	Rastgele İndeks
SARIMA	Mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
SAW	Simple Additive Weighting
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SI	Skor İndeksi
TODIM	Tomada de Decisao Iterativa Multicriterio

TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UG-1	Birinci Uzman Grubu
UG-2	İkinci Uzman Grubu
UG-3	Üçüncü Uzman Grubu
vd	ve diğerleri
VIKOR	VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
WASPAS	Weighted Aggregated Sum Product Assessment
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Yıllara göre Türkiye'nin GSYH'si ve satın alma paritesi [2]	1
Şekil 1.2	İthal petrol miktarının yıllara göre değişimi [6]	2
Şekil 1.3	Önerilen yöntem	8
Şekil 2.1	SCOR performans özellikleri.....	13
Şekil 2.2	SCOR 4.0 performans metrikleri.....	15
Şekil 2.3	Önerilen SCOR 4.0 metodolojisi	22
Şekil 3.1	Önerilen akaryakıt istasyonu yer seçim metodolojisi	44
Şekil 3.2	Aday akaryakıt istasyonları.....	48
Şekil 3.3	Akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi için ana ve alt kriterler	49
Şekil 3.4	Duyarlılık analizine göre alternatiflerin son sıralaması.....	54
Şekil 4.1	Önerilen risk atama metodolojisi.....	59
Şekil 4.2	Modifiye Delphi yönteminin adımları.....	60
Şekil 4.3	Akaryakıt istasyonları ve rafineri.....	63
Şekil 4.4	Alt risk faktörlerinin duyarlılık analizi sonucunda ağırlık değişimleri	68
Şekil 5.1	Ani değişimler olarak gösterilen ham verilerdeki anormal değerler	76
Şekil 5.2	Anormallerden arındırılmış ve tamamen temizlenmiş zaman serileri	77
Şekil 5.3	Dickey-Fuller test sonuçları.....	77
Şekil 5.4	Seri ve tüm olası gecikmeleri arasındaki korelasyon değerleri	78
Şekil 5.5	Lasso regresyon katsayıları.....	81
Şekil 5.6	Lasso regresyon modelinin doğrulama verileri için tahmin modeli	82
Şekil 5.7	Lasso regresyon modelinin test verileri için tahmin modeli	83
Şekil 6.1	Akaryakıt istasyonları ve rafineri konumu.....	93
Şekil 6.2	İstanbul için 06:00 -18:00 arası trafik yoğunluğu	96
Şekil 6.3	Petrol dağıtımı için belirlenen optimum dağıtım rotası.....	97

Şekil 6.4 Değişken hızın dikkate alınmadığı durumda petrol dağıtımı için belirlenen optimum dağıtım rotası.....	98
Şekil 7.1 Güncellenmiş akaryakıt istasyonu konumları.....	105
Şekil 7.2 Farklı hızlar için amaç fonksiyon değerleri ve CPU süreleri.....	111

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Literatürde en çok çalışılan araç rotalama problemi uzantıları.....	4
Tablo 1.2	Bazı dikkat çekici çalışmaların amaç fonksiyonları.....	5
Tablo 1.3	Bazı dikkat çeken çalışmada kullanılan kısıtlamalar	5
Tablo 2.1	Seviye-1 metriklerin değerlendirilmesi	31
Tablo 2.2	Seviye-1 metriklerin ağırlıkları	32
Tablo 2.3	Aralık değerli PB-AHP değerlendirmeleri için ölçek.....	33
Tablo 2.4	Güvenilirlik için UG-1 ikili karşılaştırma matrisi.....	33
Tablo 2.5	Sistem için UG-2'nin ikili karşılaştırma matrisi	33
Tablo 2.6	Taşıma için UG-3'ün ikili karşılaştırma matrisi	33
Tablo 2.7	Alt metriklerin ağırlıkları	34
Tablo 2.8	Seviye-3 metriklerin birleştirilmiş ağırlıkları.....	36
Tablo 3.1	Bulanık AHP yöntemini diğer ÇKKV yöntemleri ile birlikte kullanan bazı çalışmalar	42
Tablo 3.2	Dilsel değişkenlerinin tanımı ve küresel bulanık ölçekleri	45
Tablo 3.3	Ana kriterler için ikili kıyaslama matrisi	50
Tablo 3.4	Alt kriterlerin ağırlıkları	51
Tablo 3.5	Ağırlıklı toplam modeli ve ağırlıklı çarpım modelinin sonuçları	52
Tablo 3.6	Alternatiflerin sıralanması.....	52
Tablo 3.7	Duyarlılık analizi sonuçları	53
Tablo 4.1	Tehlikeli madde taşımacılığında ana ve alt risk faktörleri	61
Tablo 4.2	Ana risk faktörlerinin ikili kıyaslama matrisi	64
Tablo 4.3	Ana risk faktörlerinin ağırlıkları	64
Tablo 4.4	Alt risk faktörleri için ikili kıyaslama matrisleri.....	65
Tablo 4.5	Ana ve alt risk faktör ağırlıkları	65
Tablo 4.6	Alt risk faktörlerinin ağırlık değişimleri.....	67

Tablo 5.1 Kullanılan tahmin ediciler	80
Tablo 5.2 Kullanılan tahmin modellerinin R^2 ve MAPE değerleri.....	81
Tablo 6.1 Tehlike madde taşıma problemlerinde kullanılan amaç fonksiyonları ve yöntemler	85
Tablo 6.2 Akaryakıt istasyonu ikmal problemi çalışmalarında kullanılan amaç fonksiyonları ve yöntemler.....	86
Tablo 6.3 Döğümler arası mesafeler (km.)	94
Tablo 6.4 PB-AHP yöntemi ile belirlenen döğümler arası riskler.....	94
Tablo 6.5 Zaman aralıklarına göre tanker hızları	96
Tablo 6.6 Tankerin istasyonlara varış, istasyonlardan ayrılış zamanları ve istasyonlarda geçirdiğı süreler.....	97
Tablo 6.7 Değışken hızın dikkate alınmadığı durumda tankerin istasyonlara varış, istasyonlardan ayrılış zamanları ve istasyonlarda geçirdiğı süreler	99
Tablo 7.1 Döğümler arası mesafeler (km.)	106
Tablo 7.2 Döğümler arası riskler	106
Tablo 7.3 İstasyonların ürün talepleri.....	107
Tablo 7.4 İstasyonların servis süreleri ve zaman pencereleri	108
Tablo 7.5 İstasyonlara varış, istasyonlardan ayrılış zamanları ve istasyonlarda geçirdiğı süreler	108
Tablo 7.6 Tanker-1'in dağıtım rotası	109
Tablo 7.7 Tanker-2'in dağıtım rotası	109
Tablo 7.8 Ürün taleplerinin taşındığı tanker bölmeleri.....	110
Tablo 7.9 Farklı hızlar için matematiksel model sonuçları	111

Zaman Bağımlı Zaman Pencere Heterojen Filolu Çok Ürünlü Kapasiteli Bölmeli Araç Rotalama Problemi ve Çözüm Önerisi

Ertuğrul AYYILDIZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

Petrol ve petrol ürünleri tüketiminin artması ile bu sınırlı kaynakların verimli, doğru ve minimum zararlar sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, petrol dağıtım problemi ve uzantıları, yıllar içinde araştırmacılar arasında büyük ilgi görmüştür. Araç rotalama probleminin bir versiyonu olan petrol dağıtım problemi, depo(lar)dan akaryakıt istasyonlarına güvenli ve hızlı bir şekilde petrol dağıtımının planlanması ile ilgilidir. Bu tezde, petrol dağıtım problemi ele alınmış ve İstanbul'da bulunan bir kamu şirketi için bir vaka çalışması sunulmuştur. Problem, temelde zaman pencere, zaman bağımlı bir araç rotalama problemi olarak kabul edilir. Bu problem, gerçekçi amaç fonksiyonu, zaman bağımlı, bekleme süresi içeren, çok ürünlü, heterojen filoya sahip kapasite bölmeli araç rotalama problemidir. Problem için yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen zaman bağımlı problemi daha gerçekçi bir şekilde ele almak için, trafik yoğunluğuna bağlı olarak değişken tanker hızları dikkate alınmıştır.

Ayrıca firma bünyesine, politikasına uygun olarak yeni bir akaryakıt istasyonunun devreye alınması sürecinde dikkat edilmesi gereken faktörleri belirlemek amacıyla

tedarik zinciri performansı incelenmiştir. Bu kapsamda Tedarik Zinciri İşlemleri Referans Modeli (SCOR) modeli değerlendirilmiştir. Tedarik zinciri performansını değerlendirmek için SCOR modeli yeni ölçütlerle genişletilmiştir. Petrol tedarik zinciri özelinde, ölçütlerin ağırlıklarını belirlemek için Best-Worst entegre Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (PB-AHP) metodolojisini kullanılmıştır. Daha sonra akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi dikkate alınmıştır. Kriterleri belirlemek için literatür gözden geçirilmiş ve uzman görüşleri alınmıştır. Devralmak için belirlenen alternatifler, küresel bulanık AHP (KB-AHP) entegre küresel bulanık WASPAS (KB-WASPAS) metodolojisi yapılandırılarak değerlendirilmiştir. Belirlenen istasyon, önerilen matematiksel modelde dikkate alınmıştır.

Tez kapsamında petrol dağıtımının minimum risk ile gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda petrol, tehlikeli bir malzeme olarak değerlendirilmektedir. Çalışmada, tehlikeli madde taşımacılığı için kritik risk faktörleri tanımlanmış ve risk faktörlerini değerlendirmek için iki seviyeli bir hiyerarşi oluşturulmuştur. Risk faktörlerinin ağırlıkları PB-AHP yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Ürün dağıtımını planlarken talep tahmininin doğru yapılması firmalar için önemlidir. Bu bağlamda, günlük benzin tüketim miktarının tahmin edilerek matematiksel modele entegre edilmiştir. Bu amaçla, lasso regresyon tabanlı bir tahmin metodolojisi önerilmiştir.

Matematiksel modelde kullanılan talep, risk, konum gibi parametrelerin belirlenmesinin ardından, önerilen model Cplex OPL kullanılarak çözülmüştür. Böylece, olası kaza durumlarında çevre ve deniz kirliliği gibi risklerin oluşabileceği optimum rota belirlenmiş ve bu riskler önerilen matematiksel model ile trafik, araç hızı, yol yapısı, yolun denize ve yaşam alanlarına yakınlığı gibi faktörler dikkate alınarak en aza indirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zaman bağımlı araç rotalama problemi, tehlikeli madde taşımacılığı, tedarik zinciri performans değerlendirme, pisagor bulanık analitik hiyerarşi prosesi, benzin tüketim tahmini

Time Dependent Heterogeneous Fleet Multi-Product Partial Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows and Solution Approach

Ertuğrul AYYILDIZ

Department of Industrial Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

With the increase in the consumption of petroleum and petroleum products, these limited resources must be provided efficiently, accurately, and with minimal damage. So the petroleum distribution problem and its extensions have attracted much attention among the researchers. The petroleum distribution problem, as a version of the vehicle routing problem, deals with the planning of petroleum distribution from the depot(s) to the petrol stations safely and quickly. In this study, the petrol station replenishment problem is handled and a case study is presented for a public company located in İstanbul. The problem is considered as a time-dependent vehicle routing problem with time windows. This problem is a capacitated vehicle routing problem with realistic objective function, time dependent, time window, multi-product, multi-compartment vehicle with heterogeneous fleet. A novel mathematical model is proposed for the problem. To handle the proposed time-dependent problem in a more realistic way, variable tanker speeds are considered based on traffic density.

Supply chain performance is examined in order to determine the factors to be considered in the process of commissioning a new fuel station in accordance with the company policy. In this context, Supply Chain Operations Reference Model (SCOR) model is evaluated. SCOR is extended with new metrics to understand and evaluate performance of supply chains. The Best-Worst integrated Pythagorean Fuzzy Analytical Hierarchy Process (PF-AHP) methodology is used to determine the weights of the metrics for the petroleum supply chain. Then, the petrol station location selection problem is taken into consideration. To identify the criteria, the literature is reviewed and experts are interviewed. The novel spherical fuzzy AHP integrated spherical WASPAS methodology is structured to evaluate the alternatives to takeover. The station determined is considered in the mathematical model.

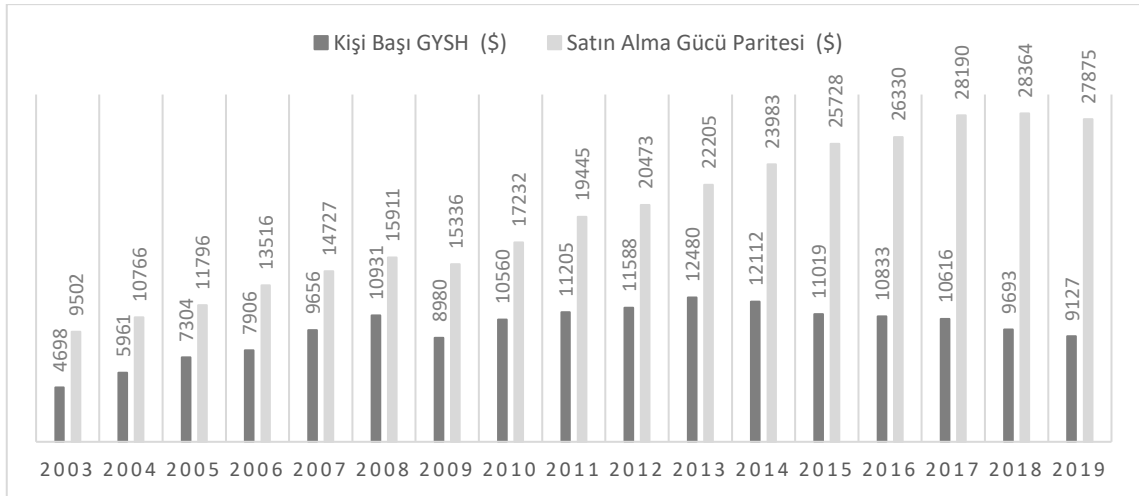
In the thesis, it is aimed to determine the route with minimum risk for the petroleum distribution. In this context, petroleum is considered as a hazardous material. Critical risk factors for hazardous material transportation are identified, and a two-level hierarchy is established to evaluate these risk factors. Weights of risk factors are obtained using the PF-AHP method. Accurate demand forecasting is important for companies when planning product distribution. In this context, the daily gasoline consumption amount is forecasted and integrated into the mathematical model. For this purpose, a lasso regression-based forecasting methodology is proposed.

After determining the parameters such as demand, risk, location used in the mathematical model, the proposed model is solved using Cplex OPL. Thus, the optimum route is determined in which risks such as environment and marine pollution may occur in case of possible accidents, and these risks are minimized by the proposed mathematical model considering the factors as traffic, vehicle speed, road structure, the road's proximity to the sea and living areas.

Keywords: Time dependent vehicle routing problem, hazardous material transportation, supply chain performance evaluation, pythagorean fuzzy analytic hierarchy process, gasoline consumption forecast

1.1 Literatür Özeti

Türkiye ekonomisi, Uluslararası Para Fonu (IMF) tarafından yükselen bir piyasa ekonomisi şeklinde tanımlanmıştır [1]. Türkiye ekonomisi son yıllarda önemli ölçüde iyileşmiştir. Türkiye son 20 yılda gelişen teknolojilerle küreselleşen bir ekonomiye sahiptir. 2000 yılında 272 milyar dolar olan gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYH) 2019'da üçe katlanarak 754 milyar dolara çıkmıştır. Aynı zamanda, kişi başına düşen GSYH, 2002'ye kıyasla 2019'da 2,5 kat artarak 3.581 dolardan 9.177 dolara yükselmiştir [2]. Türkiye'de kişi başına düşen GSYH ve satın alma gücü paritesinin yıllara göre değişimi Şekil 1.1'de verilmiştir. Türkiye ekonomisi 2019'da dünyanın 19., Avrupa'nın is 7. en büyük ekonomisidir [2].



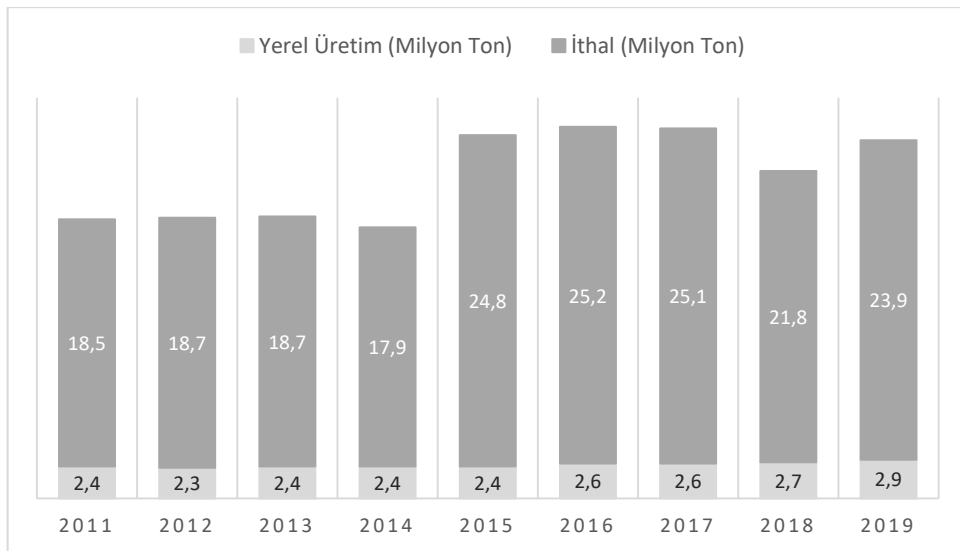
Şekil 1.1 Yıllara göre Türkiye'nin GSYH'si ve satın alma paritesi [2]

Enerji ihtiyacının sürekli arttığı dünyada, en çok tüketilen enerji kaynakları olarak petrol ve doğalgaz ön plana çıkmaktadır. Bu iki kaynağın arzında yaşanacak bir problemde ülke ekonomilerinin ve dolayısıyla dünya ekonomisinin etkileneceği açıktır. Birincil enerji kaynağı olan petrol, on dokuzuncu yüzyılın sonlarından itibaren sanayinin gelişmesine paralel olarak tüketilen ve teknolojinin gelişimini

hızlandıran ana faktörlerden biri olmuştur. Yirminci yüzyılda çok daha yaygın kullanımı ile bugün insan yaşamının vazgeçilmezlerinden biridir. Araştırmalar, petrolün orta vadede temel enerji kaynağı olmaya devam edeceğini göstermektedir.

Ekonomik büyüme ile petrol tüketimi arasındaki ilişkinin ölçülmesinde üç ana görüş kabul edilmektedir. İlk görüşe göre, petrol en temel üretim faktörlerinden biridir ve petrol talebi birincil ekonomik gelişme dinamiklerindendir. İkinci görüş, hem petrol tüketiminin hem de ekonomik büyümenin birbirini etkilediği ve mevcut değişkenler arasında çift yönlü değişkenlik olduğu yönündedir. Üçüncü görüşe göre, petrol tüketimi ile ekonomik büyüme arasında doğrusal bir ilişki olmadığı ileri sürülmektedir [3].

Büyüyen ekonomi ve gelişen teknoloji, Türkiye'de petrole olan ihtiyacı artırmıştır. Petrol piyasasına odaklanıldığında ekonominin hızla gelişmesiyle birlikte petrol kullanımı her geçen gün artmaktadır. Petrol ulaşımda, enerjide ve benzeri gibi bir çok alanda kullanılabilir. Nitekim 2019 yılında Türkiye'de tüketilen petrol miktarı yaklaşık 3,2 milyar litredir [4]. Türkiye tüketilen petrolünün yüzde 90'ından fazlasını Irak, Rusya, İran gibi farklı ülkelerden ithal etmektedir [5]. Türkiye'nin yıllara göre ithal ettiği ve kendi üretimi petrol miktarı Şekil 1.2'de verilmiştir [6].



Şekil 1.2 İthal petrol miktarının yıllara göre değişimi [6]

Petrol tüketimi Türkiye ekonomisini etkilediği için petrol tüketimi ile ilgili analiz ve tahminler çok önemlidir. Yöneticiler gelecek stratejilerini oluştururken tahmin

verilerini kullanırlar. Bu bağlamda, petrol tüketimine ilişkin doğru tahmin, yöneticiler için mükemmel bir kolaylık olacaktır. Doğru tahminler, petrolün ithalatını ve üretim planlamasını kolaylaştırabilir. Petrol tüketimine ilişkin daha iyi tahmin performansı, hem Türkiye'de hem de dünyadaki politika yapıcılara, yöneticilere, araştırmacılara ve petrol sektörünün diğer paydaşlarına hizmet edebilir [7]–[9].

Petrol arıtma ve dağıtım sektöründe; beyaz, siyah ve havacılık yakıtı olarak sınıflandırılabilir. Beyaz ürünler genellikle motorlu araçlarda, siyah ürünler ise ısınma ve sanayide kullanılmaktadır. Beyaz benzin genellikle akaryakıt istasyonlarından temin edilir ve ulaşım için kullanılır. Bu bağlamda müşteri talebinin karşılanması petrol pazarı için çok önemlidir. Talep karşılama da akaryakıt istasyonu konum seçimi önemli bir rol oynamaktadır.

Petrol ürünleri, en çok ihtiyaç duyulan tehlikeli maddelerdendir. Tehlikeli maddeler, özellikle gelişmiş ülkelerde endüstri için vazgeçilmezdir. Buna bağlı olarak birçok sektörde tehlikeli madde kullanımıyla birlikte tehlikeli madde lojistiği ortaya çıkmıştır. Tehlikeli madde lojistiğinin en önemli bileşeni, tehlikeli maddelerin taşınmasıdır. Tehlikeli maddelerin yer değiştirmesi sırasında çeşitli önlemler alınmalıdır. Bu nedenle tehlikeli maddelerin taşınmasında risklerin belirlenmesi ve en aza indirilmesi önemlidir. Bu bağlamda tezde, bir tür tehlikeli madde olan petrol ürününün dağıtımının, minimum riskle dağıtılması amaçlanmış ve araç rotalama problemi olarak modellenmiştir.

Araç rotalama problemi, depo(lar)dan müşterilere ürün dağıtımı veya toplama olarak tanımlanan optimum rotayı belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu konudaki ilk çalışma Dantzig ve Ramser tarafından yapılmıştır [10]. Bu çalışmadan sonra problem farklı yapılarda [11]–[16] ele alınmış, farklı modeller ve algoritmalar geliştirilerek çözülmüştür [17]–[20].

Önerilen ilk araç rotalama problemi modelinde homojen araçlar, bir depodaki mevcut kaynakları kullanarak müşterilere hizmet/ürün sağlamaktadır. Araçlar aynı tiptedir, aynı kapasite ve hıza sahiptir (homojen filo). Her müşterinin bir talebi vardır ve bu talebin araçlarla karşılanması gerekir. Ek olarak, bir düğümden diğerine (müşteri ve depo) her bağlantının bir nakliye maliyeti vardır. Bu maliyetler

genellikle mesafeleri, seyahat sürelerini veya bu faktörlerin bir kombinasyonunu temsil eder [21]. Araç rotalama problemi ve uzantıları, akademisyenler ve araştırmacılar arasında iyi çalışılmış bir araştırma alanıdır. Bu uzantılar, problem yapılarına göre kesinlik (deterministik) ve belirsizlikle (yani stokastik, bulanık veya sağlam) ilgilenir. Bu problemler, zaman ve mesafe faktörleri, heterojen filoların kullanımı, envanter ve çizelgeleme problemleri ile bağlantı, güvenlik koşulları, çevre ve enerji problemleri, trafik yoğunluğu ve daha fazlasıyla ilgili çok çeşitli gerçek hayat kısıtlamalarını içerebilir [21]. Literatürde en çok kullanılan araç rotalama problemi uzantıları Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Literatürde en çok çalışılan araç rotalama problemi uzantıları

Uzantı	Kaynak	Uzantı	Kaynak
Asimetrik Maliyet	[22]	Bölünmüş Teslimatlı	[23]
Mesafe Kısıtlı	[24]	Rassal	[25]
Heterojen Filolu	[26]	Bulanık	[27]
Çoklu Depolu	[28]	Ana Taşıyıcı	[29]
Açık	[30]	Zaman Pencere	[31]
Periyodik Teslimat	[32]	Yeşil	[33]
Toplamalı Dağıtım	[34]	Zaman Bağımlı	[35]

Bu çalışmada kullanılan uzantılar aşağıda kısaca açıklanmıştır. Heterojen filo araç rotalama problemi, transfer işlemleri için kullanılabilecek farklı araç türlerini içerir. Rotalar, farklı araçların kapasitesi dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Zaman pencere araç rotalama problemi, her müşterinin ziyaretinin bir zaman aralığı ile ilişkilendirilmesi gerektiğini ve yalnızca belirli bir aralıkta müşteriye hizmet sunulabileceğini ima eder ve bu zaman pencereleri esnek olabilir, örneğin aracın varış zamanı zaman penceresinin başlangıcından önce ise, araç zaman penceresinin başlamasına kadar beklemelidir. Değişken trafik koşulları, aracın hızında önemli bir rol oynar ve zaman bağımlı araç rotalama probleminde gerçekçi bir optimizasyon gerçekleştirmek için zaman bağımlılığı dikkate alınmalıdır. Çok ürünlü olarak ele alınan problemde, müşterilere dağıtım yapılması gereken farklı sayıda ürünler vardır. Çok bölmeli araçlı araç rotalama probleminde ise her bir araçta ürünlerin taşınmasında kullanılacak farklı bölmeler mevcuttur. Yukarıda belirtilen uzantılardan bazılarını dikkate alan literatürdeki dikkat çekici çalışmaların bazıları, amaç fonksiyonlarına (bkz. Tablo 1.2) ve kısıtlamalara (bkz. Tablo 1.3) göre özetlenmiştir.

Tablo 1.2 Bazı dikkat çekici çalışmaların amaç fonksiyonları

Kaynak	Minimum Kirlilik	Minimum Zaman	Minimum Mesafe	Minimum Maliyet	Maksimum Servis Seviyesi
[36]				✓	
[37]			✓		
[38]			✓		
[39]				✓	
[40]				✓	
[41]		✓			
[42]		✓			
[43]				✓	✓
[44]		✓			
[45]			✓		
[46]			✓		
[47]				✓	
[48]			✓		
[49]				✓	
[50]				✓	
[51]	✓			✓	
[52]				✓	
[53]				✓	
[54]	✓			✓	
[55]				✓	

Tablo 2.2'de görülebileceği gibi, araç rotalama problemi için farklı amaç fonksiyonları mevcuttur. Bu çalışmada toplam riskin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Böylece tankerlerin yolda geçireceği sürenin de azalacağı düşünülmektedir.

Tablo 1.3 Bazı dikkat çeken çalışmada kullanılan kısıtlamalar

Kaynak	Çok Araç	Heterojen Filo	Zaman Penceresi	Bekleme İzni	Zaman Bağımlı	Gerçek Uygulama
[36]	✓		✓			
[37]	✓		✓			✓
[38]			✓	✓		
[39]	✓		✓	✓	✓	
[40]	✓	✓	✓			
[41]			✓			✓
[42]						✓
[43]	✓	✓	✓		✓	✓
[44]	✓					✓
[45]	✓	✓	✓	✓		✓
[46]	✓					✓
[47]	✓					✓
[48]	✓		✓			✓
[49]	✓					✓
[50]	✓					
[51]					✓	✓
[52]	✓		✓	✓	✓	✓
[53]	✓				✓	✓
[54]	✓		✓		✓	
[55]	✓	✓			✓	✓

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada ele alınan problemde akaryakıt istasyonlarına minimum riskle ürün dağıtımını yapılması problemi ele alınmaktadır. Problem, zaman bağımlı zaman pencereli heterojen filolu çok ürünlü kapasiteli bölmeli araç rotalama olarak modellenmiştir.

Problemde ilk olarak firma politikasına uygun yeni bir akaryakıt istasyonu hizmete alınacaktır. Belirlenecek istasyonda dikkat edilecek faktörleri belirlemek için tedarik zinciri performansı incelenmiştir. Bu bağlamda Tedarik Zinciri Operasyonları Referans Model (SCOR) modeli değerlendirmiştir. Model, iş süreci yeniden yapılandırması ve en iyi uygulamaları hedef alan birleşik bir kıyaslama metodolojisidir. SCOR aynı zamanda bir endüstri standardı olması amaçlanan bir modeli referans alır. SCOR modeli, hem araştırma hem de uygulama için operasyon yönetiminde tedarik zinciri faaliyetlerini tanımlayan en iyi modellerden biridir. Günümüz bilgi çağında tedarik zincirlerinin yapısında ve gelişen teknolojiye köklü değişiklikler vardır. SCOR modeli, tedarik zincirlerinin performansını anlamak ve değerlendirmek için Endüstri 4.0 ve dijitalleşme ile ilgili yeni ölçümlerle genişletilmelidir. Bu nedenle SCOR modeline eklenen yeni metrikler ve yeni bir SCOR 4.0 modeli önerilmektedir. Yeni tedarik zinciri performans değerlendirme modeli olarak, tedarik zincirini değerlendirmek için üç seviyeli hiyerarşik bir metrik yapısı oluşturulmaktadır. Daha sonra belirlenen metriklerin önem düzeyleri belirlenmiştir. SCOR modeli, küreselleşen dünyada tedarik zincirinin performans değerlendirmesine uyarlanmıştır. Önerilen modelin uygulanabilirliğini göstermek için petrol tedarik zinciri için gerçek bir uygulama sunulmuştur. Uygulama kapsamında elde edilen sonuçlar akaryakıt istasyonu yer seçiminde kullanılmıştır.

Akaryakıt istasyonu yer seçiminde kullanılmak üzere ana ve alt kriterleri belirlemek için literatür gözden geçirilmiş ve uzman görüşleriyle kriterler belirlenmiştir. Devamında, değerlendirme için firmanın önceden belirlediği on üç farklı alternatif istasyon konumu bulanık mantık içeren bir karar verme metodolojisi ile değerlendirilmiştir. Belirlenen istasyon firmanın tedarik ağına eklenerek problem ele alınmıştır.

Tez kapsamında ürün dağıtımında minimum riskin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda petrol, tehlikeli madde olarak kabul edilmektedir. Tehlikeli maddelerin yer değiştirmesi sırasında çeşitli önlemler alınmalıdır. Bu nedenle tehlikeli maddelerin taşınmasında risklerin belirlenmesi ve en aza indirilmesi önemlidir. Bu çalışmada, tehlikeli madde taşıma işlemleri için kritik risk faktörleri literatür taramasıyla belirlenmiş ve bunların ağırlıkları pisagor bulanık AHP (PB-AHP) ile belirlenmiştir. Risk faktörlerini değerlendirmek için iki seviyeli bir hiyerarşi oluşturulmuştur. Daha sonra uzmanların ana ve alt risk faktörlerine ilişkin değerlendirmeleri, Modifiye Delphi yöntemi kullanılarak konsolide edilmiştir. Ana ve alt risk faktörlerinin ağırlıkları önerilen bu yöntem ile belirlenmiştir. Son olarak, önerilen yöntem istasyonlar arası risklerin belirlenmesinde kullanılmıştır.

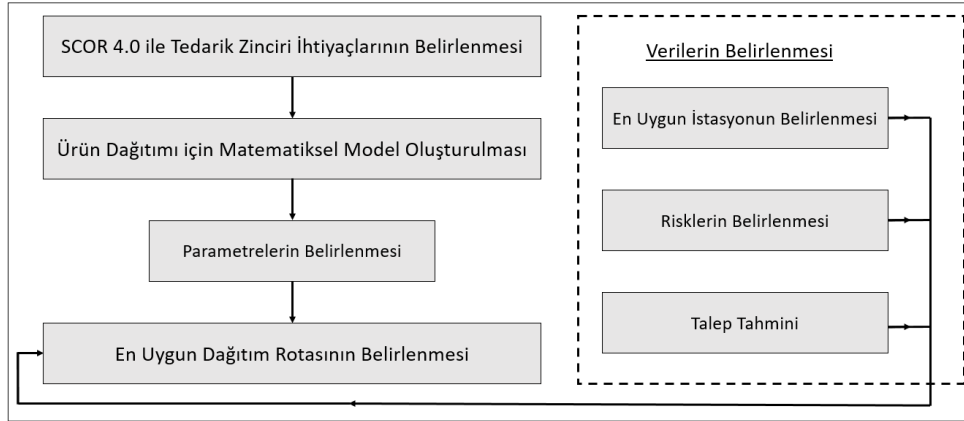
Ürün dağıtımı planlaması yaparken talep tahmini çok önemlidir. Taleple ilgili parametreler en uygun dağıtım rotasının belirlenmesinde kilit rol oynamaktadır. Bu bağlamda tezde, günlük benzin tüketim miktarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, lasso regresyon temelli bir tahmin metodolojisi önerilmiştir. Günlük benzin tüketimi için kullanılan tahmin yaklaşımı 3 ana aşamadan oluşur: i) verilerin temizlenmesi, ii) özelliklerin çıkarılması ve seçilmesi, iii) önerilen modeller aracılığıyla günlük benzin tüketimi zaman serilerinin geleceğini tahmin etme. Önerilen bu talep tahmini metodolojisi akaryakıt istasyonlarının taleplerini belirlemede kullanılmıştır.

Tankerler, istasyonlara ürünleri taşıırken bazı kısıtlamaları dikkate alır. Bunlardan biri zaman aralığıdır. Yöneticiler, her istasyon için ürünlerin teslim edilebileceği zaman aralıklarını tanımlar. Bu zaman aralığı istasyonlar arasında da farklılık gösterebilir. Bu fark istasyonun konumuna, yönetim stratejisine göre değişebilir. Tartışılan problemde, her istasyona ürün tahsisi, zaman penceresinin başlangıç ve bitiş saatleri arasında olmalıdır. İstasyona erken gelen tanker, istasyonun zaman penceresinin başlama saatine kadar beklemek zorunda kalacaktır. Ayrıca trafik yoğunluğundan dolayı tankerlerin hızı zamana göre değişmektedir. Tankerlerin seyahat süresi istasyondan/depodan ayrıldığı ana bağlıdır. Tankerlerin aynı anda birden fazla ürün taşımak için farklı bölmeleri vardır. Her bir bölmede bir ürün taşınabilir.

1.3 Orijinal Katkı

Literatür araştırması sonucunda bu tezde ele alınan problemin içerdiği farklılıklar nedeniyle yeni bir araç rotalama problemi olduğu görülmektedir. Bu problem, gerçekçi amaç fonksiyonu ile zaman bağımlı, beklemeye izin verilen zaman pencereli, çok ürünlü, çok bölmeli araçlı, heterojen filo içeren kapasiteli bir araç rotalama problemidir.

Bu tezin ana katkıları aşağıdaki gibidir: (1) İstasyonların talep tahmini yapay sinir ağları ile yapılmıştır. (2) Seyahat süreleri, zaman aralıklarında trafiğe bağlı olarak araç hızları dikkate alınarak hesaplanmıştır. (3) Noktalar arası riskler PB-AHP yöntemi ile belirlenmiştir (4) Problem için önerilen matematiksel formülasyon sunulmuştur. Tez kapsamında önerilen metodolojinin adımları Şekil 1.3'te verilmiştir. Ayrıca, bu adımların ayrıntıları sonraki bölümlerde sunulmuştur.



Şekil 1.3 Önerilen yöntem

Tez şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de tez kapsamında önerilen ve tedarik zinciri değerlendirilmesinde kullanılan SCOR 4.0 metodolojisi anlatılmıştır. Bölüm 3’te akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi ve önerilen çözüm metodolojisi ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Bölüm 4’te ürün taşımada kullanılan risk atama metodolojisi sunulmuştur. Talep tahmini ile ilgili ayrıntılı açıklamalar Bölüm 5’te verilmektedir. Akaryakıt istasyonu ikmal problemi Bölüm 6’da tanıtılmış ve çözülmüştür. Bölüm 7’de zaman bağımlı, beklemeye izin verilen zaman pencereli, çok ürünlü, çok bölmeli araçlı, heterojen filo içeren kapasiteli araç rotalama problemi açıklanmıştır. Sonuçlar ve gelecek çalışmalar Bölüm 8’de verilmektedir.

TEDARİK ZİNCİRİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ YENİ BİR SCOR MODELİ UZANTISI: SCOR 4.0

2.1 Günümüzde Tedarik Zinciri

Genel olarak tedarik zinciri, arz kaynaklarını (tedarikçiler) talep sahiplerine (son müşteriler) bağlar. Tedarik zincirinin nihai amacı, doğru tedarikleri doğru miktarlarda doğru yerlere doğru zamanda ulaştırmaktır. Tedarik zincirleri, ham madde aşamasından son kullanıcıya kadar malların akışı ve dönüşümü ile ilgili tüm faaliyetleri ve süreçleri içerir [56]. Tedarik zinciri, kuruluşların bütün iş süreçleriyle ilgili etkinlikleri kapsamaktadır. Ürün tedarikçisinden son müşteriye kadar olan tedarik zinciri yapısında, kaynaklar ve iş yapısı, teknoloji ve insan kaynakları tedarik zinciri kavramı ile birlikte ayrılmaz bir bütündür. Tedarik zinciri yönetimi, ham maddeden son tüketiciye kadar bir ürün veya hizmetin süreçleri üzerindeki tüm süreçlerin optimizasyonudur. Bu optimizasyonun temel amacı, en düşük maliyetler ile birlikte en yüksek müşteri ve tedarikçi memnuniyetini sağlamaktır. Daha önce kurumsal kaynak planlamasının parçalarından biri olarak düşünülen tedarik zinciri yönetimi, son yıllarda uluslararası çalışma alanlarında bir disiplin olarak kabul edilmektedir. Tedarik zinciri yönetimi, envanter maliyetlerini ve planlama ve işletme giderlerini azalttığı, müşteri hizmetlerini geliştirdiği, karar verme süreçlerini kısalttığı ve tüm bunların sonucunda rekabet gücünü artırdığı için çok önemlidir.

Tedarik zincirinde, zinciri oluşturan tüm unsurların entegre edilmesi gerekir. Genellikle tedarik zincirinde, tedarikçiden müşteriye kadar olan süreçlerde birden fazla fonksiyon ile belirli ihtiyaçlar doğrultusunda belirli görevleri yerine getirilir. Tedarik zinciri yönetiminin bazı önemli temel aşamaları vardır. Talepleri ve

siparişleri yönetmek; söz konusu aşamaların ilk bölümünü oluşturur. Müşterilerden gelen siparişlerin eksiksiz ve sorunsuz bir şekilde karşılanması için aktif sipariş yönetimi uygulamaya konulmalıdır. Satın alma süreci; üretim için gerekli tüm ürün ve malzemelerin hızlı, kaliteli ve etkin bir şekilde teminini kapsar. Planlama süreci; maliyet hesapları ile birlikte işletmenin faaliyetlerine dahil edilen üretim sürecinin en doğru planlamasını kapsar. Üretim süreci, tedarik zincirindeki en önemli süreç olarak dikkat çeker. Bu süreç özellikle organizasyonlar için çok önemlidir. Satın alınan malzemenin istenilen zaman ve kalite kriterleri doğrultusunda en doğru araçlarla ürüne dönüştürülmesi önemlidir. Üretim, genel olarak ürün ve hizmetlerin miktarını ve faydalarını artırmaya yönelik bir eylem olarak öne çıkar. Envanter yönetimi süreci; kuruluşun sahip olduğu tüm ürün ve hizmetlerin üretim planlarını takiben envanter seviyelerinin belirlenmesini kapsar. Aynı zamanda uygun envanter yönetimini de içerir. Depo yönetimi süreci; envanter yönetimi ile yakından ilgilidir. Envanter yönetimi sonucunda tasarlanan stokların nasıl ve ne miktarda yönetilmesi, bitmiş ürünlerin depolanması, bu ürünlerin sevkiyata hazır tutulması gibi planlama ve yönetme süreçleri depo yönetimi kapsamında tanımlanır. Sevkiyat süreci; bitmiş ürünlerin satışa hazır depodan alınarak müşteriye teslim edilmesi sürecini içerir.

Küresel rekabetin zirveye ulaştığı günümüzde, kar elde etmek sadece satın alma yoluyla değil, hem satın alma hem de üretme sırasında gerçekleşen bir süreçtir. Bu nedenle şirketlerin sürekliliğini sağlamak için tedarik zincirinin tüm dışlıları konusunda doğru kararlar almaları, analiz ve geliştirme yapmaları gerekmektedir. Tüm iş süreçlerinin koordinasyonunu ve kontrolünü sağlamak zincir boyunca verimlilik sağlayacak, karlılık ve müşteri memnuniyeti gibi hedeflere kolay erişim sağlayacaktır. Bu noktada firmaların tedarik zinciri yönetimine önem vermesi ve organizasyonların performansını önemli ölçüde artırmak için bu yönde çalışmaları stratejik bir gerekliliktir.

Küreselleşme kavramı, şirketleri sürekli değişen rekabetçi bir ortamda çalışmaya zorlamıştır [57]. Buna göre şirketler rekabet avantajı elde etmek için stratejiler geliştirmelidir. Şirketler, sistemlerini en yüksek verimlilik ve etkinlikle işletmek ve aynı zamanda maksimum müşteri memnuniyetini sağlamak üzere geliştirdikleri

stratejilerini oluşturmalıdır [58]. Verimliliği artırmak için yapılması gerekenlerden biri de performans ölçütlerinin belirlenmesidir. Verimliliği artırmak için stratejiler, performans ölçütlerinin belirlenmesine dayalı olarak geliştirilir [59]. Firmalar, içinde bulundukları sektörlere göre gelişen durumları analiz eder, iş akışını oluşturur ve rekabet koşullarının bilinciyle akışları takip eder. Bu nedenle performans ölçümü, takip, taktik, operasyonel, planlama ve kontrol açısından da önemlidir [60].

2.2 Literatürde Tedarik Zinciri Performans Değerlendirilmesi

Tedarik zinciri performans değerlendirme problemi, birçok farklı araştırmanın uzun süredir ele aldığı ve üzerinde çalıştığı bir çalışma alanıdır. Literatürde tedarik zinciri performans değerlendirmesinde Kurumsal Karne (Balanced Scorecard) ve SCOR yöntemini kullanan birçok çalışma gözlemlenebilir. Bunların öne çıkanlarını şu şekilde özetleyebiliriz. Wang vd. ürün özelliklerini değerlendirmek için SCOR modelini dikkate alarak ürün özelliklerini tedarikçi özellikleriyle eşleştirmek için analitik hiyerarşı prosesini (AHP) kullanmıştır [61]. Wang vd. AHP yöntemi ile belirlenen alternatifler arasından en iyi tedarikçiyi seçmiştir. Ayrıca imalat tedarikçisi seçimi için hedef programlama kullanılmıştır [62]. Hwang vd. Tayvan'daki ekran endüstrisini değerlendirmek için Seviye-3 ölçütleriyle SCOR modelini kullanmıştır. Önerilen yöntemin güvenilirliğini göstermek için regresyon analizi kullanılmıştır [63]. Chae, tedarik zinciri yönetimi için temel performans göstergeleri geliştirmiştir. SCOR'a dayalı olarak geliştirilen endüstri odaklı performans ölçüm modeli, farklı sektörler için kolaylıkla uyarlanabilir bir modeldir [64]. Raut vd. çok kriterli karar verme (ÇKKV) metodolojisi için kriter olarak SCOR Seviye-1 metriklerini tanımlamış ve tedarikçi seçimi problemi için hem AHP hem de veri zarflama analizini (VZA) kullanmıştır [65]. Lu vd. insani yardım tedarik zincirleri için bir performans değerlendirme modeli geliştirmiş ve yirmi altı farklı SCOR tabanlı metrik değerlendirilerek performans değerlendirmesi için en uygun olan on dört metriği önermişlerdir [66]. Essakly vd. tedarik zinciri performansını değerlendirmek için teknoloji uygulamalarını birleştirerek performans ölçütlerini yeniden tanımlamıştır. [67]. Lima Junior ve Carpinetti, uyarlamalı ağ tabanlı bulanık

çıkartım sistemleri (ANFIS) metodolojisi aracılığıyla SCOR'a dayalı bir performans değerdendirme sistemini geliştirmişlerdir [68].

Tezin bu bölümünde, tedarik zincirinin performans değerdendirmesine odaklanılmıştır. Tedarik zinciri performans ölçümünde sıklıkla kullanılan geleneksel SCOR modeli, dijital çağ için tedarik zincirlerinin gereksinimlerini tam olarak içermemektedir. Bu nedenle literatürdeki performans ölçüm modelinin dijital çağın ihtiyaçları dikkate alınarak güncellenmesi gerekmektedir. Bu tezde, literatürdeki SCOR modellerinden farklı olarak modele yeni metrikler eklenmiş ve böylece yeni SCOR 4.0 modeli önerilmiştir. Yeni iki Seviye-1 metriğiyle SCOR modelini iyileştirilerek küreselleşen dünyanın gereksinimlerinin performans değerdendirme modeline dahil edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada önerilen, tedarik zinciri performans değerdendirme modeli, tedarik zincirini değerdendirmek için üç seviyeli hiyerarşik bir yapı olarak yapılandırılmıştır. Modelin içerdği her bir metriğin değerdendirilmesi problemi bir ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Metriklerin ağırlıklandırılması için uzmanlardan görüşler alınmış, metriklerin ağırlıklarını belirlemek için hibrit Best Worst Yöntemi (BWM) ve PB-AHP yöntemini kullanılmıştır. Petrol tedarik zincirini inceleyen bir vaka analizi ile sonuçlar elde edilmiştir.

2.3 SCOR 4.0 Modeli

2.3.1 SCOR Modeli

SCOR modeli 1996 yılında, firmalara tedarik zincirlerinin etkinliklerini iyileştirmelerine yardımcı olmak ve tedarik zinciri yönetimine süreç bazlı bir yaklaşım sağlamak için Tedarik Zinciri Konseyi (SCC) tarafından geliştirildi [69]. SCOR, karşılaştırmalı bir iş süreci yeniden yapılandırması ve en iyi uygulamaların birleşimi olarak özetlenebilir. Aynı zamanda bir endüstri standardı olması amaçlanan bir modeli referans alır. Standart ifadesi, tedarik zincirlerinin nasıl performans gösterdikleri, nasıl yapılandırıldıkları, sürecin etkileşim biçimi ve süreci işleten personelin gereksinimleri anlamına gelir. Sektörde daha kolay ve etkin uygulanabilmesi için SCOR'un güncel sürümü sürekli güncellenerek ve detaylandırılarak kullanılmaya devam edilmektedir. Bu model, tedarik zinciri

yönetimi için sektörler arası standart olarak kabul edilen dünyadaki ilk referans modeldir. SCOR referans modelinde dört temel bileşen vardır. Bu dört bileşen aşağıda açıklanmıştır:

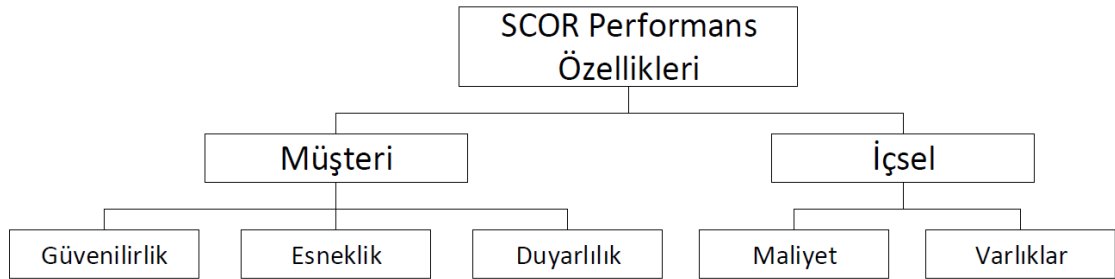
Performans: Süreç performansının ve stratejik hedeflerin tanımlanması için standart ölçüler,

Süreçler: Süreç ilişkileri ve yönetim süreçlerinin standart tanımları,

Uygulamalar: Daha iyi süreç performansı sağlayan yönetim uygulamaları,

İnsanlar: Daha iyi tedarik zinciri süreçleri gerçekleştirmek için gereken kişilerin becerilerine yönelik standardı tanımlar.

SCOR referans modelinin performans bölümü iki tür bileşenden oluşur: performans öz nitelikleri ve ölçümler. Performans öz niteliği, bir stratejiyi açıklamak için kullanılan bir grup metriktir. Stratejik yönü belirlemek için bir öz nitelik kullanılır ve kendini ölçemez. Metrikler, bu stratejik yönle ulaşma yeteneğini ölçer. Bir metrik, ölçüm için bir standarttır. SCOR, beş temel tedarik zinciri performans özelliğini tanımlar. Şekil 2.1'de görülebilen özellikler aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 2.1 SCOR performans özellikleri

Güvenilirlik: Tedarik zincirinin doğru tedarikçiden doğru müşteriye doğru yerde, doğru zamanda, doğru şekilde ve doğru belgelerle doğru miktarda ürünün dağıtılmasını ifade eder.

Esneklik: Tedarik zincirinin, rekabet gücünü sürdürmek veya geliştirmek için pazardaki değişikliklere yanıt verme yeteneğidir.

Duyarlılık: Tedarik zinciri ürünlerinin müşterilere teslim hızıdır.

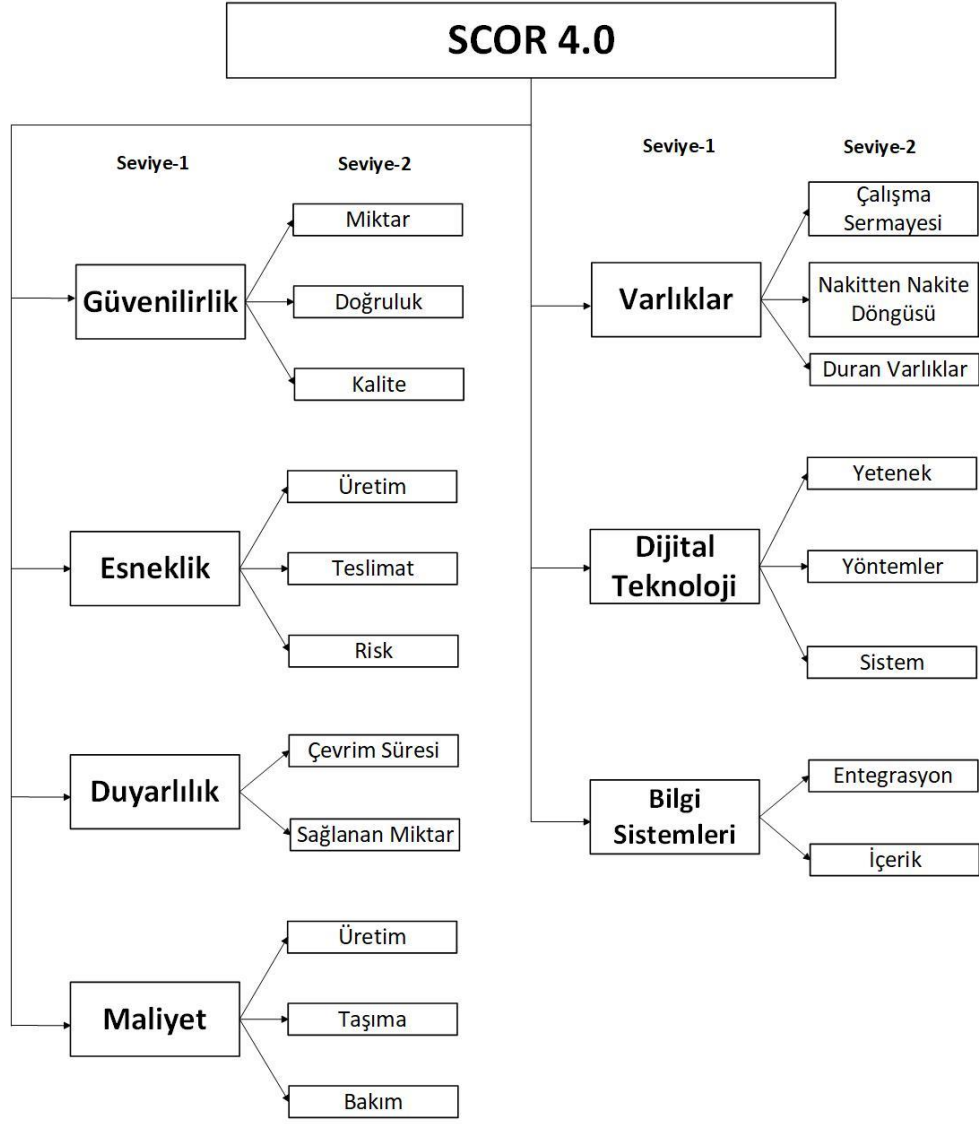
Maliyet: Tedarik zincirinin yönetimi ile ilgili tüm maliyetleri içerir.

Varlıklar: Talebi karşılamak için tedarik zinciri organizasyonunun varlıklarını yönetmenin etkinliği anlamına gelmektedir.

Tedarik Zinciri Konseyi, dengeli karar verme ve yönetimi sağlamak için tedarik zinciri puan kartlarının her bir performans özelliği için en az bir metrik içermesini tavsiye eder [70]. Tedarik zincirinde performans değerlendirmesi, son müşteriye ulaştırılacak malların, malzemelerin ve bilgilerin kaynak noktasından depolanmasından başlar. Tedarik zincirinin amacına ulaşmak için verimli ve düşük maliyetli süreçlerin uygulanması gerekir.

2.3.2 SCOR 4.0 Modeli ve Performans Metrikleri

Şekil 2.1'den görüldüğü gibi, tedarik zinciri performans değerlendirmesi için doğrudan dikkate alınması gereken yalnızca beş ana özellik vardır. Bu performans özellikleri, geleneksel tedarik zincirinin ihtiyaçları dikkate alınarak SCOR modeline göre belirlenmiştir. SCOR, hem araştırma hem de uygulama için operasyon yönetiminde tedarik zinciri faaliyetlerini tanımlayan en iyi modellerden biridir. Karar vericilerin tedarik zincirini taklit etmelerine ve analiz etmelerine yardımcı olacak sonuçları verir [71]. Ancak günümüz bilgi çağında tedarik zincirlerinin yapısında gelişen teknoloji ile birlikte köklü değişiklikler olmuştur. Gelişen teknoloji ile tedarik zincirlerinin yenilenmesi çağa ayak uydurmak açısından önemlidir. Bu bağlamda tedarik zincirlerinin performansının değerlendirilmesinde yeni metrikler dikkate alınmalıdır. Tedarik zincirinin performansı belirlenirken tedarik zincirinin tüm boyutları bu yeni ölçümlerle birlikte düşünülmelidir. Bu nedenle tedarik zincirinin yeni gereksinimleri doğru bir şekilde belirlenerek yeni metrikler bu yeni gereksinimler dikkate alınarak ele alınmalı ve SCOR modeline entegre edilmelidir. Dijital teknoloji ve bilgi sistemleri, bu tezde önerilen yeni SCOR modelinde yeni iki metrik olarak kabul edilmiştir. SCOR 4.0 olarak adlandırdığımız bu yeni SCOR modeli, tedarik zinciri performansını değerlendirmek için yapılandırılmış üç seviyeli hiyerarşik bir yapıdır. SCOR 4.0'ı oluşturan temel metrikler ve bunların iç metrikleri, literatür taraması ile derlenmiş, ardından uzmanlar tarafından en uygun metrikler belirlenmiştir. Danışılan uzmanlar, tedarik zinciri operasyonlarındaki deneyimleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen SCOR 4.0 modeli, Seviye-1 ve Seviye-2 metrikleriyle birlikte Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2 SCOR 4.0 performans metrikleri

SCOR 4.0 modeli yedi farklı Seviye-1 metrikten oluşur. "Dijital Teknoloji" ve "Bilgi Sistemleri", dünyanın küreselleşen ihtiyacını karşılamak için geleneksel SCOR modeline eklenen yeni metriklerdir.

2.3.2.1 Güvenilirlik

"Güvenilirlik", tedarik zincirinin doğru müşteriye doğru yerde, doğru zamanda, doğru şekil ve ambalajda, doğru miktarda, doğru belgelerle dağıtılması ile ilgilidir. Önerilen SCOR 4.0 Modelinde üç iç metriğe sahip üç Seviye-2 metriğinden oluşur.

İlk Seviye-2 metriği, tedarik zincirinin güvenilirliğinin nicel değerleriyle ilişkili "Miktar" dır. "Maksimum Teslimat Miktarı", son müşteriye teslim edilebilecek

maksimum ürün miktarını ifade eder [72]. "Maksimum Teslimat Süresi", tedarik zincirinin telafi edebileceği en son teslim süresiyle ilgilidir. "Ortalama Teslim Süresi", hammaddeden son müşteriye teslim süresi anlamına gelir.

Tedarik zinciri süreçlerindeki doğruluk ile ilgilenen metrik "Doğruluk" dur. "Teslimat Performansı", tedarik zincirinin performansını tedarik süresini ve tedarik zincirinin her aşaması için vaat edilen miktarın karşılanma miktarını ölçer [73]. Dokümantasyondaki doğruluk, tedarik zinciri için de önemlidir. Belge ile gerçek fiziksel mallar arasındaki herhangi bir fark, tedarik zincirinin her bileşeni için ekstra maliyete neden olabilir. "Belge Doğruluğu", fiziksel ürünler ile belge arasındaki tutarsızlıktan kaynaklanan hataların yüzdesi olarak hesaplanır. Tutarsızlık, yanlış bilgi veya yanlış belge ile güncellenen işlemde kaynaklanabilir [74]. "Sipariş Karşılama" müşteriden alınan siparişle başlar ve ürünün müşteriye teslimi ile biter [75]. Bu metrik, başarılı siparişin yüzdesini ölçer.

"Güvenilirlik" metriğinin son Seviye-2 metriği "Kalite" dir. Kalite, "Hasarsız Siparişler", "Hatasız Kurulum" ve "Karşılama Oranı" olmak üzere üç Seviye-3 metrikten oluşur. "Hasarsız Siparişler" hasarsız alınan sipariş sayısının belirli bir dönemde işlenen toplam sipariş sayısına oranı olarak ifade edilebilir [76]. "Hatasız Kurulum", hatasız kurulum sayısı ve toplam kurulum sayısı kullanılarak hesaplanır [77]. Tedarik zincirinin güvenilirliğini ölçmek için iki sayı arasındaki oran önemlidir. "Karşılama Oranı" taleplerin ne ölçüde karşılandığıyla ilgilidir.

2.3.2.2 Esneklik

Bir tedarik zincirinin rekabet avantajını elde etmek ve / veya sürdürmek için piyasa değişikliklerine yanıt verme çevikliğine "Esneklik" denir.

"Esneklik" ile ilgili ilk metrik, "Üretim" esnekliğidir. "Plan Esnekliği", tedarik zincirinin üretim veya nakliye planında değişiklik yapma yeteneğini ifade eder. "Üretim Esnekliği", müşteri gereksinimlerindeki değişime minimum maliyetle hızlı yanıt vermek anlamına gelir [78]. "Tedarik Zinciri Uyarlanabilirliği", tedarik zincirinin tedarik zincirinin herhangi bir aşamasındaki değişikliklere uyarlanabilirliği ile ilişkilidir [79].

"Teslimat" konusundaki esneklik, teslim edilen ürünlerin hem miktarını hem de tarihini değiştirme yeteneğidir. Geç üretim (backlogging), esnekliğin klasik bir örneğidir [80]. "Yanıt Süresi", tedarik zincirinin herhangi bir aşamasında değişikliklere ortaya çıkan maksimum yanıt süresidir [81]. Tedarik zinciri, değişiklikler için bilinçli ve uygun şekilde tepki vermelidir. "Arzdaki Miktar Değişimi", "Teslimattaki Miktar Değişimi" sırasıyla tedarik ve teslimat için ürün sayısında pozitif veya negatif bir kayma anlamına gelir.

Son Seviye-2 ölçüsü "Risk" dir. "Üretim" üzerindeki risk, müşterilerin değişen tasarımı ile ürünlerin etkin ve verimli üretilmemesidir "İade" riski, müşterinin ürünü iade etme riski anlamına gelir. "Teslimat" üzerindeki risk, teslimat miktarının kesintiye uğraması anlamına gelir.

2.3.2.3 Duyarlılık

"Duyarlılık", müşterilere ürün sağlamak için tedarik zincirinin hızı olarak özetlenebilir. Önerilen SCOR 4.0 modelinde "Duyarlılık" için iki farklı iç metrik vardır.

Tedarik zincirinin her bileşeni için "Çevrim Süresi" büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle önerilen SCOR 4.0 modeline Seviye-2 ölçütü olarak entegre edilmiştir. "Teslim Çevrim Süresi" sipariş ile başlayan ve ürünün teslimatı ile biten süredir. "Kaynak Çevrim Süresi", ürünlerin tedarikçiler gibi kaynaklardan tedarik edilmesi için gereken süreyi ölçer. "Perakende Çevrim Süresi" perakendeciler için döngü süresi anlamına gelir [60].

"Sağlanan Miktar", üç Seviye-3 metriği kullanılarak incelenir. "Türe Göre Tedarik", tedarik zincirinin sağladığı ürün veya malzeme türlerinin sayısını ifade eder. "Bölgeye Göre Tedarik", tedarikçilerin bulunduğu bölgeyle ilgilidir. "Teslim Süresi" siparişlerin ortalama teslim süresidir [60].

2.3.2.4 Maliyet

Maliyet ölçütleri, tedarik zinciriyle ilgili tüm maliyetleri içerir. Tedarik zincirinin maliyetini farklı faktörler etkiler. Gelişen teknoloji ve ihtiyaçlar neticesinde geleneksel ürün maliyetlerine lojistik maliyetlerin de eklenmesi kaçınılmaz

olmuştur. Tedarik zinciri operasyonlarında ortaya çıkan tüm maliyetlerin toplamını temsil eder.

"Maliyet" in ilk Seviye-2 metriği "Üretim" maliyetidir. Bu maliyet, müşteriye hizmet vermek için ürünün üretilmesiyle ilgili tüm masrafları temsil eder. "Malzeme" malzeme, işçilik ve makine maliyetini içerir [82]. "Planlama" maliyeti, planlamayla ilgili tüm maliyetleri içerir. Bunlar personel maaşları, dokümantasyon maliyetleri gibi maliyetlerdir. "Yönetim" maliyeti, tedarik zinciri yöneticilerinin ve personelin maaşını içerir.

Taşıma maliyetleri, ürünün (mal veya hizmetin) son müşteriye ulaşana kadar gerçekleşen maliyetlerdir. Bu maliyetler ağırlık, hacim, ürün tipi, taşınacak mesafe gibi değişkenlere bağlıdır [83]. "Nakliye" maliyeti, ürünün taşınmasında ortaya çıkan fiziksel maliyetlerdir [84]. Bu maliyetlerin bazı klasik örnekleri araç kiralama, benzin maliyeti, sürücü maliyetidir. "Malzeme Kondu" maliyeti, satın alma maliyetleri, navlun ve nakliye sigortası, ürünün kullanıldığı yere teslim edilmesi gibi diğer maliyetleri içerir [85]. Satın alınan malzeme veya ürünlerin satın alındığı ve kullanıldığı yere sunulmasıyla ilgili toplam maliyet olarak özetlenebilir. "Yasal Uygunluk" maliyetleri, ithalat-ihracat vergileri ve nakliye ile ilgili vergiler gibi yasal yükümlülüklerden kaynaklanan maliyetlerden oluşmaktadır.

"Bakım" maliyeti, üç Seviye-3 metriğini içerir. "Hizmet", tedarik zincirinin her aşaması için müşteriye ürün veya malzeme sunmaya ilişkin maliyetlerdir [86]. "Garanti", garanti anlaşmalarından kaynaklanan maliyetleri içerir. "İade", planlama hataları, tedarikçi kalitesi, üretim, yönetim siparişi ve teslimat hataları nedeniyle iade edilen ürünlerin toplam maliyetinden oluşur [85].

2.3.2.5 Varlıklar

"Varlıklar" metriği, tedarik zincirinin talep memnuniyetini desteklemek için varlıkları yönetmedeki etkinliğini temsil eder. Bu, tüm varlıkların yönetimini içerir [87].

"Çalışma Sermayesi" tüm tedarik zinciri bileşenlerinde kilit bir rol oynar. Ürünlerin üretiminin başladığı andan gelire kadar geçen süreçte üretim faktörlerine bağlı fonlardan oluşur. Faaliyet geliri elde edilene kadar yapılacak giderleri karşılamak

için kullanılır [88]. "Çalışma Sermayesi", üç farklı Seviye-3 metriğini içerir. "Borç Hesapları", bir tedarik zincirinin dış etkenlere borçlu olduğu parayı temsil eder. Aynı zamanda, dış faktörlere ve diğer alacaklılara olan borçları ödemekten sorumlu olan tedarik zincirinin işletme departmanı anlamına gelir [89]. "Alacak Hesapları", tedarik zincirinden olmayan müşteriler tarafından ödenmemiş bir şirket tarafından teslim edilen veya kullanılan mal, hizmetlerin neden olduğu paradır. Müşterilerin kredili alışverişlerde borçlu oldukları para olarak özetlenebilir. "Envanter", tedarik zincirinin toplam para veya ürün envanterini ifade eder.

"Nakitten Nakite Döngüsü", "Varlıklar" için başka bir Seviye-2 metriğidir. Firmaların hammadde için peşin ödeme günü ile başlayıp alacaklarını tahsil ettikleri güne kadar üretim sürecine geçmeleri için geçen süreyi ifade eder [90], [91]. "Nakitten Nakite Döngüsü", üç farklı Seviye-3 ölçümü içerir. "Ödenecek Günler", tedarik zincirinin borçlarını, faturalarını, vb. tedarikçilerine ödediği ortalama gün sayısını gösterir [92]. "Stok Temin Günü", stok miktarının belirli bir dönemde kaç gün yeterli olacağını belirtir. Aynı zamanda tedarik zincirinin ne kadar hızlı satışa dönüştüğü anlamına gelir. "Satış Günleri", tedarik zincirinin bir ürünü satarak para kazanacağı ortalama gün sayısıdır.

"Duran Varlıklar", müşterilere satılmayacak, çabuk nakite çevrilemeyen, uzun vadede üretim veya hizmet sürecinde kullanılarak ekonomik fayda sağlamak için kullanılan varlıkları ifade etmektedir. "Duran Varlıklar"; "Varlık Devirleri" ve "Tedarik Zinciri Sabit Varlıklar" olmak üzere iki Seviye-3 metriğinden oluşur. "Varlık Devirleri", tedarik zincirinin varlıklarının değerine dayalı olarak bir tedarik zincirinin satışlarının veya gelirinin değerini ölçer. Tedarik zincirinin verimliliğini gösteren göstergelerden biri olarak kullanılabilir [93].

2.3.2.6 Dijital Teknoloji

Tedarik zincirinin "Dijital Teknoloji" performansı, üç farklı Seviye-2 metriği kullanılarak ölçülür. İlk Seviye-2 metrik "Yetenek" tir. Bu metrik, tedarik zincirinin becerileri ve yeterliliği ile ilgilidir ve dört Seviye-3 metriktir. "Dinamizm", tedarik zincirinin değişen dış koşullara bağımsız olarak tepki verebilme yeteneğini ifade eder. Tedarik zincirini değişikliklere uyarlayarak uygun bir çözüm bulmak bu metrik için önemlidir [94]. "Kabiliyet", tedarik zincirinin olası sorunlarla başa çıkma

kabiliyetini ifade eder. Tedarik zincirinin kabiliyetleri, kuruluşlar için yakın gelecekte sürdürülebilir başarıyı garanti eder [95]. Tanımlama, geliştirme ve mobilizasyon tedarik zincirlerinin alt kabiliyetlerinden bazılarıdır [96]. "İnovasyon", tedarik zincirinin yeniden yapılandırılmasında ve yenilenmesinde kilit bir rol oynar. Değişiklikler yoluyla evrimin işlenmesinde tedarik zincirini destekler [97]. "İşbirliği", kurum içi ve kurumlar arası dağıtım sürecinin tamamen dijitalleştirilmesi anlamına gelir. Müşteriler ve harici hizmet sağlayıcılarla güçlü işbirliği, özerk ve kendi kendine optimizasyon yetenekleri geliştirmenin temelini oluşturur [97].

"Dijital Teknoloji" nin ikinci Seviye-2 metriği, üç Seviye-3 metriği olan "Yöntemler" dir. "Dijital Haritalama", fiziksel gerçekliğin gerçek verilerinin sanal bir görüntü olarak biçimlendirildiği bir süreçtir. Verimliliği artırmak ve tedarik zincirleri için dijital haritada yer almak amacıyla veri analizi yapmak önemlidir. Dijital haritalar, tedarik zincirinin unsurlarına kolayca erişmesine yardımcı olur [98]. "Makine Öğrenmesi" teknikleri, tedarik zinciri unsurlarına, tahmin, kümeleme, sınıflandırma vb. gerçekleştirmek için mevcut verileri kullanan algoritmaları ifade eder [99]. "Diğer Yöntemler", mobil cihazlar [100] ve otomatik izleme [101] gibi dijital teknolojiye dayalı diğer yöntemlerin kullanımı anlamına gelir.

"Sistem", bu Seviye-1 metriğinin son Seviye-2 metriğidir. Tedarik zincirinde kullanılan bilgisayarlar, mobil cihazlarla ilişkili "Sistem Yapısı" alt metriğinde değerlendirilir ve daha iyi dijitalleştirme altyapısı gerçekleştirmek için entegrasyon ve bilgi işlem kapasitelerini içerir [102]. "Tutarlılık", tedarik zincirinin tutarlı dijitalleşmesi ile ilgilidir. Tedarik zincirinde kullanılan dijital teknolojinin karmaşıklığı ile başa çıkmak için, zincirin her aşaması için dijital teknolojiler tutarlı bir şekilde kullanılmalıdır [103]. "Uygulanabilirlik", dijital teknolojinin tedarik zincirinin her aşamasına uygulanabilirliğini ifade eder. "Şeffaflık", ürünlerin, parçaların, bileşenlerin üreticiden son müşteriye kadar olan hareketlerini izleme yeteneğidir. Amaç, müşteri dahil tüm paydaşlar için ürünle ilgili verilere kolay erişim sağlayarak tedarik zincirini iyileştirmek ve güçlendirmektir [104].

2.3.2.7 Bilgi Sistemleri

"Entegrasyon" ve "İçerik", "Bilgi Sistemleri" nin önemli bir bileşenidir. "Entegre Veri Tabanı", "Entegre Arayüzler" ve "İş Ortağı Entegrasyonu", "Entegrasyon" metriğinin Seviye-3 metrikleridir. "Entegre Veri Tabanı", tedarik zincirinin farklı aşamalarından farklı veri kaynaklarının entegre edilmesi ve bu kaynaklardan ana veri kaynağının oluşturulması anlamına gelir [105]. Tedarik zinciri, bilgi akışındaki kesintileri önlemek için paydaşlarla paylaşılan ve tüm tedarik zincirine entegre arayüzler sağlamalıdır. Dolayısıyla, "Entegre Arayüzler" departmanlar/kuruluşlar arasındaki arayüzleri, kullanıcı/ürün arayüzlerini ve insan-makine sistemlerinin arayüzlerini ifade eder [97], [106]. "İş Ortağı Entegrasyonu", dijital bir ekosistem elde etmek için müşteriler, tedarikçiler, taşıyıcılar ve tedarik zincirinin diğer harici ortakları arasındaki entegrasyon anlamına gelir.

Üç Seviye-3 metriği "İçerik" metriğini oluşturur. "Tutarlı Veriler", gerçek zamanlı analitik sağlamak için birden çok kaynaktan uçtan uca veri veya bilgi akışları anlamına gelir [97], [101]. "Anlaşılabilirlik", kullanılan bilgi sistemlerinin kolay anlaşılmasıyla ilişkilidir. "Kapsamlılık", tedarik zincirinin ilgili tüm aşamalarında kullanılan bilgi sistemleri anlamına gelir.

2.4 Önerilen SCOR 4.0 Metodolojisi

Bu bölümde, önerilen yeni SCOR 4.0 modeli ile küreselleşen dünyada uygun tedarik zinciri performans değerlendirmesini metrik olarak nitelendiren üç seviyeli bir hiyerarşi kurulmuştur. Ardından, uzmanların Seviye-1 metrikleri için değerlendirmeleri alınmış ve petrol tedarik zinciri için Seviye-1 metriklerinin önem ağırlıklarını belirlemek için BWM kullanılmıştır. Daha sonra Seviye-2 ve Seviye-3 metriklerinin önem ağırlıkları PB-AHP metodolojisi ile belirlenmiştir. Ardından sonuçlar analiz edilerek yorumlanmıştır. Duyarlılık analizi, önerilen metodolojinin güvenilirliğini göstermek için yapılmıştır. Şekil 2.3, önerilen metodolojinin seviyelerini göstermektedir.



Şekil 2.3 Önerilen SCOR 4.0 metodolojisi

2.4.1 Best Worst Yöntemi

Araştırmacılar ve teorisyenler, yıllar içinde karar verme problemine ve uzantılarına odaklanmışlardır. Bu problemlerin kamu ve özel sektör için uygulamaları her geçen gün artmaktadır. Araştırmacılar karar verme problemlerini ele alırken optimizasyon, ÇKKV gibi farklı karar destek modelleri geliştirerek problemleri çözerler. Bu tip problemler hem nicel hem de nitel faktörleri içerebilir. Karar verme problemleri genellikle birden fazla kriter içerir ve ÇKKV problemi olarak adlandırılır. Literatürde en çok kullanılan ÇKKV yöntemleri üç başlıkta sınıflandırılabilir: puanlama, sıralama ve ikili karşılaştırma. AHP, Analitik Ağ Süreci (ANP), DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), ikili karşılaştırmaya dayanan en ünlü ÇKKV yöntemleridir [107]. Kriterler veya alternatifler üzerindeki ikili karşılaştırmalar, karar vericiler için zorluk teşkil edebilirler; çünkü karar vericiler çok sayıda kriter/alternatif üzerinde tutarlı kararlar alma yeteneklerine sahip olmayabilirler [108]. Bu zorluğun üstesinden gelmek için Razei, yapılandırılmış ikili karşılaştırma şemasına dayanan BWM'yi önermiştir [109]. BWM, en iyi kriterleri ve en kötü kriterleri seçmeye ve bu kriterleri diğer kriterlerle karşılaştırmaya dayanan bir yöntemdir [110]. Karar vericilerin, BWM yöntemiyle tüm kriterler arasında tüm ikili karşılaştırmaları gerçekleştirmesine gerek yoktur. Karar vericilerin sadece en iyi ve en kötü kriterleri

diğer kriterlerle karşılaştırması yeterlidir. Bu nedenle, BWM, daha az karşılaştırma süresi ve önceliklendirme sonuçlarının daha yüksek güvenilirliği ile AHP'den daha üstündür [108]. BWM'nin adımları aşağıda verilmiştir [111].

Adım 1. Değerlendirilecek kriterler belirlenir ($C_1, C_2, \dots, C_n$). n kriter sayısını temsil eder.

Adım 2. En önemli (en iyi) ve en az önemli (en kötü) kriterler belirlenir. Bu aşamada hiçbir karşılaştırma yapılmaz.

Adım 3. En önemli kriterin tüm diğer kriterlere göre önem seviyesini belirlenir. Karşılaştırma 1 ile 9 arasında bir sayı kullanılarak yapılır. 1, iki kriter arasında eşit önem olduğu anlamına gelir. 9, bir kriterin diğerinden kesinlikle önemli olduğu anlamına gelir. Diğerleri için en iyisi vektörü oluşturulur:

$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$ burada a_{Bj} en önemli kriter B 'nin kriter j 'ye göre önem seviyesini gösterir. a_{BB} 'nin 1 olması gerekmektedir.

Adım 4. En az önemli kriter üzerindeki tüm kriterlerin önem düzeyi 1 ile 9 arasında belirlenir. Diğerlerinden en kötüye vektörü oluşturulur:

$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$ burada a_{jW} , en az önemli kriter W 'ye göre j kriterinin önem seviyesini gösterir. a_{WW} 'nin 1 olması gerekmektedir.

Adım 5. Kriterlerin optimal ağırlıkları bulunur ($w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$). $\frac{w_B}{w_j}$ ve $\frac{w_j}{w_W}$ 'nin her bir ikili karşılaştırması için, $\frac{w_B}{w_j} = a_{Bj}$ ve $\frac{w_j}{w_W} = a_{jW}$ değeri sırasıyla Adım 3 ve Adım 4'te belirlenir. Amaç $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ ve $\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right|$ mutlak farklarının maksimum değerlerini elde etmek için kriterlerin optimal ağırlıklarını belirlemektir. Bu adımda tüm j ler için farklar minimize edilir. Negatif olmama kısıtlamaları (2.2) ve tüm kriter ağırlıklarının (2.3) toplamına ilişkin kısıtlama eklenir ve aşağıdaki matematiksel model çözülür.

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \right\} \quad (2.1)$$

Öyle ki;

$$w_j \geq 0, \text{ her } j \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (2.3)$$

Bu matematiksel model aşağıdaki model olarak ifade edilebilir:

$$\min \zeta \quad (2.4)$$

Öyle ki;

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \zeta, \text{ her } j \quad (2.5)$$

$$\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \zeta, \quad \text{ her } j \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.2 ve 2.3.

Kriterlerin optimal ağırlıkları $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ ve ζ değeri matematiksel model çözülerek elde edilir. ζ değeri önerilen modelin tutarlılığını gösterir. Değer arttıkça karşılaştırmaların daha az güvenilir olduğu ve tutarlılığının zayıf olduğu, değer azaldıkça karşılaştırmaların tutarlılığının ve güvenilirliğinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

2.4.2 Pisagor Bulanık Sayılar

Bulanık mantık teorisi literatüre ilk olarak Zadeh tarafından tanıtılmıştır [112]. Teori, karar verme problemlerinin değerlendirme süreçlerinde öznel yargı ve nitel değerlendirme için uygundur [113]. Mantık, belirsizlikten kaynaklanan bulanıklığın rasyonelliğine odaklanır. Dilsel yaklaşım, bilgidaki belirsizliği çözmek için etkili bir yöntemdir [114]. Bu tür bilgiler bulanık bir küme olarak temsil edilebilir [115]. Dilsel ifadeler, farklı bulanık kümeler kullanılarak tanımlanabilir. Tip-1 bulanık kümeler ilk geliştirilmiş bulanık kümelerdir. Tip-1 bulanık küme, yalnızca $[0,1]$ aralığında değerler alan $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonundan oluşur. Daha sonra Zadeh, Tip-1 bulanık kümeleri genişletmiş ve Tip-2 bulanık kümeleri sunmuştur [116]. Tip-2 bulanık küme, $[0,1]$ aralığında $\mu_{A^l}(x)$ ve $\mu_{A^u}(x)$ ile sırasıyla alt ve üst üyelik

fonksiyonları kullanılarak tanımlanır. Ardından, Atanassov sezgisel (intuitionistic) bulanık kümeleri sunmuştur [117]. Bu kümeler, üye olma ve üye olmama fonksiyonlarıyla tanımlanır. Smarandache, nütrosifik (neutrosophic) bulanık kümeleri sezgisel bulanık kümelerin bir uzantısı olarak literatüre kazandırmıştır [118]. Üye olma, üye olmama ve tereddüt fonksiyonları nütrosifik bulanık kümeleri tanımlamak için kullanılır. Tereddütlü (hesitant) bulanık kümeler, birden çok üyelik derecesini belirtmek için kullanılabilir [119]. Pisagor bulanık kümeleri Yager tarafından sunulmuştur [120]. Pisagor bulanık kümeleri sezgisel bulanık kümelere dayalı olarak geliştirilmiştir [121]. Pisagor bulanık kümeleri aynı zamanda sezgisel bulanık kümelerin bir genellemesidir ve sezgisel bulanık kümelerin ele alamadığı bazı durumlarda belirsizliği ele alır. Sezgisel bulanık kümeler ve Pisagor bulanık kümeleri üye olma ve üye olmama dereceleri ile tanımlanır. Zadeh'in Bulanık Küme teorisi yalnızca $[0,1]$ aralığında tanımlanan üyelik derecesini içerirken, Atanassov sezgisel bulanık kümelerdeki üyelik derecesini tanımlamak için üye olmama derecesini ekler [117]. Hem üyelik derecesi hem de üye olmama derecesi $[0,1]$ aralığında değer alır. Geleneksel bulanık kümelerden farklı olarak, sezgisel bulanık kümelerde üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1 olmak zorunda değildir. Ancak sezgisel bulanık kümelerde üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1'den küçük olmalıdır. Yager, genel üyelik teorisi geliştirmek için Pisagor üyelik sınıfı olarak başka bir üyelik sınıfı sunmuştur. Yager, sezgisel bulanık kümelerin üyelik derecelerinin, üye olmama=1-(üye olma) durumundan daha genel bir olumsuzlama sınıfına dayalı olarak genelleştirilebileceğini göstermiştir. Pisagor üyelik dereceleri sezgisel üyelik derecelerinin alanından daha büyüktür [122]. Sezgisel bulanık kümelerden farklı olarak, üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1'i aşabilir, ancak karelerin toplamı 1'den büyük olamaz. Dolayısıyla, problem daha fazla belirsizlik içeriyorsa, Pisagor bulanık kümeleri belirsizliği ele almak için sezgisel bulanık kümelerden daha güçlüdür [123], [124]. Pisagor bulanık kümeler ile ilgili önemli tanımlar ve temel operasyonlar aşağıdaki gibidir.

Tanım 2.1. Bir Pisagor bulanık küme, Denklem 2.7'deki gibi $\tilde{P}$ olarak gösterilir [125]:

$$\tilde{P} \cong \{x, \tilde{P}(\mu_{\tilde{P}}(x), v_{\tilde{P}}(x)); x \in X\} \quad (2.7)$$

X sabit bir settir. $\mu_{\tilde{P}}(x): X \mapsto [0,1]$ ve $v_{\tilde{P}}(x): X \mapsto [0,1]$ sırasıyla $x \in X$ ögesinin $\tilde{P}$ bulanık kümesine, üye olma derecesini ve üye olmama derecesini tanımlar.

$$0 \leq \mu_{\tilde{P}}(x)^2 + v_{\tilde{P}}(x)^2 \leq 1; x \in X \quad (2.8)$$

Tereddüt derecesi Denklem 2.9 kullanılarak hesaplanır [126]:

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \sqrt{1 - \mu_{\tilde{P}}(x)^2 - v_{\tilde{P}}(x)^2} \quad (2.9)$$

Tanım 2.2. İki pisagor bulanık sayının $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ temel operasyonları aşağıdaki gibidir.

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = \tilde{P} \left(\sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2}, v_{\beta_1} v_{\beta_2} \right) \quad (2.10)$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = \tilde{P} \left(\mu_{\beta_1} \mu_{\beta_2}, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1}^2 v_{\beta_2}^2} \right) \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 \ominus \beta_2 &= \tilde{P} \left(\sqrt{\frac{\mu_{\beta_1}^2 - \mu_{\beta_2}^2}{1 - \mu_{\beta_2}^2}}, \frac{v_{\beta_1}}{v_{\beta_2}} \right), \text{ if } \mu_{\beta_1} \geq \mu_{\beta_2}, v_{\beta_1} \\ &\leq \min \left\{ v_{\beta_2}, \frac{v_{\beta_2} \cdot \pi_{\beta_1}}{\pi_{\beta_2}} \right\} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \tilde{P} \left(\frac{\mu_{\beta_1}}{\mu_{\beta_2}} \sqrt{\frac{v_{\beta_1}^2 - v_{\beta_2}^2}{1 - v_{\beta_2}^2}}, \text{ if } \mu_{\beta_1} \leq \min \left\{ \mu_{\beta_2}, \frac{\mu_{\beta_2} \cdot \pi_{\beta_1}}{\pi_{\beta_2}} \right\}, v_{\beta_1} \geq v_{\beta_2} \right) \quad (2.13)$$

$$\alpha \beta_1 = \tilde{P} \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\beta_1}^2)^\alpha}, (v_{\beta_1})^\alpha \right) \quad (2.14)$$

$$\beta_1^a = \tilde{P} \left((\mu_{\beta_1})^\alpha, \sqrt{1 - (1 - v_{\beta_1}^2)^\alpha} \right) \quad (2.15)$$

Tanım 2.3. Pisagor bulanık sayıları üzerindeki yarı sıralama (quasi-ordering) aşağıdaki gibidir.

$$\beta_1 \geq \beta_2 \text{ yalnızca eğer } \mu_{\beta_1} \geq \mu_{\beta_2} \text{ ve } v_{\beta_1} \leq v_{\beta_2} \text{ ise} \quad (2.16)$$

2.4.3 Aralıklı Pisagor Bulanık Sayılar

Uzmanlar karar sürecinde kriterleri ve alternatifleri değerlendirirken, kesin sayılar vermek yerine belirsizliği daha iyi yansıtmak için aralıklı sayıları kullanabilirler. Bu bölümde, belirsizliği daha iyi ele almak için aralıklı bulanık sayılar uygulanmıştır. Aralık değerli pisagor bulanık sayıları için ön bilgiler şu şekilde verilmiştir [127]–[129]:

Tanım 2.4. X 'te tanımlanan aralık değerli bir pisagor bulanık küme A aşağıdaki gibi tanımlanır [128], [129].

$$A = \{ \langle x[\mu_{A_L}(x), \mu_{A_U}(x)], [v_{A_L}(x), v_{A_U}(x)] \rangle; x \in X \} \quad (2.17)$$

Öyle ki;

$$0 \leq \mu_{A_L}(x), \mu_{A_U}(x), v_{A_L}(x), v_{A_U}(x) \leq 1, \text{ ve } (\mu_{A_L}(x))^2 + (v_{A_L}(x))^2 \leq 1 \quad (2.18)$$

Aralık değerli üyelik değerlerine karşılık gelen Pisagor bulanık kümelerine benzer şekilde, A 'ya göre tereddüt aralığı şu şekilde verilir:

$$\pi_A(x) = \frac{[\pi_{A_L}(x), \pi_{A_U}(x)]}{\left[\sqrt{1 - (\mu_{A_U}(x))^2 - (v_{A_U}(x))^2}, \sqrt{1 - (\mu_{A_L}(x))^2 - (v_{A_L}(x))^2} \right]} \quad (2.19)$$

Eğer her $x \in X$, $\mu_A(x) = \mu_{A_L}(x) = \mu_{A_U}(x)$ and $v_A(x) = v_{A_L}(x) = v_{A_U}(x)$ ise, aralık değerli Pisagor bulanık kümesi, Pisagor bulanık kümelerine dönüşür. Aralık değerli bir Pisagor bulanık kümesi için $A, \langle [\mu_{A_L}(x), \mu_{A_U}(x)], [v_{A_L}(x), v_{A_U}(x)] \rangle$ aralık değerli pisagor bulanık sayı olarak tanımlanır.

Aralık değerli bir pisagor bulanık sayısının skor fonksiyonu $\alpha = \langle [a, b], [c, d] \rangle$ şu şekilde tanımlanır:

$$S(\alpha) = \frac{a^2 + b^2 - c^2 - d^2}{2} \text{ ve } S(\alpha) \in [0, 1] \quad (2.20)$$

Ancak bazen, bu işlevin aralık değerli pisagor bulanık sayıları sıralayamadığı gözlemlenmiştir. Örneğin $\alpha = \langle [0.2, 0.4], [0.2, 0.4] \rangle$ $\beta = \langle [0.5, 0.6], [0.5, 0.6] \rangle$ iki pisagor bulanık sayı olsun, Eşitlik (2.20) kullanılarak $S(\alpha) = S(\beta) = 0$ elde edilir. Böylece aralarında en iyisini bulunamamaktadır. Bunu çözmek için, aralık değerli bir pisagor bulanık sayı α için doğruluk fonksiyonu olarak adlandırılan ve aşağıdaki gibi tanımlanan başka bir işlev vardır [128]:

$$H(\alpha) = \frac{a^2+b^2+c^2+d^2}{2} \text{ ve } H(\alpha) \in [0,1] \quad (2.21)$$

Şimdi, bu iki fonksiyonu temel alarak, herhangi iki aralık değerli Pisagor bulanık sayı α ve β için bir karşılaştırma yöntemi aşağıdaki gibi tanımlanır:

Tanım 2.5. α ve β aralık değerli pisagor bulanık sayı olsun.

$$\text{Eğer } S(\alpha) < S(\beta) \text{ ise; } \alpha < \beta \quad (2.22)$$

$$\text{Eğer } S(\alpha) > S(\beta) \text{ ise; } \alpha > \beta \quad (2.23)$$

$$\text{Eğer } S(\alpha) = S(\beta) \quad (2.24)$$

$$\text{Eğer } H(\alpha) < H(\beta) \text{ ise; } \alpha < \beta \quad (2.25)$$

$$\text{Eğer } H(\alpha) > H(\beta) \text{ ise; } \alpha > \beta \quad (2.26)$$

$$\text{Eğer } H(\alpha) = H(\beta) \text{ ise; } \alpha \sim \beta \quad (2.27)$$

Pisagor bulanık kümeleri birçok gerçek hayat problemine uygulanmaktadır [120]. Wang ve Li, Bonferroni ortalama operatörünü, Pisagor bulanık sayıları ile genişletmişler ve yeni bir ÇKVV metodolojisi sunmuşlardır [130]. Li vd. pisagor bulanık sayılarının üye olma ve üye olmama dereceleri arasındaki etkileşimi ele almak için bir toplama operatörü önermiştir [131]. Wang ve Li, sürekli aralık değerli pisagor bulanık sıralı ağırlıklı ikinci dereceden ortalama alma operatörü ve uzantıları gibi aralık değerli pisagor bulanık bilgileriyle baş edebilmek için yeni operatörler geliştirmiştir [132]. Gül ve Yücesan, hastane hizmet kalitesini PB-AHP ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ile değerlendirmişlerdir [133]. Gül vd. maden endüstrisi için Pisagor bulanık VIKOR

temelli bir risk değerlendirme modeli geliştirmiştir [134]. Özkan vd. PB-AHP ile blok zinciri riskini değerlendirmiştir [135]. Karaşan vd. PB-AHP aracılığıyla otonom araç sürüş sistemlerinin risklerini analiz etmiştir [136]. Yıldız vd. banka ATMleri (Automated Teller Machine) için en iyi konumu PB-AHP entegreli Pisagor bulanık TOPSIS metodolojisi ile belirlemişlerdir [137].

2.4.4 Pisagor Bulanık AHP

AHP, ÇKKV problemlerini çözmek için kullanılan, kriterler ve alternatiflerin ikili karşılaştırmasına dayanan bir yöntemdir [137]. AHP uzmanlardan görüş alır [138]. Yöntem uzmanlardan bilgi alsa bile bazen insanların düşünme stilini tam olarak yansıtmamaktadır [139]. Bu durumlarda bulanık mantık kullanılabilir. AHP'de net değerlerin kullanılmasından dolayı kimi zaman belirsizlik oluşur. Bu belirsizliği ortadan kaldırmak için AHP yöntemi ile birlikte Pisagor bulanık kümeleri kullanılabilir. PB-AHP metodolojisinin adımları aşağıda açıklanmıştır.

Adım 1. Dilsel değişkenlere dayalı ikili karşılaştırma matrisi $A = (a_{ij})_{m \times m}$ oluşturulur. Dilsel değişkenler bulanık sayılara çevrilir.

Adım 2. İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığını incelenir. Bir matrisin tutarlılık oranını (CR) bulmak için ilk olarak Saaty'nin önerdiği net değerler kullanarak matris tutarlılık indeksi (CI) bulunur [140];

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (2.28)$$

Ardından CR hesaplanır;

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.29)$$

λ_{max} A karar matrisinin en büyük veya temel özdeğeridir. Rastgele indeks (RI) matris büyüklüğüne (m) bağlıdır ve Saaty tarafından önerilen tablo kullanılarak hesaplanır. CR 0,1'e eşit veya daha küçükse, matris kabul edilebilir olarak belirlenir [140].

Adım 3. Farklar matrisi $D = (d_{ij})_{m \times m}$ oluşturulur.

$$d_{ij_L} = \mu_{ij_L}^2 - v_{ij_L}^2 \quad (2.30)$$

$$d_{ij_U} = \mu_{ij_U}^2 - v_{ij_U}^2 \quad (2.31)$$

Adım 4. Çarpımsal matris $S = (s_{ij})_{m \times m}$ hesaplanır.

$$s_{ij_L} = \sqrt{1000^{d_{ij_L}}} \quad (2.32)$$

$$s_{ij_U} = \sqrt{1000^{d_{ij_U}}} \quad (2.33)$$

Adım 5. Tereddüt dereceleri $H = (h_{ij})_{m \times m}$ belirlenir.

$$h_{ij} = 1 - (\mu_{ij_U}^2 - \mu_{ij_L}^2) - (v_{ij_U}^2 - v_{ij_L}^2) \quad (2.34)$$

Adım 6. Normalize edilmemiş ağırlıklar $T = (t_{ij})_{m \times m}$ hesaplanır.

$$t_{ij} = \left(\frac{s_{ij_L} + s_{ij_U}}{2} \right) h_{ij} \quad (2.35)$$

Adım 7. Kriter ağırlıkları w_i kullanılarak belirlenir.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{ij}} \quad (2.36)$$

2.5 Petrol Tedarik Zinciri için Bir Uygulama

Petrol ürünleri, günümüz dünyasında enerji ihtiyacının karşılanmasında vazgeçilmez bir kaynaktır. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte petrol ürünlerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Şu anda dünyanın kullandığı enerjinin üçte birinden fazlası petrole dayanmaktadır [141]. Petrol sektörünün tedarik zinciri yönetimi faaliyetlerinin temel öncelikleri, petrol ve türevlerinin yerel veya uluslararası kaynaklardan tedarik edilmesi, dağıtılması, depolama ve uç noktalara ulaştırılmasıdır. Bu faaliyetler en uygun maliyetlerle, zamanında, uluslararası standartlara ve yasal düzenlemelere uygun olarak, kalite güvencesine

bağlı kalarak, çevreye zarar vermeden ve teknik güvenlik kuralları çerçevesinde gerçekleştirilmelidir.

Bu çalışmada, küreselleşen dünyada tedarik zincirinin ihtiyaçlarını içeren yeni SCOR 4.0 modeli önerilmiştir. Önerilen modelde, metriklerin önem seviyelerinin belirlenmesi tedarik zinciri yöneticileri için önemlidir. Yöneticiler, tedarik zinciri hakkında karar verirken her bir metriğin önemini göz önünde bulundurmalıdır. Bu nedenle, önerilen modelde her seviye metriği için önem seviyeleri belirlenmiştir. Önerilen modeli doğrulamak için petrol tedarik zinciri için bir uygulama yapılmıştır. Şirketlerin SCOR metodolojisi kullanarak tedarikçi seçimi problemini ÇKKV aracılığıyla değerlendirme yöntemleri konusunda sınırlı literatür vardır [142].

2.5.1 Seviye-1 Metriklerin Ağırlıklarının BWM ile Belirlenmesi

Öncelikle, tedarik zincirlerinin performans değerlendirmesine ilişkin görüş almak için üç farklı uzman grubu oluşturulmuştur: akademisyenler, yöneticiler ve üçüncü parti lojistik uzmanları. Birinci grupta (UG-1), üç farklı üniversitede çalışan akademisyenlerin görüşleri alınmıştır. İkinci grup (UG-2) hem tedarikçilerden hem de perakendecilerden yöneticileri içerir. Son grup (UG-3), ürün tedarikinde ve dağıtımında aktif rol oynayan üçüncü parti lojistik şirketlerinin yöneticilerinin görüşlerini entegre etmek için oluşturulmuştur. Tüm uzmanlar tedarik zinciri operasyonları için çalışır.

BWM ilk adımında, her uzman grubundan görüş alınarak Şekil 2.2'de verilen en iyi ve en kötü Seviye-1 metrikleri seçmeleri istenmiştir. En iyi ve en kötü metrikler belirlendikten sonra, ikili karşılaştırmalar yapılarak A_B ve A_w^T oluşturulur. Bu değerlendirmeler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Seviye-1 metriklerin değerlendirilmesi

Uzman Grubu	En İyi	En Kötü	A_B	A_w^T
UG 1	Güvenilirlik	Esneklik	(1,6,4,2,4,5,3)	(6,1,3,5,3,2,4)
UG 2	Bilgi Sistemleri	Varlıklar	(2,3,3,4,5,3,1)	(4,3,3,2,1,3,5)
UG 3	Bilgi Sistemleri	Esneklik	(2,4,3,2,3,3,1)	(3,1,2,3,2,2,3)

Adım 5'te verilen matematiksel model, her uzman grubu ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen karşılaştırmalara uygulanmış ve Tablo 2.1'deki gibi Seviye-1 metriklerinin ağırlıkları ile birlikte ζ değeri elde edilmiştir. Daha sonra tüm uzman

gruplarının ağırlıkları birleştirilmiş ve Seviye-1 metrik ağırlıkları Tablo 2.2'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 2.2 Seviye-1 metriklerin ağırlıkları

Metrik	UG 1	UG 2	UG 3	Ağırlık
Güvenilirlik	0,342	0,180	0,164	0,228
Esneklik	0,047	0,120	0,073	0,080
Duyarlılık	0,100	0,120	0,109	0,110
Maliyet	0,199	0,090	0,164	0,151
Varlıklar	0,100	0,054	0,109	0,088
Dijital Teknoloji	0,080	0,120	0,109	0,103
Bilgi Sistemleri	0,133	0,316	0,273	0,241
ζ	0,057	0,044	0,055	-

Tablo 2.2'den görülebileceği gibi, ζ değeri tüm uzman grupları için 0,1'den küçük olarak hesaplanmıştır. Buna göre uzman grupların karşılaştırmalarının tutarlı olduğunu söylemek mümkündür.

Yedi Seviye-1 metriği olan “Güvenilirlik”, “Esneklik”, “Duyarlılık”, “Maliyet”, “Varlıklar”, “Dijital Teknoloji” ve “Bilgi Sistemleri”nin önem ağırlıkları sırasıyla 0,228, 0,080, 0,110, 0,151, 0,088, 0,103 ve 0,241 olarak hesaplanmıştır. Petrol tedarik zinciri için en önemli Seviye-1 metriği, 0,241 ağırlık önemi ile “Bilgi Sistemleri” olarak belirtilmiştir. “Güvenilirlik” ve “Maliyet” de diğer önemli Seviye-1 metrikleridir. Esneklik, bu çalışmadaki sonuçlara göre 0,080 ile petrol tedarik zinciri için en az öneme sahip Seviye-1 metriğidir.

2.5.2 Seviye-2 ve Seviye-3 Metriklerin Ağırlıklarının PB-AHP Yöntemi ile Belirlenmesi

Seviye-1 metriklerinin ağırlıkları belirlendikten sonra aynı uzman gruplarına tekrar danışılmış, ve alt seviye metriklerin ağırlıklandırılmasında görüşlerini belirtmeleri istenmiştir. Uzman gruplarından, önce tüm Seviye-2 metriklerini değerlendirmeleri istenmiştir. Bu amaçla, uzmanlar Tablo 2.3'teki dilsel değişkenleri kullanarak görüşlerini ifade etmiş ve böylece Seviye-2 metrikleri için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur.

Tablo 2.3 Aralık değerli PB-AHP değerlendirmeleri için ölçek

Dilsel Değişken	Aralıklı Pisagor Bulanık Sayılar			
	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Kesinlikle Düşük Önemli (KD)	0,0	0,0	0,9	1,0
Çok Düşük Önemli (ÇD)	0,1	0,2	0,8	0,9
Düşük Önemli (D)	0,2	0,35	0,65	0,8
Ortalamanın Altında Önemli (OA)	0,35	0,45	0,55	0,65
Eşit (E)	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965
Ortalama Önemli (O)	0,45	0,55	0,45	0,55
Ortalamanın Üstünde Önemli (OÜ)	0,55	0,65	0,35	0,45
Yüksek Önemli (Y)	0,65	0,8	0,2	0,35
Çok Yüksek Önemli (ÇY)	0,8	0,9	0,1	0,2
Kesinlikle Yüksek Önemli (KY)	0,9	1,0	0,0	0,0

Örneğin, UG-1 tarafından “Güvenilirlik” metriği için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 2.4'te gösterildiği gibidir.

Tablo 2.4 Güvenilirlik için UG-1 ikili karşılaştırma matrisi

Güvenilirlik	Miktar	Doğruluk	Kalite
Miktar	E	OA	EE
Doğruluk	OÜ	E	OÜ
Kalite	EE	OA	E

Seviye-2 metrikleri değerlendirmelerinden sonra, ilgili Seviye-2 metriklerinin alt Seviye-3 metrikleri için ikili karşılaştırmaları yapılandırılır. Örneğin Tablo 2.5, “Sistem” Seviye-2 metriğinin, Seviye-3 metrikleri için UG-2 tarafından yapılan değerlendirmelere göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisini göstermektedir.

Tablo 2.5 Sistem için UG-2'nin ikili karşılaştırma matrisi

Sistem	Sistem Yapısı	Tutarlılık	Uygulanabilirlik	Şeffaflık
Sistem Yapısı	E	OA	OÜ	O
Tutarlılık	OÜ	E	OA	OÜ
Uygulanabilirlik	OA	OÜ	E	Y
Şeffaflık	E	OA	D	E

Tablo 2.6, “Taşıma” Seviye-2 metriğinin alt metrikleri için UG-3 tarafından yapılan değerlendirmelere göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisini göstermektedir.

Tablo 2.6 Taşıma için UG-3'ün ikili karşılaştırma matrisi

Taşıma	Nakliye	Malzeme	Yasal Uygunluk
Nakliye	E	Y	Y
Malzeme Kondu	D	E	O
Yasal Uygunluk	D	E	E

Uzman grupların değerlendirmeleriyle tüm ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra PB-AHP adımları uygulanmış ve ağırlıklar hesaplanmıştır. Tüm matrislerinin tutarlı olduğu belirlendikten sonra, metriklerin ve alt metriklerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Alt metrik ağırlıkları belirlenirken dahil olduğu metriklerin ağırlıkları da dikkate alınmıştır. Tablo 2.7 her uzman grubu dikkate alınarak hesaplanan metrik ve alt metrik ağırlıklarını göstermektedir.

Tablo 2.7 Alt metriklerin ağırlıkları

Seviye-1	Seviye-2	Uzman Grubu			Seviye-3	Uzman Grubu		
Metrik	Metrik	1	2	3	Metrik	1	2	3
Güvenilirlik	Miktar	0,26	0,14	0,26	Maksimum Teslimat Miktarı	0,10	0,20	0,26
					Maksimum Teslimat Süresi	0,45	0,40	0,48
					Ortalama Teslimat Süresi	0,45	0,40	0,26
	Doğruluk	0,48	0,28	0,26	Teslimat Performansı	0,28	0,28	0,26
					Belge Doğruluğu	0,07	0,14	0,48
					Sipariş Karşılama	0,66	0,58	0,26
	Kalite	0,26	0,58	0,48	Hasarsız Siparişler	0,65	0,28	0,48
					Hatasız Kurulum	0,03	0,14	0,25
					Karşılama Oranı	0,32	0,58	0,27
	Esneklik	Üretim	0,40	0,28	0,40	Plan Esnekliği	0,08	0,48
Üretim Esnekliği						0,04	0,25	0,40
Tedarik Zinciri Uyarlanabilirliği						0,88	0,27	0,40
Teslimat		0,20	0,58	0,20	Yanıt Süresi	0,29	0,20	0,29
					Arzdaki Miktar Değişimi	0,29	0,41	0,29
					Teslimattaki Miktar Değişimi	0,42	0,39	0,42
Risk		0,40	0,14	0,40	Üretim	0,28	0,14	0,45
					İade	0,14	0,28	0,10
					Teslimat	0,58	0,58	0,45
Duyarlılık		Çevrim Süresi	0,20	0,35	0,65	Perakende Çevrim Süresi	0,58	0,28
	Kaynak Çevrim Süresi					0,14	0,14	0,20
	Teslim Çevrim Süresi					0,28	0,58	0,40
	Sağlanan Miktar	0,80	0,65	0,35	Türe Göre Tedarik	0,66	0,28	0,28
					Bölgeye Göre Tedarik	0,17	0,14	0,07
					Teslim Süresi	0,17	0,58	0,65
Maliyet	Üretim	0,65	0,26	0,58	Malzeme	0,91	0,28	0,88
					Planlama	0,03	0,58	0,08
					Yönetim	0,06	0,14	0,04
	Taşıma	0,33	0,48	0,28	Nakliye	0,50	0,58	0,67
					Malzeme Kondu	0,47	0,28	0,16
					Yasal Uygunluk	0,02	0,14	0,17
	Bakım	0,02	0,26	0,14	Hizmet	0,05	0,58	0,45
					Garanti	0,05	0,28	0,10
					İade	0,91	0,14	0,45

Tablo 2.7. Seviye 2 ve Seviye 3 Metriklerin Ağırlıkları (devamı)

Seviye-1 Metrik	Seviye-2 Metrik	Uzman Grubu			Seviye-3 Metrik	Uzman Grubu		
		1	2	3		1	2	3
Varlıklar	Çalışma Sermayesi	0,30	0,28	0,54	Borç Hesapları	0,04	0,15	0,14
					Alacak Hesapları	0,08	0,33	0,28
					Envanter	0,88	0,52	0,58
	Nakitten Nakite Döngüsü	0,67	0,58	0,30	Ödenecek Günler	0,04	0,14	0,14
					Stok Temin Günü	0,88	0,58	0,58
					Satış Günleri	0,08	0,28	0,28
	Duran Varlıklar	0,03	0,14	0,15	Varlık Devirleri	0,80	0,65	0,91
					Tedarik Zinciri Sabit Varlıklar	0,20	0,35	0,09
Dijital Teknoloji	Yetenek	0,15	0,58	0,14	Dinamizm	0,39	0,06	0,33
					Kabiliyet	0,04	0,25	0,33
					İnovasyon	0,17	0,12	0,17
					İş Birliği	0,40	0,57	0,17
	Yöntemler	0,08	0,14	0,28	Dijital Haritalama	0,80	0,26	0,58
					Makine Öğrenmesi	0,04	0,48	0,28
					Diğer Yöntemler	0,16	0,26	0,14
	Sistem	0,77	0,28	0,58	Sistem Yapısı	0,13	0,22	0,17
					Tutarlılık	0,51	0,26	0,40
					Uygulanabilirlik	0,24	0,38	0,40
					Şeffaflık	0,12	0,14	0,04
Bilgi Sistemleri	Entegrasyon	0,80	0,35	0,65	Entegre Veri Tabanı	0,11	0,8	0,26
					Entegre Arayüzler	0,03	0,58	0,27
					İş Ortağı	0,87	0,14	0,48
	İçerik	0,20	0,65	0,35	Tutarlı Veriler	0,77	0,40	0,20
					Anlaşılabilirlik	0,15	0,40	0,39
					Kapsamlılık	0,08	0,20	0,41

Üç farklı uzman grubunun BWM ile elde edilen Seviye-1 ve PB-AHP ile edilen Seviye-2 ve Seviye-3 metrik ağırlıkları dikkate alınır. İlk olarak birleştirilmiş metrik ağırlıklarını elde etmek için, uzman grupları özelinde belirlenen ağırlıkların her bir seviye için ortalaması alınır. Birleştirilmiş ağırlıkların belirlenmesinin ardından, Seviye-3 metrik ağırlığı Seviye-1 ve Seviye-2 ağırlıkları ile çarpılarak elde edilir. Örneğin “Borç Hesapları” Seviye-3 metriğini ağırlığı hesaplanırken, “Çalışma Sermayesi” Seviye-2 metriği ve “Varlıklar” Seviye-1 metriğinin ağırlığı dikkate alınır ve her bir ağırlık çarpılarak nihai ağırlık belirlenir. Her bir Seviye-3 metriğinin nihai ağırlığı Tablo 2.8'deki verilmiştir.

Tablo 2.8 Seviye-3 metriklerin birleştirilmiş ağırlıkları

Seviye-3 Metrik	Ağırlık	Seviye-3 Metrik	Ağırlık
Maksimum Teslimat Miktarı	0,009	Yasal Uygunluk	0,006
Maksimum Teslimat Süresi	0,023	Hizmet	0,011
Ortalama Teslimat Süresi	0,019	Garanti	0,004
Teslimat Performansı	0,021	İade	0,006
Belge Doğruluğu	0,015	Borç Hesapları	0,004
Sipariş Karşılama	0,041	Alacak Hesapları	0,008
Hasarsız Siparişler	0,043	Envanter	0,021
Hatasız Kurulum	0,016	Ödenecek Günler	0,005
Karşılama Oranı	0,041	Stok Temin Günü	0,032
Plan Esnekliği	0,007	Satış Günleri	0,009
Üretim Esnekliği	0,007	Varlık Devirleri	0,008
Tedarik Zinciri Uyarlanabilirliği	0,016	Tedarik Zinciri Sabit Varlıklar	0,002
Yanıt Süresi	0,006	Dinamizm	0,005
Arzdaki Miktar Değişimi	0,009	Kabiliyet	0,007
Teslimattaki Miktar Değişimi	0,011	İnovasyon	0,004
Üretim	0,008	İş Birliği	0,014
İade	0,004	Dijital Haritalama	0,009
Teslimat	0,013	Makine Öğrenmesi	0,005
Perakende Çevrim Süresi	0,017	Diğer Yöntemler	0,003
Kaynak Çevrim Süresi	0,008	Sistem Yapısı	0,009
Teslim Çevrim Süresi	0,019	Tutarlılık	0,024
Türe Göre Tedarik	0,03	Uygulanabilirlik	0,018
Bölgeye Göre Tedarik	0,009	Şeffaflık	0,005
Teslim Süresi	0,027	Entegre Veri Tabanı	0,028
Malzeme	0,059	Entegre Arayüzler	0,032
Planlama	0,011	İş Ortağı Entegrasyonu	0,085
Yönetim	0,005	Tutarlı Veriler	0,039
Nakliye	0,032	Anlaşılabilirlik	0,034
Malzeme Kondu	0,017	Kapsamlılık	0,023

Seviye-3 metriklerine odaklanılırsa, “İş Ortağı Entegrasyonu”, elli sekiz farklı Seviye-3 metriği arasında en büyük önem oranı 0,085 ile en önemli Seviye 3 metriğidir. “İş Ortağı Entegrasyonu”nun tüm tedarik zinciri performans değerlendirmesi üzerinde diğer Seviye-3 metriklerinden daha fazla etkiye sahip olduğu söylenebilir. Daha sonra 0,059 önem seviyesi ile “Malzeme Maliyeti” dikkate alınmalıdır. Ayrıca, 0,004'ten daha düşük önem düzeyleriyle “Tedarik Zinciri Sabit Varlıkları”, Dijital Teknolojinin Yöntemleri için “Diğer Yöntemler”, “İade Riski” ve “Ödenecek Günler” en az önemli Seviye-3 metrikleri olarak belirlenmiştir.

“Güvenilirlik” Seviye-1 metriği özelinde, “Hasarsız Siparişler”, “Karşılama Oranı” ve “Sipariş Karşılama”nın diğer Seviye-3 metriklerinden kesinlikle daha önemli olduğu

görülmektedir. “Esneklik” Seviye-1 metriğine bakıldığında, Seviye-3 metriklerinin önem düzeyleri arasında büyük bir fark olmadığı görülmektedir. “Duyarlılık” Seviye-1 metriği için, “Türe Göre Tedarik” en önemli Seviye-3 metriği ve “Kaynak Çevrim Süresi” en az önemli metriktir. “Üretim Maliyeti” ve “Nakliye Maliyeti”, “Maliyet” Seviye-1 metriği için en önemli Seviye-3 metrikleridir.

Yeni bir Seviye-1 metrik olan “Dijital Teknoloji”ye odaklanılırsa Seviye-2 metrikleri için “Sistem”, “Yetenek” ve “Yöntemler”den neredeyse iki kat daha önemlidir. “Dijital Teknoloji”, on bir Seviye-3 metriği arasında ortalamanın üzerinde öneme sahip üç Seviye-3 metriğine sahiptir. “Tutarlılık”, “Uygulanabilirlik” ve “İşbirliği” ortalamanın üzerinde bir öneme sahiptir. Diğer Seviye-3 metrikleri 0,01'den daha düşük önem düzeyine sahiptir.

“Bilgi Sistemi” en önemli Seviye-1 metriğidir. “Entegrasyon” ve “İçerik” olmak üzere iki farklı Seviye-2 metriği vardır. “Entegrasyon”, tüm sistem için tüm Seviye-2 metrikleri arasında en önemli Seviye-2 metriğidir. “İş Ortağı Entegrasyonu”, “Entegre Veri Tabanı” ve “Entegre Arayüzler” metriklerinden en az üç kat daha önemlidir. “İçerik” metriğinin Seviye-3 metrikleri “Tutarlı Veriler”, “Anlaşılabilirlik” ve “Kapsamlılık” sırasıyla 0,38, 0,34 ve 0,23 önem seviyelerine sahiptir.

2.6 Yapılan Uygulamanın Sonuçları

Günümüz dünyasında tedarik zincirlerinin önemi büyüktür. Bu bağlamda hem ekonomik hem de zaman açısından tedarik zincirlerinin verimli yönetilmesi gereklidir. Bu nedenle tedarik zincirlerinin performansı dikkatlice değerlendirilmelidir. SCOR modeli, en yaygın kullanılan tedarik zinciri performans ölçüm metodolojilerinden biridir. Gelişen teknoloji ile birlikte tedarik zinciri performans değerlendirmesine yeni performans ölçüm metriklerinin eklenmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle SCOR modeli yeni ihtiyaçlarla güncellenmelidir. Tezin bu bölümünde, günümüz dünyasında tedarik zincirlerinin performans değerlendirmesi dikkate alınmaktadır. Performans değerlendirme modeli, tedarik zincirlerini değerlendirmek için üç seviyeli hiyerarşik bir yapı olarak yapılandırılmıştır. Ardından, yeni metriklerle SCOR 4.0 modeli önerilmiştir. Daha sonra, her ölçüm seviyesinin önem seviyelerini belirlemek için melez bir BWM

entegreli PB-AHP metodolojisi sunulmuştur. Problemde günümüz dünyası için en çok kullanılan ürünlerden biri olan petrol tedarik zinciri ele alınmakta ve gerçek bir uygulama sunulmaktadır.

Bölüm sonuçları neticesinde petrol tedarik zinciri değerlendirilmiş ve en önemli metrikler belirlenmiştir. En önemli Seviye-1 metrik olarak “Bilgi Sistemleri” olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda “Bilgi Sistemleri”nin tedarik zinciri içerisinde daha aktif olarak kullanılması bir gerekliliktir. Bu da sorunları daha sistematik olarak değerlendirme ve çözümleme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

AKARYAKIT İSTASYONU YER SEÇİMİ PROBLEMİ İÇİN YENİ BİR ÇKKV METODOLOJİSİ

3.1 Giriş

Araştırmacılar, teorisyenler ve uygulayıcılar tesis yeri seçimi problemine ve uzantılarına çalışmalarında son yıllarda sıkça yer vermişlerdir [143]–[148]. Tesisler, çeşitli kısıtlamalar göz önünde bulundurularak hedefler dahilinde maliyeti en aza indirmek veya karı maksimize etmek için en uygun yerlerde konumlandırılmalıdır [149]–[154]. Araştırmacılar, optimizasyon, ÇKKV gibi farklı karar destek modelleri geliştirerek tesis yeri seçimi problemine çözüm yolları geliştirmişlerdir. Akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi, tesis yeri seçimi problemi uygulama alanlarından biridir. Müşteri talebinin karşılanması, petrol pazarı için çok önemlidir ve bundan dolayı akaryakıt istasyonu yer seçimi önemli bir rol oynamaktadır.

Akaryakıt istasyonu yatırımcısının vereceği en önemli kararlardan biri tesisin yerinin belirlenmesidir [155]. Çünkü seçilen lokasyonun avantajları ve dezavantajları istasyonun satış hacmini belirleyen önemli faktörlerdir [156]. Bu, yatırımcının rekabet etme kabiliyetini belirler. Yer seçimi konusunda doğru kararı vermemek, geri dönüşü olmayan kötü sonuçlara yol açabilir [157]. Kaybedilen maliyeti telafi etmek çok zordur. Öte yandan akaryakıt istasyonlarının imar planında yer seçimi ve ruhsatlandırma aşamaları yerel yönetimlerin en sık karşılaştığı sorunlardır. Türkiye'de akaryakıt istasyonu yatırımcılarını zor durumda bırakan en önemli faktörlerden biri, inşaat planlarının birçok kritere bağlı olmasıdır. İstanbul gibi büyükşehirlerde akaryakıt istasyonu için gerekli şartların sağlanması oldukça zordur. Bunlara ekstra olarak, kalabalık şehirlerde ulaşım ve istasyondaki olası yangınla mücadele oldukça zordur. Ayrıca akaryakıt istasyonlarının çevreye adaptasyonu altyapı sistemleri için önemlidir. Akaryakıt istasyonlarının yerleri

belirlenirken doğal afetler de kanunen göz önünde bulundurulmalıdır. Yatırımcının karar vermesi gereken bir diğer konu ise sektördeki yüksek vergi oranları ve yapılacak yatırımın büyüklüğü dikkate alınarak satış hacminin en yüksek olabileceği akaryakıt istasyonu için en iyi bölgeyi seçmektir. Yatırımcı tesisin yerini belirlerken birden fazla kriteri göz önünde bulundurarak karar vermelidir [158]. ÇKKV yöntemleri bu tür durumlarda en çok kullanılan yöntemlerdir [159]. Yer seçimi problemi ve uzantıları ile ilgili çalışmaların sayısı artmaktadır. Ancak akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Upchurch vd. araç sayısı ile ilgili çeşitli sınırlamaları olan bir akaryakıt istasyonu için kapasiteli bir konum modeli sunmuşlardır [160]. Lim ve Kuby hidrojen, etanol, elektrik, biyodizel gibi alternatif yakıtlar satan akaryakıt istasyonu için en iyi konumu belirlemek amacıyla çoklu algoritmalar geliştirmiştir [161]. MirHassani ve Ebrazi akaryakıt istasyonu yer seçimi problemini yeniden formüle etmiştir. Problemi çözmek için, kapsayan küme problemin bir versiyonu olarak bir karışık tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir [162]. Montoya vd. yeni bir sezgisel yöntem kullanarak akaryakıt istasyonlarının konumlarını belirlemiştir. Problemi, yeşil araç rotalama problemi olarak formüle etmiştir [163]. Khahro ve Memon akaryakıt istasyonu için en uygun araziye Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni kullanarak belirlemişlerdir [164]. Risk veya maliyeti en aza indiren optimizasyon teknikleri ile akaryakıt istasyonu için en iyi lokasyonun belirlenmesi literatürde sıkça çalışılan bir konudur. Ancak, akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi için kriterlerin belirlenmesi ve kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak problem, bir ÇKKV problemi olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda bu çalışma, süreçteki tüm kriterlerin kapsamlı bir şekilde tanımlandığı ve değerlendirildiği en detaylı çalışma olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca bulanık bir ortamda bu problemi çözen ilk çalışmadır.

Bu bölümde, akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi için hiyerarşik yapıda ana ve alt kriterleri tanımlanmıştır. Birden fazla uzmanın görüşleri alınmış ve önerilen yeni Küresel Bulanık-AHP (KB-AHP) entegre küresel bulanık WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) metodolojisi kullanılarak uzmanların

görüşleri analiz edilmiştir. Dikkate alınan kriterlerin önem ağırlıkları ve belirtilen aday konumlarının değerlendirilmesi, önerilen metodoloji ile incelenmektedir. Önerilen metodolojinin uygulanabilirliğini göstermek için İstanbul için gerçek bir vaka çalışması yapılmıştır.

ÇKKV problemleri, daha iyi bir karar verme sürecini gerçekleştirmek için birden fazla kriterden oluşur. Dilsel olarak ifade edilen bu kriterler, farklı bulanık kümeler kullanılarak tanımlanabilir. Tip-2 bulanık kümeler [116], sezgisel bulanık kümeler [117], tereddütlü bulanık kümeler [119], pisagor bulanık kümeler [120], ve nütrosifik bulanık kümeler [118] dilsel ifadeleri tanımlamak için en çok kullanılan bulanık kümelerdendir. ÇKKV problemlerinde, dilsel ifadelerdeki belirsizliği ele almak için küresel bulanık kümeler kullanılabilir. Küresel bulanık kümeler, bulanık bir ortamda karar vermeye yeni bir bakış açıdır [165]. Karar vericinin belirsizlik düzeyi, bu kümelerde üye olma düzeyinden ve üye olmama düzeyinden bağımsız olarak tanımlanır. Küresel bulanık kümelerde karar vericiler, diğer bulanık kümeleri genelleştirmek için üyelik işlevini küresel bir yüzey üzerinde tanımlar. Böylece bu üyelik fonksiyonunun parametrelerini daha geniş bir alana atarlar [165]. Küresel bulanık kümeler, pisagor bulanık kümeler ile nütrosifik bulanık kümelerin bir kombinasyonudur.

Karar verme problemlerinde insan yargılarına dayanan AHP yönteminin kullanımı literatürde son zamanlarda oldukça artmıştır. AHP yönteminin artmasıyla birlikte sübjektif yargılara dayanan bu yöntemin bulanık mantık ile entegrasyonunu içeren farklı yöntemler geliştirilerek farklı bulanık AHP uzantıları geliştirilmiştir. Bu bağlamda bulanık AHP'nin farklı versiyonlarının diğer karar verme yöntemleri ile entegre edilerek uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Hemen hemen tüm karar verme yöntemleri ile birlikte kullanılan bulanık AHP yöntemleri karar vericilerin kriterleri ağırlıklandırmasında en sık kullandığı yöntemlerdendir. Tablo 3.1, farklı karar verme yöntemleri ile bulanık AHP entegrasyonunun farklı versiyonları üzerine bazı dikkat çekici çalışmaları göstermektedir.

Tablo 3.1 Bulanık AHP yöntemini diğer ÇKKV yöntemleri ile birlikte kullanan bazı çalışmalar

Yıl	Yazar	Bulanıklık	Yöntem	Uygulama Alanı
2012	Kutlu & Ekmekçioğlu	Geleneksel	TOPSIS	Hata Türü Etkileri Analizi [166]
2009	Gumus	Geleneksel	TOPSIS	Ulaştırma Firmalarının Değerlendirilmesi [167]
2015	Turskis vd.	Geleneksel	WASPAS	İnşaat Alanı Yer Seçimi [168]
2017	Panchal vd.	Geleneksel	CODAS	Gübre Bakımı [169]
2014	Cevik Onar vd.	Tip-2	TOPSIS	Strateji Belirleme [170]
2016	Gul vd.	Tip-2	ELECTRE	Performans Değerlendirilmesi [171]
2016	Celik & Taskin Gumus	Tip-2	PROMETHEE	Tepki Yeteneği Değerlendirilmesi [172]
2019	Yilmaz vd.	Tip-2	VZA	Performans Değerlendirilmesi [173]
2017	Otay vd.	Sezgisel	VZA	Performans Değerlendirilmesi [174]
2016	Büyüközkan vd.	Sezgisel	TOPSIS	Ürün Geliştirmede Partner Seçimi [175]
2018	Liu & Zhang	Sezgisel	Entropi	Hotel Seçimi [176]
2018	Büyüközkan & Göçer	Sezgisel	ARAS	Tedarikçi Seçimi [177]
2017	Wu vd.	Sezgisel	VIKOR	Tesis Yeri Seçimi [178]
2015	Razieh & Ahmad	Sezgisel	DEMATEL	Yönetici Seçimi [179]
2019	Acar vd.	Tereddütü	TOPSIS	Performans Değerlendirilmesi [180]
2020	Çolak vd.	Tereddütü	TOPSIS	Blok Zinciri Teknoloji Değerlendirilmesi [181]
2020	Yildiz vd.	Tereddütü	SAW	Personel Tecrübesi Değerlendirilmesi [182]
2020	Samanlioglu & Ayağ	Tereddütü	VIKOR	Proje Değerlendirilmesi [183]
2020	Sarucan & Söğüt	Tereddütü	COPRAS	İş Değerlendirilmesi [184]
2018	Gul	Pisagor	VIKOR	İş Güvenliğinde Risk Atama [185]
2020	Yucesan & Gul	Pisagor	TOPSIS	Servis Kalitesi Değerlendirilmesi
2020	Song vd.	Pisagor	TODIM	Kredi Risk Ataması [186]
2020	Yildiz vd.	Pisagor	TOPSIS	ATM Yer Seçimi [137]
2019	Kahraman vd.	Nötrosofik	VZA	Performans Değerlendirilmesi [187]
2019	Nabeeh vd.	Nötrosofik	TOPSIS	Personel Seçimi [188]
2020	Junaid vd.	Nötrosofik	TOPSIS	Tedarik Zinciri Risk Ataması [189]

3.2 Önerilen Yer Seçim Metodolojisi

ÇKKV problemlerini çözmek için kullanılan etkili bir yöntem olan WASPAS yönteminin orijinal fikirleri 2012'de yayınlanmıştır [190]. Kısaca, ÇKKV teknikleri olan ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpma yöntemlerinin bir kombinasyonudur.

Akaryakıt istasyonu yer seçimi problemini çözmek için küresel bulanık WASPAS (KB-WASPAS) yöntemi küresel bulanık AHP (KB-AHP) yöntemi ile entegre

edilmiştir. Burada, bilgideki belirsizliği ve belirsizliği daha iyi temsil etmek için küresel bulanık sayılar kullanılmıştır. Önerilen hibrit metodoloji ile karar verme yönteminin ana hatlarından önce, küresel bulanık kümeler hakkındaki bazı önemli tanımlamalar aşağıdaki alt bölümde açıklanmıştır.

3.2.1 Küresel Bulanık Sayılar

Sezgisel ve pisagor bulanık kümeleri üye olma, üye olmama ve tereddüt olmak üzere üç parametreden oluşur. Önceki bölümde anlatıldığı gibi X sabit bir settir. $\mu_{\tilde{P}}(x): X \mapsto [0,1]$ ve $v_{\tilde{P}}(x): X \mapsto [0,1]$ sırasıyla $x \in X$ ögesinin $\tilde{P}$ bulanık kümesine, üye olma derecesini ve üye olmama derecesini tanımlar. Sezgisel bulanık kümeler için tereddüt derecesi (π) Denklem (3.1) kullanılarak, pisagor bulanık kümeler için ise Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanır.

$$\pi_I(x) = 1 - \mu_I(x) - v_I(x) \quad (3.1)$$

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \sqrt{1 - \mu_{\tilde{P}}(x)^2 - v_{\tilde{P}}(x)^2} \quad (3.2)$$

Küresel bulanık kümelerde, sezgisel ve pisagor bulanık kümelerin aksine, üye olma, üye olmama ve tereddüt derecelerinin toplamı 1'den küçük olabilir, ancak her biri küresel bulanık kümelerde 0 ile 1 arasında tanımlanmalıdır [165].

Tanım 3.1. Bir küresel bulanık küme, Denklem 3.3'teki gibi $\tilde{S}$ olarak gösterilebilir[125]:

$$\tilde{S} \cong \{x, \tilde{S}(\mu_{\tilde{S}}(x), v_{\tilde{S}}(x), \pi_{\tilde{S}}(x)); x \in U\} \quad (3.3)$$

$\mu_{\tilde{S}}(x): X \mapsto [0,1]$, $v_{\tilde{S}}(x): X \mapsto [0,1]$ ve $\pi_{\tilde{S}}(x): X \mapsto [0,1]$ sırasıyla $x \in X$ ögesinin $\tilde{S}$ bulanık kümesine, üye olma derecesini, üye olmama derecesini ve tereddüt derecesini tanımlar.

$$0 \leq \mu_{\tilde{S}}(x)^2 + v_{\tilde{S}}(x)^2 + \pi_{\tilde{S}}(x)^2 \leq 1; x \in U \quad (3.4)$$

Tanım 3.2. İki küresel bulanık sayının $\tilde{\alpha} = S(\mu_{\alpha}, v_{\alpha}, \pi_{\alpha})$ ve $\tilde{\beta} = S(\mu_{\beta}, v_{\beta}, \pi_{\beta})$ toplanması ve çarpılması aşağıdaki gibidir [191].

$$= \tilde{S} \left(\sqrt{\mu_{\tilde{\alpha}}^2 + \mu_{\tilde{\beta}}^2 - \mu_{\tilde{\alpha}}^2 \mu_{\tilde{\beta}}^2}, v_{\tilde{\alpha}} v_{\tilde{\beta}}, \sqrt{(1 - \mu_{\tilde{\alpha}}^2) \pi_{\tilde{\beta}}^2 + (1 - \mu_{\tilde{\beta}}^2) \pi_{\tilde{\alpha}}^2 - \pi_{\tilde{\alpha}}^2 \pi_{\tilde{\beta}}^2} \right) \quad (3.5)$$

$$= \tilde{S} \left(\mu_{\tilde{\alpha}} \mu_{\tilde{\beta}}, \sqrt{v_{\tilde{\alpha}}^2 + v_{\tilde{\beta}}^2 - v_{\tilde{\alpha}}^2 v_{\tilde{\beta}}^2}, \sqrt{(1 - v_{\tilde{\alpha}}^2) \pi_{\tilde{\beta}}^2 + (1 - v_{\tilde{\beta}}^2) \pi_{\tilde{\alpha}}^2 - \pi_{\tilde{\alpha}}^2 \pi_{\tilde{\beta}}^2} \right) \quad (3.6)$$

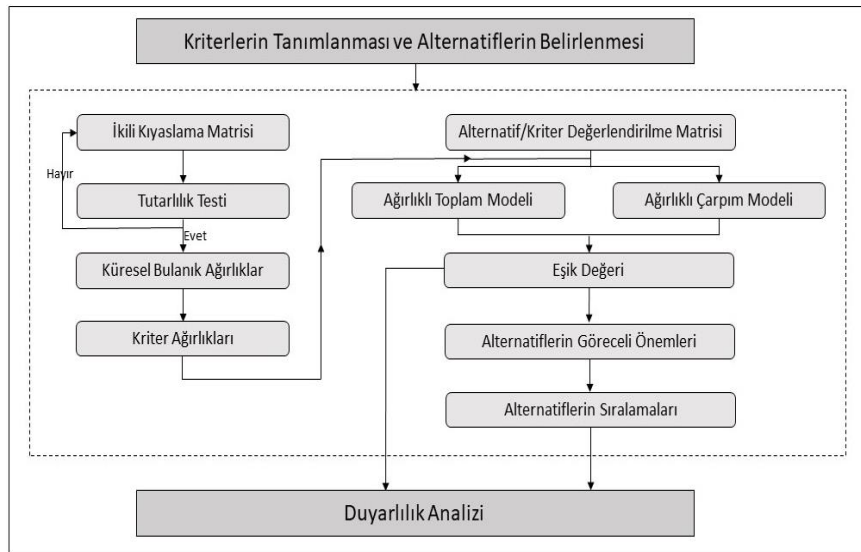
Tanım 3.3. Pozitif bir sabit sayı (λ) ile çarpma ve $\tilde{\alpha}$ 'nın pozitif üssü aşağıdaki gibidir:

$$\lambda \tilde{\alpha} = \tilde{S} \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{\alpha}}^2)^\lambda}, v_{\tilde{\alpha}}^\lambda, \sqrt{(1 - \mu_{\tilde{\alpha}}^2)^\lambda - (1 - \mu_{\tilde{\alpha}}^2 - \pi_{\tilde{\alpha}}^2)^\lambda} \right) \quad (3.7)$$

$$\tilde{\alpha}^\lambda = \tilde{S} \left(\mu_{\tilde{\alpha}}^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{\tilde{\alpha}}^2)^\lambda}, \sqrt{(1 - v_{\tilde{\alpha}}^2)^\lambda - (1 - v_{\tilde{\alpha}}^2 - \pi_{\tilde{\alpha}}^2)^\lambda} \right) \quad (3.8)$$

3.2.2 KB-WASPAS Yönteminin KB-AHP ile Entegrasyonu

Önerilen KB-AHP entegre KB-WASPAS metodolojisi iki ana adımdan oluşmaktadır. Öncelikle ana ve alt kriter ağırlıkları, küresel bulanık sayılar kullanılarak AHP ile belirlenir. Daha sonra KB-WASPAS uygulamasında bu ağırlıklar kriter ağırlıkları olarak kullanılır ve alternatifler en iyiden en kötüye doğru sıralanır. Önerilen entegre metodoloji adımları Şekil 3.1'de görülebilir. Önerilen entegre metodolojinin adımları aşağıda teorik olarak detaylandırılmıştır.



Şekil 3.1 Önerilen akaryakıt istasyonu yer seçim metodolojisi

Adım 1. İkili karşılaştırma matrislerini oluşturmak için uzmanlardan Tablo 3.2'de verilen dilsel terimleri kullanarak görüş alınır [165].

$$M = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Burada $\tilde{a}_{ij}$, i ile j'nin ikili kıyaslama değeridir.

Tablo 3.2 Dilsel değişkenlerinin tanımı ve küresel bulanık ölçekleri

Dilsel Değişken	Küresel Bulanık Sayılar			Skor İndeksi (SI)
	μ	ν	π	
Kesinlikle Düşük Önemli (KD)	0,1	0,9	0	1/9
Çok Düşük Önemli (ÇD)	0,2	0,8	0,1	1/7
Düşük Önemli (D)	0,3	0,7	0,2	1/5
Ortalamanın Altında Düşük Önemli (OD)	0,4	0,6	0,3	1/3
Eşit Öneme Sahip (E)	0,5	0,5	0,4	1
Ortalamanın Üstünde Yüksek Önemli (OÜ)	0,6	0,4	0,3	3
Yüksek Önemli (Y)	0,7	0,3	0,2	5
Çok Yüksek Önemli (ÇY)	0,8	0,2	0,1	7
Kesinlikle Yüksek Önemli (KY)	0,9	0,1	0	9

Adım 2. Daha fazla öneme sahip kıyaslamalar için (KY, ÇY, Y, OÜ) Denklem 3.10'u kullanarak, daha az veya eşit öneme sahip olan kıyaslamalar için Denk 3.11'i kullanarak (KD, ÇD, D, OD, E) kullanarak skor indeksleri (SI) hesaplanır.

$$SI = \sqrt{\left| 100 \left[(\mu_{\alpha}^2 - \pi_{\alpha}^2)^2 - (\nu_{\alpha}^2 - \pi_{\alpha}^2)^2 \right] \right|} \quad (3.10)$$

$$\frac{1}{SI} = \frac{1}{\sqrt{\left| 100 \left[(\mu_{\alpha}^2 - \pi_{\alpha}^2)^2 - (\nu_{\alpha}^2 - \pi_{\alpha}^2)^2 \right] \right|}} \quad (3.11)$$

Adım 3. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı SI değerleri kullanılarak test edilir. Saaty [140] tarafından önerilen matrisin tutarlılık oranını bulmak için skor indeksleri kullanılır.

Adım 4. Denklem 3.12'de verilen küresel ağırlıklı aritmetik ortalama (WM) operatörünü kullanarak her bir kriter için küresel bulanık ağırlık hesaplanır.

$$= \tilde{S} \left(\sqrt{1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{\tilde{\alpha}_j}^2)^w}, \prod_{j=1}^n v_{\tilde{\alpha}_j}^w, \sqrt{\prod_{j=1}^n (1 - \mu_{\tilde{\alpha}_j}^2)^\lambda - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{\tilde{\alpha}_j}^2 - \pi_{\tilde{\alpha}_j}^2)^w} \right) \quad (3.12)$$

burada n kriter sayısıdır ve $w = 1/n$ 'dir.

Adım 5. Kriterlerin önem seviyelerini belirlemek için küresel bulanık sayılar durulaştırılır.

$$S(\widetilde{WM}) = \sqrt{100 \left[\left(3\mu_{\widetilde{WM}} - \frac{\pi_{\widetilde{WM}}}{2} \right)^2 - \left(\frac{v_{\widetilde{WM}}}{2} - \pi_{\widetilde{WM}} \right)^2 \right]} \quad (3.13)$$

Adım 6. Durulaştırılmış değerler normalize edilir.

$$w_j = \frac{S(\widetilde{WM}_j)}{\sum_{i=1}^n S(\widetilde{WM}_{ij})} \quad (3.14)$$

Adım 7. Tablo 3.2'de verilen dilsel terimler kullanılarak, belirtilen kriterlere göre alternatifleri değerlendirmek için küresel bulanık karar matrisi oluşturulur. $\tilde{X}_{ij}$, j kriterine göre alternatif i'nin değerlendirme değerlerini ifade eder.

Adım 8. Ağırlıklı karar matrisinin her bir ögesi hesaplanır.

$$\tilde{x}_{ijw} = \tilde{x}_{ij} w_j = \tilde{S} \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}}^2)^{w_j}}, v_{\tilde{x}_{ij}}^{w_j}, \sqrt{(1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}}^2)^{w_j} - (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}}^2 - \pi_{\tilde{x}_{ij}}^2)^{w_j}} \right) \quad (3.15)$$

Adım 9. Denklem 3.16 ile her alternatif için ağırlıklı toplam modeli ($\tilde{Q}^1$) hesaplanır. Her ekleme terimi Denklem 3.17 kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{Q}_i^1 = \sum_{j=1}^m \tilde{x}_{ijw} \quad (3.16)$$

$$\tilde{x}_{i1w} \oplus \tilde{x}_{i2w} = \tilde{S} \left(\sqrt{\mu_{\tilde{x}_{i1w}}^2 + \mu_{\tilde{x}_{i2w}}^2 - \mu_{\tilde{x}_{i1w}}^2 \mu_{\tilde{x}_{i2w}}^2}, v_{\tilde{x}_{i1w}} v_{\tilde{x}_{i2w}}, \sqrt{(1 - \mu_{\tilde{x}_{i1w}}^2) \pi_{\tilde{x}_{i2w}}^2 + (1 - \mu_{\tilde{x}_{i2w}}^2) \pi_{\tilde{x}_{i1w}}^2 - \pi_{\tilde{x}_{i1w}}^2 \pi_{\tilde{x}_{i2w}}^2}} \right) \quad (3.17)$$

Adım 10. Karar matrisinin her bir ögesini hesaplanır.

$$\tilde{x}_{ij}^{w_j} = \tilde{S} \left(\mu_{\tilde{x}_{ij}}^{w_j}, \sqrt{1 - (1 - v_{\tilde{x}_{ij}}^2)^{w_j}}, \sqrt{(1 - v_{\tilde{x}_{ij}}^2)^{w_j} - (1 - v_{\tilde{x}_{ij}}^2 - \pi_{\tilde{x}_{ij}}^2)^{w_j}} \right) \quad (3.18)$$

Adım 11. Denklem 3.19 ile her alternatif için ağırlıklı çarpım modeli ($\tilde{Q}^2$) hesaplanır. Her çarpım terimi Denklem 3.20 kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{Q}_i^2 = \prod_{j=1}^n \tilde{x}_{ij}^{w_j} \quad (3.19)$$

$$\tilde{x}_{i1}^{w_1} \otimes \tilde{x}_{i2}^{w_2} = \tilde{S} \left(\begin{array}{c} \mu_{\tilde{x}_{i1}}^{w_1} \mu_{\tilde{x}_{i2}}^{w_2}, \sqrt{v_{\tilde{x}_{i1}}^{2w_1} + v_{\tilde{x}_{i2}}^{2w_2} - v_{\tilde{x}_{i1}}^{2w_1} v_{\tilde{x}_{i2}}^{2w_2}}, \\ \sqrt{\left(1 - v_{\tilde{x}_{i1}}^{2w_1}\right) \pi_{\tilde{x}_{i2}}^{2w_2} + \left(1 - v_{\tilde{x}_{i2}}^{2w_2}\right) \pi_{\tilde{x}_{i1}}^{2w_1} - \pi_{\tilde{x}_{i1}}^{2w_1} \pi_{\tilde{x}_{i2}}^{2w_2}} \end{array} \right) \quad (3.20)$$

Adım 12. Ağırlıklı toplam modeli ve ağırlıklı ürün modelini birleştirmek için eşik değeri (λ) belirlenir.

$$\lambda \tilde{Q}_i^1 = \tilde{S} \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{Q}_i^1}^2)^\lambda}, v_{\tilde{Q}_i^1}^\lambda, \sqrt{(1 - \mu_{\tilde{Q}_i^1}^2)^\lambda - (1 - \mu_{\tilde{Q}_i^1}^2 - \pi_{\tilde{Q}_i^1}^2)^\lambda} \right) \quad (3.21)$$

$$= \tilde{S} \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{Q}_i^2}^2)^{(1-\lambda)}}, v_{\tilde{Q}_i^2}^{1-\lambda}, \sqrt{(1 - \mu_{\tilde{Q}_i^2}^2)^{(1-\lambda)} - (1 - \mu_{\tilde{Q}_i^2}^2 - \pi_{\tilde{Q}_i^2}^2)^{(1-\lambda)}} \right) \quad (3.22)$$

Adım 13. Alternatiflerin göreceli önemi hesaplanır.

$$\tilde{Q}_i = \lambda \tilde{Q}_i^1 + (1 - \lambda) \tilde{Q}_i^2 \quad (3.23)$$

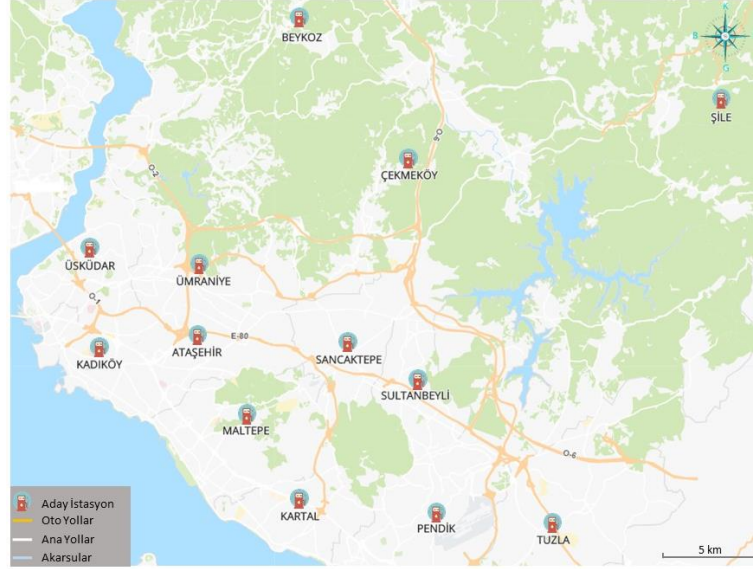
Adım 14. Alternatiflerin nihai puanlarını belirlemek için küresel bulanık sayılar Denklem 3.13 kullanılarak durulaştırılır.

Adım 15. Nihai puana göre alternatifler sıralanır. En iyi alternatif olarak en yüksek nihai puana sahip alternatif belirlenir.

3.3 İstanbul için Gerçek Bir Uygulama

Önerilen metodoloji, akaryakıt istasyonu yer seçimi problemine uygulanmıştır. Bu problem için İstanbul'un Anadolu yakasında yer alan on üç aday lokasyon şirket

politikası dahilinde değerlendirilmiştir. Yer seçimi problemi olarak, belirlenen halihazırda hizmet veren aday tesislerden birinin devralınması problemi ele alınmıştır. Burada anlatılan uygulamada, Şekil 3.2'de gösterilen aday istasyonlardan biri devralınacaktır.

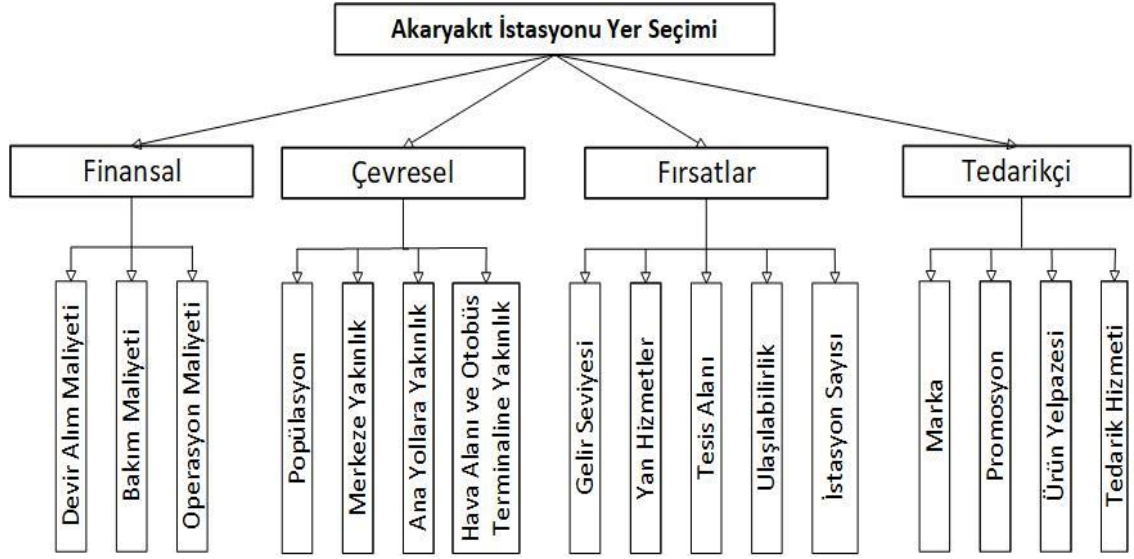


Şekil 3.2 Aday akaryakıt istasyonları

Bu çalışmada istasyon hem kurulum öncesi (lokasyon seçimi) hem de kurulum (işletme) sonrasında incelendiği için mevcut işletme istasyonları üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Halen çalışmakta olan bu istasyonlar, kuruluş aşamalarında uygulanan yasal gereklilikleri yerine getirmiştir. Ancak, mevzuat ve standartlardaki değişiklikler (yeni ürünler eklemek, yer olarak genişletmek vb) ileriye dönük yatırımlarında sorun yaratabilir. Ayrıca yatırımcılar, yasal zorunluluklar dışında, geleceği finansal olarak da düşünmek zorundadır. Bu bağlamda, aday lokasyonun potansiyelleri dikkate alınmalıdır. Bu nedenlerden dolayı yatırımcının mevcut yasal gerekliliklere uygun ve ileriye dönük değişikliklere açık istasyonu seçmesi en mantıklıdır.

Kriterleri değerlendirmek ve bir akaryakıt istasyonu devralmak için en iyi alternatifi belirlemek üzere dört ana ve on altı alt kriterden oluşan iki seviyeli bir hiyerarşi oluşturulmuştur. Bu ana ve alt kriterler kapsamlı bir literatür taraması ile araştırılmış ve uzmanlara danışılarak en uygun olanları belirlenmiştir. Uzmanlar,

ilgili sektörlerdeki deneyimleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada ele alınan ana ve alt kriterler hiyerarşik yapıda Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi için ana ve alt kriterler

Bu çalışmada, akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi için kriterler ele alınmış ve “Finansal”, “Çevresel”, “Fırsatlar” ve “Tedarikçi” olmak üzere dört ana kriterde sınıflandırılmıştır.

Akaryakıt istasyonunun konumunun belirlenmesinde finansal faktörler önemli rol oynar. “Finansal” ana kriteri devralma, işletme ve bakım maliyetlerinden oluşur. “Devir Alım Maliyeti,” istasyon devralınırken meydana gelen istasyon maliyetini, iş yeri açma ve çalışma izninin devri maliyetini, işyerinin öngörülemez eski borçlarını, danışmanlık firmasının maliyetini ve fizibilitesini kapsar. “Bakım Maliyeti” devralınan istasyonun yenileme ve bakım masraflarını içerir. “Operasyon Maliyeti”, kira/arazi fiyatı, çalışan giderleri, elektrik maliyeti, su vb. maliyetlerini kapsar.

Kurumsal strateji kararlarında “Çevresel” faktörler dikkate alınmalıdır. “Popülasyon”, istasyonun bulunduğu ilçedeki nüfus yoğunluğudur. “Merkeze Yakınlık”, benzin istasyonunun ilçe merkezine olan uzaklığını ifade eder. “Ana Yollara Yakınlık”, şehrin ana arterlerine olan mesafeyi ifade eder. “Hava Alanı ve Otobüs Terminallerine Yakınlık”, yolcuların buluşma noktalarına yakınlığı anlamına gelir.

“Fırsatlar”, bir yatırım kararı vermek için kritiktir; bu nedenle bu çalışmada dikkate alınmıştır. “Gelir Seviyesi”, akaryakıt istasyonunun bulunduğu ilçenin gelir düzeyini ifade eder. “Yan Hizmetler”, devralınacak tesiste yer alan otomatik araba yıkama, yağlama, yedek parça temini, soğuk/sıcak yiyecek ve içecek servisi, market, lavabo, vb. gibi ek hizmetleri kapsar. “Tesis Alanı”, akaryakıt istasyonunun fiziksel alanını ifade eder. “Ulaşılabilirlik”, istasyona araba ile ulaşım kolaylığı anlamına gelir. Son olarak, “İstasyon Sayısı”, bu ilçelerdeki akaryakıt istasyonlarının sayısını ve faaliyetlerini ifade etmektedir.

Dikkate alınan son ana kriter “Tedarikçi”dir ve tedarikçiyle ilgili konuları kapsar. İlki “Marka” olup, tedarikçi dağıtım şirketini ifade eder. “Promosyon”, tedarikçinin devralınan istasyona yaptığı mali destektir. “Ürün Yelpazesi”, tedarikçinin ürün yelpazesini ifade eder. “Tedarik Hizmeti”, ürün tedarikinde dağıtımçı firmanın lojistik hizmetlerini ifade eder.

Akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi için her bir kriterin önem ağırlıkları önerilen metodoloji ile elde edilir. Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığında iki uzmana, bir özel sektör enerji firmasından bir uzmana ve sivil toplum kuruluşlarından iki uzmana kriterleri değerlendirmek için danışılmıştır. Bu uzmanlar akaryakıt istasyonu operasyonlarında çalışmaktadır. Uzmanlar, kriterleri değerlendirmek için Tablo 3.2’de verilen küresel bulanık ölçeği kullanmıştır.

İlk olarak, ana kriterlerin konsolide ikili karşılaştırmaları, dilsel değişkenler kullanılarak uzmanlar tarafından yapılandırılmış ve Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3 Ana kriterler için ikili kıyaslama matrisi

	Finansal	Çevresel	Fırsatlar	Tedarikçi
Finansal	E	OY	Y	OY
Çevresel	OD	E	OY	OY
Fırsatlar	D	OD	E	OD
Tedarikçi	OD	OD	OY	E

Adım 1’den Adım 6’ya kadar verilen yukarıda belirtilen hesaplamalar sonucunda dört ana kriterin ağırlıkları belirlenir. Dört ana kriter olan “Finansal”, “Çevresel”, “Fırsatlar” ve “Tedarikçi”nin önem ağırlıkları sırasıyla 0,314, 0,261, 0,190 ve 0,235 olarak hesaplanmıştır. Ele alınan problem için en önemli ana kriter, 0,314 önemle “Finansal” olarak belirlenmiştir. “Çevresel” ve “Tedarikçi” de önemli ana

kriterlerdir. “Fırsatlar”, elde edilen sonuçlara göre 0,19 oranla akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi için en önemsiz ana kriterdir. Daha sonra, ana kriterlerin her biri için alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılır. Alt kriterlerin yerel önem ağırlıkları hesaplanır. Böylece nihai kriter ağırlıkları belirlenir. Tablo 3.4, alt kriterlerin yerel ve nihai ağırlıklarını vermektedir.

Tablo 3.4 Alt kriterlerin ağırlıkları

Ana Kriter	Ağırlık	Alt Kriter	Ağırlık	Nihai Ağırlık
Finansal	0,314	Devir Alım Maliyeti	0,409	0,128
		Bakım Maliyeti	0,261	0,082
		Operasyon Maliyeti	0,331	0,104
Çevresel	0,261	Popülasyon	0,316	0,083
		Hava Alanı ve Otobüs Terminaline Yakınlık	0,157	0,041
		Merkeze Yakınlık	0,335	0,087
		Ana Yollara Yakınlık	0,192	0,050
		Gelir Seviyesi	0,204	0,039
Fırsatlar	0,190	Yan Hizmetler	0,164	0,031
		Tesis Alanı	0,135	0,026
		Ulaşılabilirlik	0,274	0,052
		İstasyon Sayısı	0,222	0,042
		Marka	0,250	0,059
Tedarikçi	0,235	Promosyon	0,153	0,036
		Ürün Yelpazesi	0,325	0,076
		Tedarik Hizmeti	0,272	0,064

Alt kriterlere odaklanılırsa, “Devir Alım Maliyeti”nin en önemli alt kriter olduğu ve en yüksek önem oranı olarak 0,128 öneme sahip görülmektedir. Daha sonra “Operasyon Maliyeti” ve “Merkeze Yakınlık”, sırasıyla 0,104 ve 0,087 önem oranları ile dikkate alınmalıdır. Ayrıca 0,026 önem oranı ile en az önemli alt kriter “Tesis Alanı” olarak belirlenmiştir. “Tesis Alanı” alt kriterinin, dikkate alınan kriterler içerisinde sürece en az etkisi olan kriter olduğu söylenebilir.

Belirlenen bu ağırlıklar alternatiflerin karşılaştırılmasında kullanılabilir. Bu nedenle, önerilen yöntemin 7.-15. adımlarındaki işlemler gerçekleştirilir. Her bir alternatifin ağırlıklı toplam modeli ve ağırlıklı ürün modelinin sonuçları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 Ağırlıklı toplam modeli ve ağırlıklı çarpım modelinin sonuçları

	Ağırlıklı Toplam Modeli			Ağırlıklı Çarpım Modeli		
	μ	v	π	μ	v	π
(A ₁) Ataşehir	0,526	0,562	0,201	0,488	0,607	0,232
(A ₂) Beykoz	0,382	0,709	0,222	0,305	0,772	0,207
(A ₃) Çekmeköy	0,429	0,658	0,224	0,387	0,698	0,227
(A ₄) Kadıköy	0,583	0,507	0,151	0,508	0,608	0,166
(A ₅) Kartal	0,509	0,577	0,212	0,481	0,610	0,236
(A ₆) Maltepe	0,543	0,546	0,154	0,489	0,618	0,161
(A ₇) Pendik	0,560	0,533	0,166	0,487	0,621	0,192
(A ₈) Sancaktepe	0,376	0,720	0,201	0,278	0,796	0,175
(A ₉) Sultanbeyli	0,334	0,748	0,226	0,282	0,788	0,205
(A ₁₀) Şile	0,305	0,798	0,161	0,165	0,884	0,110
(A ₁₁) Tuzla	0,428	0,665	0,244	0,363	0,720	0,252
(A ₁₂) Ümraniye	0,484	0,608	0,222	0,426	0,667	0,244
(A ₁₃) Üsküdar	0,528	0,565	0,152	0,443	0,667	0,156

Bu çalışmada literatüre [113] göre eşik değeri (λ) 0,5 olarak alınmıştır. Önerilen yeni KB-AHP entegre KB-WASPAS metodolojisinin sonuçları, Tablo 3.6'da skorlar ve alternatiflerin nihai sıralaması olarak sunulmuştur.

Tablo 3.6 Alternatiflerin sıralanması

Sıralama	Alternatif	Skor
1	Kadıköy	20,495
2	Pendik	19,626
3	Maltepe	19,484
4	Ataşehir	18,786
5	Üsküdar	18,508
6	Kartal	18,319
7	Ümraniye	16,860
8	Çekmeköy	15,154
9	Tuzla	14,572
10	Beykoz	12,844
11	Sancaktepe	12,424
12	Sultanbeyli	11,371
13	Şile	9,210

Tablo 3. 6'dan da görülebileceği gibi en iyi alternatif 20,495 puanla Kadıköy'dür. Şile ise akaryakıt istasyonu devralmak için en az uygun lokasyondur. Pendik ve Maltepe de devralmak için iyi alternatiflerdir.

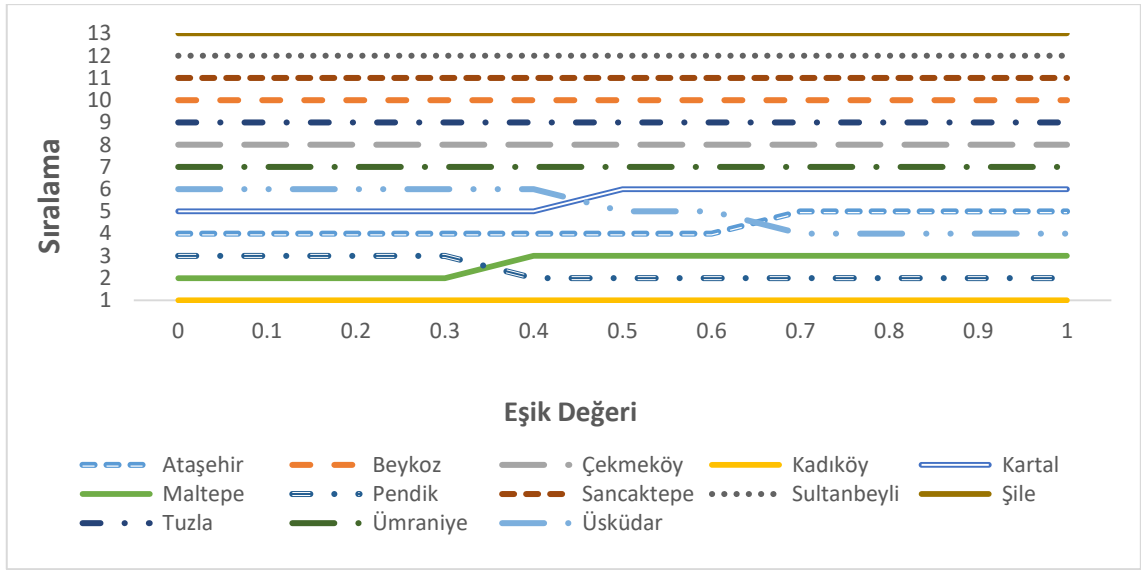
3.3.1 Akaryakıt İstasyonu Yer Seçim Metodolojisinin Duyarlılık Analizi

Önerilen metodolojinin güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Önerilen yer seçimi metodoloji sonuçları duyarlılık analizi ile tartışılmıştır. Bu bölümde gerçekleştirilen duyarlılık analizi, 0'dan 1'e değişen eşik değerinin (λ) değerinde 0,1'lik bir artışla gerçekleştirilir. Bu, konum seçim kararının sağlamlığını gösterir. Duyarlılık analizine göre her bir alternatifin nihai değerlendirme skorları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Duyarlılık analizi sonuçları

	Eşik Değeri ve Skorlar										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A ₁	18,01	18,17	18,33	18,48	18,64	18,79	18,93	19,08	19,23	19,37	19,51
A ₂	11,27	11,61	11,93	12,25	12,55	12,84	13,13	13,4	13,67	13,93	14,18
A ₃	14,34	14,51	14,68	14,84	15,00	15,15	15,31	15,46	15,61	15,76	15,9
A ₄	19,12	19,41	19,7	19,97	20,24	20,5	20,74	20,98	21,22	21,44	21,66
A ₅	17,74	17,86	17,98	18,09	18,21	18,32	18,43	18,54	18,65	18,76	18,87
A ₆	18,48	18,69	18,9	19,1	19,29	19,48	19,67	19,85	20,03	20,2	20,37
A ₇	18,21	18,51	18,8	19,09	19,36	19,63	19,88	20,13	20,38	20,61	20,84
A ₈	10,37	10,82	11,25	11,66	12,05	12,42	12,78	13,12	13,45	13,77	14,08
A ₉	10,33	10,55	10,76	10,97	11,17	11,37	11,56	11,75	11,94	12,12	12,29
A ₁₀	5,72	6,6	7,36	8,03	8,65	9,21	9,73	10,22	10,68	11,11	11,52
A ₁₁	13,22	13,51	13,78	14,05	14,32	14,57	14,82	15,06	15,3	15,53	15,76
A ₁₂	15,67	15,92	16,16	16,4	16,63	16,86	17,08	17,3	17,51	17,72	17,92
A ₁₃	16,85	17,21	17,55	17,88	18,2	18,51	18,8	19,09	19,37	19,63	19,89

Duyarlılık analizi, eşik değerinin (λ) değişen değerinin sonuçları beklendiği gibi değiştirebileceğini göstermektedir. Bunun nedeni olarak, alternatiflerin farklı ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım değerlerine sahip olması gösterilebilir. Nihai değerlendirme skorları değiştikçe, alternatiflerin sıralaması birkaç farklı eşik değer için değişmiştir. Duyarlılık analizine göre alternatiflerin son sıralaması Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Duyarlılık analizine göre alternatiflerin son sıralaması

Tablo 3.7 ve Şekil 3.4'te verilen duyarlılık analizi sonuçlarına odaklanıldığında, eşik değerinin tüm değerleri için en iyi alternatifin aynı olduğu görülmüştür. Yani Kadıköy'ün devralmak için her zaman en iyi seçenek olduğu söylenebilir. Maltepe ve Pendik de adaylar arasında daha iyi alternatiflerdir. Bu iki alternatif, her eşik değeri için her zaman ilk üçte yer almıştır. Duyarlılık analizine göre de son yedi alternatifin sıralamalarının değişmediği gözlemlenmiştir.

3.4 Yapılan Uygulamanın Sonuçları

Bu bölümde akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi dikkate alınmıştır. Değerlendirme için ana ve alt kriterleri belirlemek için literatür gözden geçirilmiş ve en uygun olanları belirlemek için farklı şirketlerden beş uzmanla görüşülmüştür. Devamında, devralmak için on üç farklı alternatif yer belirlenmiştir. Daha sonra, yeni KB-AHP entegre KB-WASPAS metodolojisi yapılandırılmış; ve akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi bu metodoloji ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada İstanbul için gerçek bir uygulama sunulmuştur. Son olarak, önerilen metodoloji sonuçlarını açıklamak ve analiz etmek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu bölümde yapılan uygulama ile belirlenen akaryakıt istasyonu firmanın tedarik ağına dahil edilerek matematiksel model oluşturulmuştur.

TEHLİKELİ MADDE TAŞIMACILIĞI İÇİN RİSK DEĞERLENDİRME METODOLOJİSİ

4.1 Giriş

Tehlikeli maddeler insan sağlığı ve güvenliği, çevre ve doğal yaşam üzerinde zararlı etkilere sahiptir ve bu nedenle işleme, paketlenme, kullanım, nakliye ve bertaraf sırasında özel önlemler gerektirir. Pek çok farklı türde tehlikeli madde vardır ve bu tehlikeli maddeler, genellikle tehlike seviyelerine göre dokuz gruba ayrılabilirler. Tehlikeli maddeler arasında gazlar, yanıcı ve yakıcı sıvılar, yanıcı katılar, toksik maddeler, oksitleyici maddeler, patlayıcılar, organik peroksitler ve bulaşıcı maddeler, radyoaktif malzemeler, aşındırıcılar ve diğer çeşitli tehlikeli maddeler yer alır.

Tehlikeli maddelerin içerdiği kimyasalların dağıtımı, difüzyonu ve dönüşüm süreçleri nedeniyle çevre ve sosyal yaşam tehlikelere açıktır. Bu kimyasallar çok tehlikelidir. Ölüm ve yaralanmaya neden olabilirler. Tehlikeli maddeleri yoğun olarak içeren kimyasalların endüstriyel olarak kullanımının yarattığı bir diğer tehlike de kötü sonuçlara gebe kazaların ortaya çıkmasıdır. Modern dünyada teknolojik gelişmelerle birlikte tehlikeli maddelerin kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Çevreye olan etkilerini azaltmak için tehlikeli maddeler minimum risk ile taşınmalıdır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Araştırmacılar tehlikeli madde taşıma problemini optimizasyon, ÇKKV gibi farklı çözüm stratejileri geliştirerek çözerler. Bu problemler bir risk değerlendirme problemi olarak dolayısıyla bir tür karar verme problemi olarak ele alınabilir.

Çalışmanın bu bölümünde, tehlikeli madde risk değerlendirme problemine odaklanılmış ve ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Bu bölümde, tehlikeli madde

risk değerlendirme problemleri için ana risk faktörlerini ve alt risk faktörleri sunulmuş, uzmanlardan görüş alınarak faktörlerin ağırlıklarını belirlemek için PB-AHP yöntemini kullanılmıştır. Son olarak petrol taşımacılığı için risk değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar duyarlılık analizi ile tartışılmıştır.

4.2 Tehlikeli Madde Taşımacılığı Literatür Taraması

Tehlikeli madde taşımacılığı problemlerinde matematiksel modelleme uygulamalarının en sık kullanılan yöntem olduğu söylenebilir. Ancak literatürde tehlikeli madde taşımacılığı problemlerinde matematiksel modelleme kadar ÇKKV yaklaşımlarını da kullanan birçok çalışma görülebilmektedir. Bunların ne çıkanları şu şekilde özetlenebilir.

Erkut ve Ingolfsson, tehlikeli maddelerin taşınması sırasında meydana gelen kazalar için üç farklı afetten kaçınma modeli geliştirmektedir. İlk modelde maksimum popülasyon maruziyeti en aza indirilir, yol sonucunun varyansı ikinci modeldeki karara entegre edilir ve üçüncü modelde faydasızlık işlevi kullanılarak etki en aza indirilmeye çalışılır [192]. Kara ve Verter, tehlikeli maddelerin taşınmasında gerçekleşen riski göz önünde bulundurarak ağ tasarımı problemleri için iki seviyeli bir matematiksel model formülasyonu geliştirmiştir. Taşımacılık riski, temelde taşıyıcının güzergah seçimleriyle ilişkili toplumsal ve çevresel risklerden oluşur [193]. Erkut ve Gzara tehlikeli maddelerin ağ tasarımı problemini yasalrı gözetererek ele almışlardır. Problemi iki seviyeli bir ağ akış optimizasyonu problemi olarak modellemiş ve problemi çözmek için sezgisel bir çözüm önermişlerdir [194]. Zografos ve Androustopoulos, tehlikeli madde taşımacılığında kullanılacak yolların belirlenmesi için bir karar destek sistemi sunmuşlardır. Bu karar destek sistemi ile maliyet ve riski en aza indiren optimum rotaları, bir kazaya müdahale etmek için ilk müdahale acil durum birimlerinin yerini, kaza alanından güvenli yerlere tahliye yolunu belirlemişlerdir. Önerilen model, Yunanistan'daki yoğun sanayileşmiş bir alana uygulanmıştır [195]. Darbra vd. tehlikeli maddelerin taşınması sırasında meydana gelen kazaları analiz etmiştir. Çalışmada, kazaların nedenleri tanımlanmış ve sıklıkları belirlenmiştir. Kaza nedenlerinin, domino etkisi tehlikeli maddeler için yapılandırılmıştır [196]. Leonelli vd. tehlikeli maddelerin taşınmasını minimum maliyetli akış problemi olarak formüle etmiştir. Kurdukları modelde, bağlantı

maliyeti ve seyahat maliyeti belirlenirken toplumsal ve bireysel riskler kullanılmıştır [197]. Samanlıoğlu'nun çalışmasında çok amaçlı bir konum yönlendirme modeli geliştirilmiştir [198]. Bu modelin amacı, arıtma ve bertaraf merkezlerinin konumlarını belirlemek ve tehlikeli maddelerin taşınması için optimum rotayı bulmaktır. Nüfus maruziyeti ile ilgili risklerin ulaşım ile birlikte ve geri kazanım ve bertaraf merkezleri çevresinde en aza indirilmesi de hedeflenmektedir. Saat vd. tehlikeli maddeler için bir demiryolu taşımacılığı risk analizini tanımlamıştır. Araç mili ve ton-mil başına yıllık riskler; tehlikeli maddeler arasında karşılaştırma yapılmasını sağlamak için geçmiş veriler kullanılarak hesaplanmıştır [199]. Bonvicini vd. nicel risk analizinde kullanmak için belirli çevresel risk indekslerini tanımlamıştır. Önerilen risk modelinin, kara boru hatları için risk değerlendirmesi için önemli bir araç olarak kabul edilebileceği çalışmalarında gösterilmektedir [200]. Lam ve Zhou kara boru hatlarının kaza verilerinin istatistiksel analizini rapor etmişlerdir. Çalışma bu verileri kullanarak aynı zamanda kara boru hatlarının nicel risk değerlendirmelerini de sunmuştur [201]. Zarei vd. bir doğal gaz istasyonu için kaza senaryolarına dayalı dinamik ve kapsamlı nicel risk analizi geliştirmeyi amaçlamıştır. Riskleri değerlendirmek için hata türü ve etki analizi, papyon diyagramı ve bayes ağlarını kullanmıştır. Ayrıca en kötü senaryoyu da ele alarak öneriler geliştirmişlerdir [202]. Ma belirsiz bir ortamda tehlikeli madde taşımacılığında kullanılmak üzer optimal bir şebeke tasarımı sunmuştur. Çalışmada, kısıt programlama modeli, tehlikeli madde taşımacılığını modellemek için kullanılmıştır. Önerilen modeli çözmek için çok amaçlı bir genetik algoritma geliştirilmiştir [203]. Yang vd. bulanık ortamda kalite fonksiyon yayılımını kullanarak tehlikeli malzeme risklerini düzenlemişlerdir. Riskleri insan, malzeme, çevre ve yönetim olmak üzere dört ana başlık altında toplamışlardır [204]. Hu vd. tedarikçiler, üreticiler ve perakendeciler arasında tehlikeli maddelerin transferi için üç seviyeli envanter ve taşıma problemini ele almıştır. Çalışma, belirsiz ortamda risk ve maliyet arasındaki en iyi dengeyi bulmayı amaçlamaktadır [205]. Hu vd. tehlikeli madde taşımacılığı için optimum yollarını belirlerken trafik kısıtlamalarını göz önünde bulundurmuştur [206]. Ghaderi ve Burdett tehlikeli madde taşıma problemini, konum ve yönlendirme problemi (location allocation) olarak ele almışlardır. Yaptıkları çalışmanın amacı, tehlikeli

maddelerin iki modlu bir taşıma ağı aracılığıyla taşınması için en iyi stratejiyi belirlemektir [207]. Li vd.'nin çalışmasında tehlikeli maddelerin taşınması için sistematik bir risk yönetimi çerçevesi önerilmiştir. Çalışmada değerlendirilen risk faktörleri, bulanık AHP ile ağırlıklandırılır, bulanık hata türü ve etki analizi ile kontrol edilir ve kalite fonksiyon yayılımıyla birleştirilmiştir. Son olarak, risk önlemlerinin yerine getirilme düzeyini belirlemek için doğrusal olmayan bir hedef programlama modeli önerilmiştir [208]. Chiou bağlantılar üzerindeki maksimum riski yönetmek için esnekliğe dayalı bir sinyal kontrolü önermektedir. Çalışmada bağlantılar üzerindeki zaman bağımlı maksimum risk, stokastik programlama ile azaltılmaktadır [209]. Hu vd. çok dönemli tehlikeli madde taşımacılığı problemine odaklanmışlardır. Yaptıkları çalışmanın amacı, üretim planını, tedarik programını ve nakliye yollarını belirli bir süre içinde riskleri dikkate alarak elde etmektir [210].

Xing vd. tehlikeli maddelerin taşınması sırasında meydana gelen 1721 kazayı analiz ederek kazaya neden olan risk faktörlerini araştırmıştır [211]. Ovidi vd. Hollanda'da meydana gelen demiryolu kazalarına odaklanmışlardır. Olası sonuçları bulmak için farklı senaryolar oluşturarak kazaları analiz etmişlerdir [212]. Chen vd. tehlikeli madde taşıma alternatiflerini belirsiz bir dil bilimsel yaklaşım kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada uygulayıcılar, yönetim, çevre ve ekipman, değerlendirme için ana kriterler olarak belirlenmiştir [213]. Ghaleh vd. tehlikeli madde taşımacılığında kullanılan kamyonlar için teknik problemlere göre hata türü ve etki analizi yöntemini kullanarak bir risk modeli sunmaktadır. Kazaları azaltmak için en iyi kamyonu belirlemek çalışmadaki temel amaçtır [214]. Huang vd. tehlikeli madde taşımacılığının yol faktörüne yoğunlaşmıştır. Devlet yöneticilerine yardımcı amacıyla otoyollar için bir risk değerlendirme modeli sunulmuştur. Çalışmada, kazaların neden olduğu hasarı azaltmak hedeflenmektedir [215].

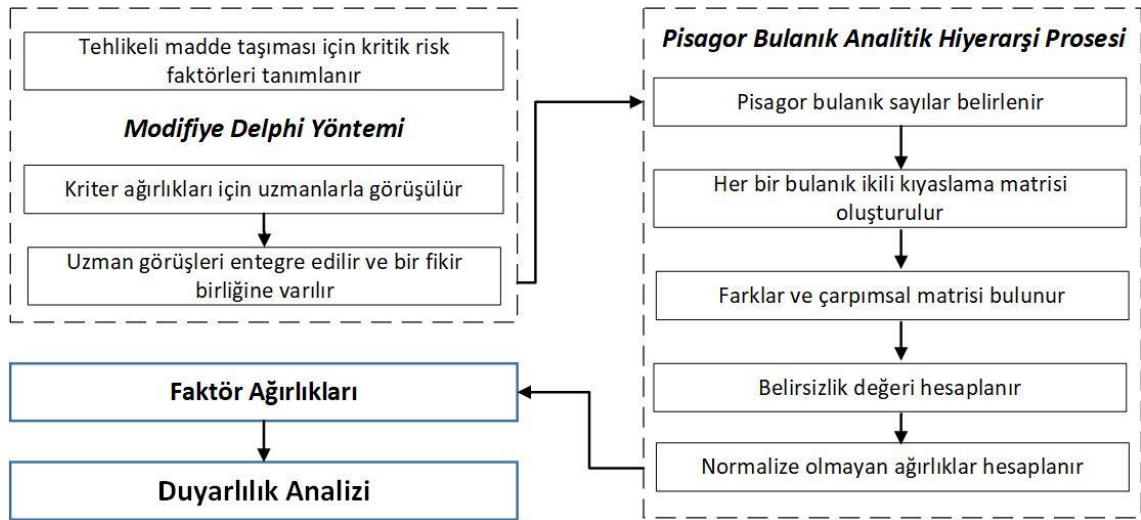
Tehlikeli madde taşıma riskini en aza indirme problemi, literatür taramasından da görülebileceği gibi üzerinde sık çalışılan konulardan biridir. Tehlikeli madde taşımacılığında risklerin tanımlanması ve belirlenmesi üzerine birkaç çalışma olmasına rağmen, ağırlıklandırılması hakkında çok az çalışma mevcuttur. Bu nedenle, tehlikeli madde taşımacılığı için risklerin tanımlanması ve risklerin ağırlıklarının belirlenmesi problemi çalışmanın bu bölümünde ele alınmıştır. Diğer

çalışmalardan farklı olarak problem, bir ÇKKV problemi olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda bu çalışma, süreçteki tüm faktörlerin kapsamlı bir şekilde tanımlandığı ve değeriendirildiğı en detaylı çalışma olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca bu problemi Pisagor bulanık ortamında çözen ilk çalışmadır. Son olarak, İstanbul'daki petrol taşıma ağında yer alan riskler, önerilen yöntem kullanılarak gerçek bir vaka uygulaması olarak değeriendirilmiştir.

4.3 Önerilen Tehlikeli Madde Taşımacılığı Risk Atama

Metodolojisi

Bu çalışmada, tehlikeli madde taşımacılığında risk faktörlerini değeriendirmek için iki seviyeli bir hiyerarşi oluşturulmuştur. Ardından uzmanların ana risk faktörleri ve alt risk faktörleri hakkındaki görüşleri alınmıştır. Daha sonra bu görüşler Modifiye Delphi Yöntemi ile konsolide edilerek faktörlerin ikili karşılaştırmaları elde edilmiştir. Ana ve alt risk faktörlerinin önem ağırlıkları PB-AHP yöntemiyle elde edildikten sonra sonuçlar analiz edilmiştir. Önerilen metodolojinin güvenilirliğini göstermek için duyarlılık analizi yapılmıştır. şekil 4.1 önerilen metodolojinin akışını göstermektedir.

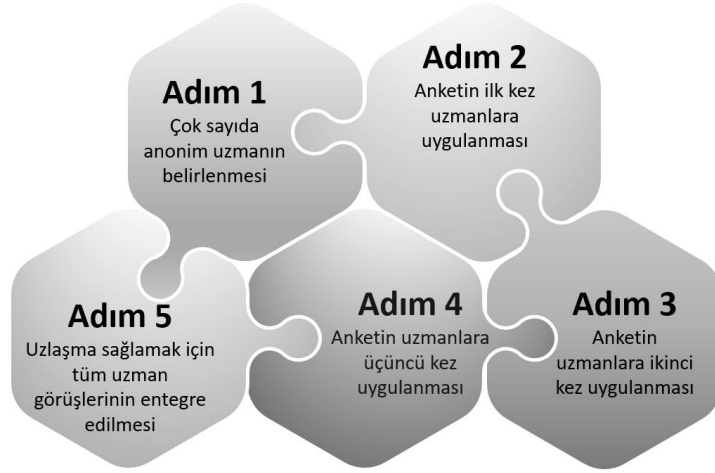


şekil 4.1 Önerilen risk atama metodolojisi

4.3.1 Modifiye Delphi Yöntemi

Belirli bir konuda karar verirken, zaman zaman farklı görüşlere sahip birden fazla uzmana başvurmak gerekebilir. Bu noktada, Delphi yöntemi uygulanabilir. Delphi

yöntemi, belirli bir konuda yazılı, tartışma ve geri bildirim formatlarında iletişim kuran uzmanların sonuçlarını toplar ve analiz eder [167]. Yöntemde birden fazla uzman, karşılıklı fikir birliği sağlanana kadar uzmanlıklarını, bilgi becerilerini ve görüşlerini paylaşır [216]–[219]. Yöntemin aşamaları Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Modifiye Delphi yönteminin adımları

Modifiye Delphi yönteminde, Adım 3 ve Adım 4 bir uzlaşma sağlanana kadar tekrar edilir. Uzman sayısı beş ile elli arasında olmalıdır, uzmanların sayısı çok küçük veya çok büyük olmamalıdır. Bu çalışmada, farklı kurumlardan beş farklı uzmanla Modifiye Delphi yöntemine dayalı bir karar grubu oluşturulmuştur. Uzmanların seçiminde, deneyimleri dikkate alınmıştır.

Uygulanan PB-AHP metodolojisinin ayrıntılı açıklaması Bölüm 2.4.4. Pisagor Bulanık AHP başlığında yapılmıştır.

4.4 Tehlikeli Madde Taşımacılığı için Risk Faktörleri

Tehlikeli madde taşıma problemi için ana ve alt risk faktörleri literatür taraması ile araştırılmış ve daha sonra bu çalışma için uygun faktörler uzmanlar ile görüşülerek belirlenmiştir. Uzmanlar, tehlikeli madde taşıma işlemleri konusundaki tecrübeleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Belirlenen bu risk faktörleri ve alındıkları kaynaklar Tablo 4.1’de görülebilir.

Tablo 4.1 Tehlikeli madde taşımacılığında ana ve alt risk faktörleri

Ana Risk Faktörü	Alt Risk Faktörü	Kaynak
Yol (R)	Şerit Sayısı (R ₁)	[220]–[222]
	Uzunluk (R ₂)	[222], [223]
	Yüzey (R ₃)	[220], [222]
	Durum (R ₄)	[220], [222]
Çevre (E)	Yolculuk Saati (E ₁)	[224]
	Yayalar ve Motorsuz Araçlar (E ₂)	[221], [224]
	Görüş Seviyesi (E ₃)	[220], [221], [224]
	Hava Durumu (E ₄)	[220], [225]
Trafik (T)	Yoğunluk (T ₁)	[221], [224]
	Hız Sınırı (T ₂)	[221], [222], [226]
	Kontrol (T ₃)	[221], [222], [227]
	Tek/Çift Yön (T ₄)	[222], [224]
Araç (V)	Bakım (V ₁)	[221]
	Yaş (V ₂)	[221], [222]
	Performans (V ₃)	[221], [222]
	Araç Tipi (V ₄)	[220], [223]
Madde (M)	Tür (M ₁)	[225]
	Hacim (M ₂)	[220], [225], [226]
	Tür Sayısı (M ₃)	[225]

Bu çalışmada, tehlikeli madde taşımacılığı için kritik risk faktörleri ele alınmış ve “Yol (R)”, Çevre “(E)”, “Trafik (T)”, “Araç (V)” ve “Malzeme (M)” olmak üzere beş ana risk faktörüne ayrılmıştır.

Yol faktörü, tehlikeli madde taşıma risklerinin belirlenmesinde önemli rol oynar [215]. Karayolu trafiğinin temel unsuru olan yol özelliklerinin, tehlikeli sonuçlara neden olan kazalar üzerinde büyük etkisi vardır [211]. Dolayısıyla, “Yol (R)” ana risk faktörü çalışmaya dahil edilmiştir. Ana risk faktörü “Yol (R)”, dört alt risk faktörüne sahiptir. “Şerit Sayısı (R₁)”, kamyonun kullandığı yoldaki şerit sayısını ifade eder. Bu alt risk faktörü, yolun kapasitesini dikkate almak için çalışmaya dahil edilmiştir. İki nokta arasındaki riski belirlerken, bu noktalar arasındaki mesafe önemlidir. Çünkü mesafe arttıkça yolda geçirilen süre artmaktadır. Bu nedenle risk değerlendirmesi yapılırken “Uzunluk (R₂)” dikkate alınmalıdır. “Yüzey (R₃)”, yol yüzeyinde kullanılan malzemeyi (asfalt, çakıl vb.) temsil eder. Yollar tehlikeli seviyelere kadar bozulabilir ve kazaya yol açabilecek yol çatlağı, kırık beton, düden vb. içerebilir. Bu nedenle yolun “Durum (R₄)”u nakliye için önemlidir.

Hava koşulları ve yayalar/motorsuz araçlar gibi dış “Çevre (E)” faktörleri, karayolu trafik güvenliği için önemli faktörlerdir. Bu çalışmada “Çevre (E)” başlığı altında dört farklı alt risk faktörü değerlendirilmiştir. Sürücünün sürüş performansını doğrudan etkileyeceği için çalışmada “Yolculuk Saati (E₁)” kullanılmıştır. “Yayalar ve Motorsuz Araçlar (E₂)” trafik için önemli aktörlerdir. Trafik güvenliği bilincinin olmaması, önleme konusunda yetersiz farkındalık ve trafik kurallarını göz ardı etme gibi faktörler nedeniyle tehlikeli madde taşıma konusunda riski artıran faktörlerdendir. “Görüş Seviyesi (E₃)”, tehlikeli madde taşınması sırasında sürücünün görüş seviyesini ifade eder [213]. “Hava durumu (E₄)” çevresel faktörler için önemli bir faktördür. Çünkü yağmur, kar ve sis gibi hava koşulları sürüşü zorlaştırabilir [211]. Yol güvenliği için “Trafik (T)” faktörü büyük bir öneme sahiptir [213]. Bu çalışmada “Yoğunluk (T₁)”, “Hız Sınırı (T₂)”, “Kontrol (T₃)”, “Tek/İki Yön (T₄)” dört alt risk faktörü trafik için risk faktörleri olarak değerlendirilmiştir. “Yoğunluk (T₁)”, yoldaki beklenen trafik hacmini ifade eder. “Hız Sınırı (T₂)”, yoldaki maksimum hız sınırını ifade eder. “Kontrol (T₃)”, trafik ışıkları/işaretleri, polis vb. gibi yoldaki aktif trafik kontrol noktalarını ifade eder. Son olarak, “Tek/İki Yön (T₄)”, yöne göre (tek yönlü veya çift yönlü akış) yolun kullanımı olarak belirtir.

Kullanılan araçlar tehlikeli madde taşımacılığında önemli rol oynar [211]. Gerçekçi bir risk değerlendirmesi yapabilmek için “Araç (V)” faktörü dikkate alınmalıdır. Aracın teknik performansı karayolu trafiğinin güvenliğini etkiler. Dolayısıyla “Bakım (V₁)”, “Yaş (V₂)” ve “Performans (V₃)” faktörleri risk ataması yapılırken dikkate alınır. Bu faktörler, sırasıyla aracın son bakım tarihini, yaşını ve teknik performansını tanımlar. “Araç Tipi (V₄)” de aracın alt risk faktörlerinden biridir. Taşıma için kullanılan araç tipini ifade eder.

Son ana faktör “Madde (M)” üç alt risk faktöründen oluşur [211]. “Tür (M₁)” ve “Hacim (M₂)” sırasıyla taşınan malzemenin türünü ve miktarını tanımlar [211]. “Tür Sayısı (M₃)”, araçta taşınan malzemelerin türlerinin sayısını ifade eder [211].

4.5 Petrol Taşımacılığı için Risk Atama Uygulaması

En çok kullanılan tehlikeli maddelerden biri olan petrol ürünleri, günümüz dünyasında enerji ihtiyacının karşılanmasında vazgeçilmez bir kaynaktır. Yaşamın

her alanında kullanıcı sayısının arttığı petrol ürünlerinin çevreye ve insan hayatına olumsuz etkileri de ihmal edilebilir düzeyde olmasına rağmen özellikle petrol ürünlerinin taşınması sırasında meydana gelen kaza ve sızıntılar ciddi çevre kirliliği sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle petrol ürünlerinin taşınması sırasında oluşabilecek kaza olasılıklarının en aza indirilmesi çok önemlidir. Petrol ürünlerinin en uygun ve güvenli şekilde dağıtımını hem çevre hem de endüstri için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında gerçek bir vaka uygulaması olarak petrol ürünlerinin taşınmasında yer alan riskler için bir değerlendirme yapılmaktadır.

İstanbul'da halka açık bir şirketin petrol ürünleri dağıtım problemi bu çalışmada ele alınmıştır. Ele alınan problemde petrol ürünleri tek bir rafineriden tanker ile akaryakıt istasyonlarına dağıtılmaktadır. Akaryakıt istasyonları ve rafinerinin çoğu deniz kenarında yer almaktadır. Tankerin kullanacağı güzergah belirlenirken; tankerin yolda geçireceği zaman, yolların denize yakınlığı ve yol yapısı (eğim, şerit sayısı, ana yol, tali yol vb.) gibi faktörler dikkate alınır. Şekil 4.3, bu şirketin tedarik ağındaki rafineri ve akaryakıt istasyonlarının yerlerini göstermektedir. Firma bu noktalar arasında dağıtım işlemini gerçekleştirir.



Şekil 4.3 Akaryakıt istasyonları ve rafineri

Firma Şekil 4.3'te mavi ile gösterilen rafineriden tedarik ettiği petrol ürününü ele alınan problemdeki yedi farklı akaryakıt istasyonuna dağıtmaktadır. Şekilde sarı noktalar firmanın kendi akaryakıt istasyonlarını göstermektedir; kırmızı noktalar, şirketin diğer şirketlere işletmek üzere kiraladığı akaryakıt istasyonlarını gösterirken; mor nokta ise deniz araçlarına petrol ikmal hizmeti verdiği istasyonu gösterir.

Tehlikeli madde nakliyesi için her bir kritik risk faktörünün önem ağırlıkları PB-AHP ile elde edilmiştir. Petrol taşımacılığında kritik risk faktörleri hakkında fikirlerini almak için uzmanlarla yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Uzmanlar, Tablo 2.3'de gösterilen ölçeği kullanarak risk faktörlerini değerlendirmişlerdir.

4.5.1 Faktörlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

İlk olarak, ana kriterlerin Modifiye Delphi yöntemiyle elde edilen konsolide ikili karşılaştırmaları, dilsel değişkenler kullanılarak uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Ana risk faktörlerinin dilsel değişkenler kullanılarak oluşturulan ikili karşılaştırmaları Tablo 4.2'te görülebilir.

Tablo 4.2 Ana risk faktörlerinin ikili kıyaslama matrisi

	Yol	Çevre	Trafik	Araç	Malzeme
Yol	E	D	OA	OA	O
Çevre	Y	E	OÜ	Y	ÇY
Trafik	OÜ	OA	E	OÜ	OÜ
Araç	O	D	OA	E	O
Madde	O	ÇD	OA	O	E

PB-AHP yönteminin Tablo 4.2'deki ikili kıyaslama matrisi kullanılarak yapılan uygulamasıyla elde edilen ana risk faktör ağırlıkları Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3 Ana risk faktörlerinin ağırlıkları

Ana Risk Faktörü	Ağırlık
Yol	0,164
Çevre	0,262
Trafik	0,239
Araç	0,226
Madde	0,109

Beş ana risk faktörü olan “Yol”, “Çevre”, “Trafik”, “Araç” ve “Madde” önem ağırlıkları sırasıyla 0,164, 0,262, 0,239, 0,226 ve 0,109 olarak hesaplanmıştır. Petrol ürünleri taşımacılığında en önemli ana risk faktörü, 0.262 ağırlık önemi ile “Çevre” olarak belirlenmiştir. “Trafik” ve “Araç” da önemli risk faktörleridir. Bu çalışmadaki sonuçlara göre “Madde” %10,9 ile tehlikeli madde taşımacılığı için en az önemli ana risk faktörüdür. Alt risk faktörlerinin ilgili ana risk faktörünün ikili karşılaştırması Modifiye Delphi yöntemi kullanılarak yapılandırılmış ve Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Alt risk faktörleri için ikili kıyaslama matrisleri

Yol	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Çevre	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
R ₁	E	Y	OÜ	OA	E ₁	E	OÜ	OA	D
R ₂	D	E	OA	ÇD	E ₂	OA	E	D	ÇD
R ₃	OA	OA	E	OA	E ₃	OÜ	Y	E	OA
R ₄	OÜ	ÇY	OÜ	E	E ₄	Y	ÇY	OÜ	EE
Trafik	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	Araç	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
T ₁	E	ÇY	ÇY	Y	V ₁	E	ÇY	ÇY	Y
T ₂	ÇD	E	OA	D	V ₂	ÇD	E	OA	D
T ₃	ÇD	OÜ	E	D	V ₃	ÇD	OÜ	E	D
T ₄	D	Y	Y	E	V ₄	D	Y	Y	E
Madde	M ₁	M ₂	M ₃						
M ₁	E	OA	Y						
M ₂	OÜ	E	OÜ						
M ₃	D	OA	E						

Her bir alt risk faktörünün yerel ağırlıkları Tablo 4.4'te verilen ikili kıyaslama matrisleri kullanılarak PB-AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Daha sonra her bir alt risk faktörünün ağırlığı ait olduğu ana risk faktörü ile birlikte ele alınmıştır ve böylece, her bir alt risk faktörü için nihai ağırlıklar hesaplanmıştır. Tablo 4.5, ana ve alt risk faktörlerinin nihai ağırlıklarını göstermektedir.

Tablo 4.5 Ana ve alt risk faktör ağırlıkları

Ana Risk Faktörü	Ağırlık	Alt Risk Faktörü	Ağırlık	Nihai Ağırlık
Yol (R)	0,164	Şerit Sayısı (R ₁)	0,278	0,046
		Uzunluk (R ₂)	0,067	0,011
		Yüzey (R ₃)	0,143	0,023
		Durum (R ₄)	0,511	0,084
Çevre (E)	0,262	Yolculuk Saati (E ₁)	0,118	0,031
		Motorsuz Araçlar (E ₂)	0,060	0,016
		Görüş Seviyesi (E ₃)	0,247	0,065
		Hava Durumu (E ₄)	0,574	0,150
Trafik (T)	0,239	Yoğunluk (T ₁)	0,641	0,153
		Hız Sınırı (T ₂)	0,045	0,011
		Kontrol (T ₃)	0,079	0,019
		Tek/Çift Yön (T ₄)	0,234	0,056
Araç (V)	0,226	Bakım (V ₁)	0,641	0,145
		Yaş (V ₂)	0,045	0,010
		Performans (V ₃)	0,079	0,018
		Araç Tipi (V ₄)	0,234	0,053
Madde (M)	0,109	Tür (M ₁)	0,465	0,051
		Hacim (M ₂)	0,393	0,043
		Tür Sayısı (M ₃)	0,143	0,016

Alt risk faktörlerine odaklanılırsa, “Trafik Yoğunluğu” %15,3'lük en büyük önem oranı ile en önemli alt risk faktörüdür. Trafik yoğunluğunun tüm sistem üzerinde diğer alt risk faktörlerinden daha fazla etkiye sahip olduğu söylenebilir. Daha sonra “Hava Durumu” ve “Bakım” sırasıyla %15 ve %14,5 önem oranları ile dikkate alınmalıdır. Ayrıca %2'nin altında önem oranları ile “Uzunluk”, “Motorsuz Araçlar”, “Hız Sınırı”, “Yaş” ve “Tür Sayısı” olarak en az önemli alt risk faktörleridir.

“Yol” ana faktörü özelinde, “Yol Durumu”nun, “Şerit Sayısı”ndan neredeyse iki kat ve “Yüzey”den neredeyse dört kat daha önemli olduğu görülmektedir. “Uzunluk”, %1,1'lik önemli bir oran ile Yol için en az önemli alt risk faktörüdür. Çevre (E) ana risk faktörü için “Hava Durumu”, diğer alt risk faktörlerinin toplamından daha önemlidir. “Trafik” ana risk faktörüne bakıldığında, alt risk faktörlerinin en önemlisinden en önemsizine doğru “Yoğunluk”, “Tek/İki Yön”, “Kontrol” ve “Hız Sınırı” olarak sıralandığı görülmektedir. “Bakım”, “Araç” ana risk faktörünün diğer alt risk faktörlerinin öneminin toplamından neredeyse iki kat daha önemlidir. Son olarak, “Tip”, “Malzeme” ana risk faktörü için en önemli alt risk faktörüdür ve “Tür Sayısı”, en az önemli alt risk faktörüdür.

4.5.2 Risk Atama Metodolojisinin Duyarlılık Analizi

Önerilen karar verme metodolojisinin uygulanabilirliğini göstermek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Yöntemin değişikliklere karşı hassasiyetini ölçmek amacıyla PB-AHP yöntemiyle belirlenen ana faktörlerin ağırlıklarında değişime gidilmiştir. Önerilen yöntemde “Yol” ana faktörünün ağırlığı ilk olarak “Çevre” ana faktörünün ağırlığıyla değiştirilmiş, diğer üç ana faktörünün ağırlığı sabit tutulmuştur. Devamında tüm alt faktörlerin ağırlıkları tekrar hesaplanmıştır. Daha sonra, “Yol” ana faktörünün ağırlığı üçüncü, dördüncü ve beşinci ana risk faktörleri ile değiştirilirken, diğerleri sabit tutularak alt risk faktörlerinin ağırlıkları yeniden hesaplanmıştır. Son olarak diğer ikili değişimler gerçekleştirilmiş ve böylece beş farklı ana faktörün ağırlığı ikili olarak değiştirilerek toplam 10 farklı analiz yapılmıştır. Her bir değişimden sonra alt kriter ağırlıkları tekrar hesaplanarak sonuçlar elde edilmiştir. Tüm değişimler yapıldıktan sonra önerilen risk atama metodolojinin davranışı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, karar vericilerin risk faktörlerinin önceliklerini belirlemesine yardımcı olur ve süreci analiz etmeyi

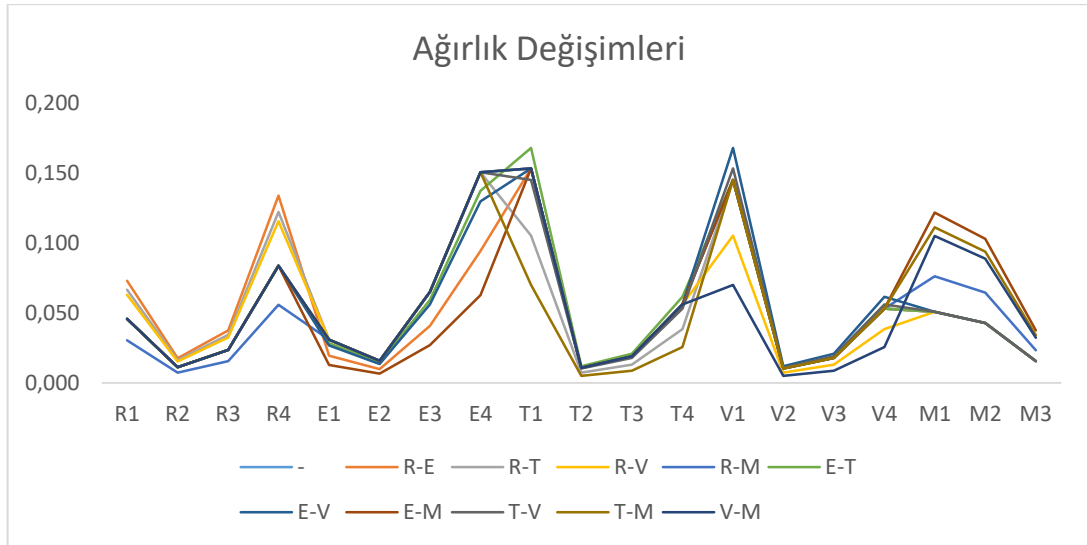
kolaylaştırır. Ana risk faktörü ağırlıklarındaki değişikliklere göre alt risk faktör ağırlıkları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Alt risk faktörlerinin ağırlık değişimleri

-	R-E	R-T	R-V	R-M	E-T	E-V	E-M	T-V	T-M	V-M
R₁	0,046	0,073	0,067	0,063	0,030	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
R₂	0,011	0,018	0,016	0,015	0,007	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
R₃	0,023	0,038	0,034	0,032	0,016	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
R₄	0,084	0,134	0,122	0,115	0,056	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084
E₁	0,031	0,019	0,031	0,031	0,031	0,028	0,027	0,013	0,031	0,031
E₂	0,016	0,010	0,016	0,016	0,016	0,014	0,014	0,007	0,016	0,016
E₃	0,065	0,041	0,065	0,065	0,065	0,059	0,056	0,027	0,065	0,065
E₄	0,150	0,094	0,150	0,150	0,150	0,137	0,130	0,063	0,150	0,150
T₁	0,153	0,153	0,105	0,153	0,153	0,168	0,153	0,153	0,145	0,153
T₂	0,011	0,011	0,007	0,011	0,011	0,012	0,011	0,011	0,010	0,005
T₃	0,019	0,019	0,013	0,019	0,019	0,021	0,019	0,019	0,018	0,009
T₄	0,056	0,056	0,038	0,056	0,056	0,061	0,056	0,056	0,053	0,026
V₁	0,145	0,145	0,145	0,105	0,145	0,145	0,168	0,145	0,153	0,145
V₂	0,010	0,010	0,010	0,007	0,010	0,010	0,012	0,010	0,011	0,010
V₃	0,018	0,018	0,018	0,013	0,018	0,018	0,021	0,018	0,019	0,018
V₄	0,053	0,053	0,053	0,038	0,053	0,053	0,061	0,053	0,056	0,053
M₁	0,051	0,051	0,051	0,051	0,076	0,051	0,051	0,122	0,051	0,111
M₂	0,043	0,043	0,043	0,043	0,064	0,043	0,043	0,103	0,043	0,094
M₃	0,016	0,016	0,016	0,016	0,023	0,016	0,016	0,037	0,016	0,034

Tablo 4.6'da ilk satırda yapılan değişimler gösterilmiştir. Örneğin R-E ile Yol (R) ve Çevre (E) ana faktörlerinin ağırlıklarının değiştirildiği ifade edilmektedir. Tabloda ilk olarak hiçbir değişim yapılmadığı durumdaki değerler de verilerek yapılan analizin sonuçlarının kıyaslanması sağlanmıştır.

Örneğin, Tablo 4.6'ya göre, birinci ana risk faktörü Yol (R) ve ikincisi Çevre (E) olarak ele alındığı durumda, bu ana risk faktörlerinin önem ağırlıkları değiştirilmiş ve ardından "Yolculuk Saati (E₁)"nin nihai önem ağırlığı 0,031'den 0,019'a düşmüştür. Bu analizde "Şerit Sayısı (R₂)"nın son ağırlığı da 0,046'dan 0,073'e çıkmıştır. Şekil 4.4, duyarlılık analizine göre nihai önem ağırlıklarını göstermektedir.



Şekil 4.4 Alt risk faktörlerinin duyarlılık analizi sonucunda ağırlık değişimleri

Şekil 4.4'e göre en yüksek ağırlık değişimlerinin 0,098 ile “Yoğunluk (T₁)” ve “Bakım (V₁)” alt risk faktörlerinde gözlemlendiği görülmektedir. Bu alt risk faktörleri, ana risk faktörlerinin öneminden daha fazla etkilenir. Değerlendirilen senaryolarda “Hız Sınırı (T₂)” ve “Yaş (V₂)” alt risk faktörlerinin ağırlıkları çok fazla değişmezken, hemen hemen her senaryoda en önemli alt risk faktörleri olarak belirlenmiştir. Bu yüzden risk değerlendirmesi yapılırken bu iki alt risk faktörü mutlaka dikkate alınmalıdır. Tehlikeli madde taşımacılığı kullanan araçların hız limitleri çok dikkatli belirlenmeli, ayrıca aracın yaşı da düzenli olarak kontrol edilmelidir.

4.6 Petrol Taşımacılığı için Risk Atama Uygulaması Sonuçları

Bu bölümde, tehlikeli madde taşımacılığında risk değerlendirme problemi dikkate alınmıştır. Değerlendirme için ana ve alt risk faktörlerini belirlemek amacıyla literatür gözden geçirilmiş ve en uygun olanları belirlemek amacıyla farklı kurumlardan beş uzmanla görüşülmüştür. Ardından, PB-AHP metodolojisi ile tehlikeli madde taşımacılığı için risk değerlendirme problemi değerlendirilmiştir. Problemden en çok kullanılan tehlikeli maddelerden biri olan petrol ürünü ele alınmış ve İstanbul için gerçek bir uygulama sunulmuştur. Önerilen metodoloji sonuçlarını açıklamak ve analiz etmek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Önerilen risk atama metodolojisi kullanarak firmanın dağıtımda kullanacağı bağlantıların riskleri belirlenerek matematiksel modele dahil edilmiştir.

GÜNLÜK BENZİN TÜKETİMİ İÇİN BİR TAHMİN MODELİ

5.1 Petrol Tüketim Tahmini Literatür Araştırması

Petrol veya benzin tüketimini tahmin etme üzerine literatürde farklı çalışmalar yapılmıştır. Nel ve Cooper, ülkeler için petrol tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Çalışmada, Çin'in yıllık petrol talebini tahmin etmek için lojistik regresyon yöntemine başvurarak 2030'a kadar bir projeksiyon sunulmuştur [228]. Azadeh vd. gürültülü, belirsiz ve karmaşık gibi farklı ortamlar için petrol fiyatlarını tahmin etmeye odaklanmıştır. Yapay Sinir Ağları (YSA) en iyi petrol fiyat tahminini yapabilmek için bulanık regresyon ile entegre edilmiştir. Önerilen metodolojinin geçerliliğini göstermek için farklı istatistiksel testler yapılmıştır [229]. Narayan ve Wong, Avustralya için petrol tüketimini etkileyen bileşenleri yirmi yıllık süreç için incelemiştir. Petrol fiyatı ve ülke gelir, petrol tüketimini en çok etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir. Bu durumda, gelirin petrol tüketimi için büyük ölçüde önemli olduğu belirlenirken, petrol fiyatlarının görece daha önemsiz olduğu belirlenmiştir [230]. Yang vd., Çin'in petrol tüketimini tahmin etmek için hem genetik algoritma hem de geri yayılım YSA içeren bir tahmin modeli önermişlerdir. Ayrıca hem doğrusal hem de doğrusal olmayan modellerden yararlanmak için gri bir model kullanarak önerdikleri modeli geliştirmişlerdir [231]. Li vd. aşırı uyum gösterme (overfitting) ile baş etmek ve daha iyi tahmin doğruluğu elde etmek için geleneksel bir kombinasyon yöntemini kullanmıştır. Bu yöntemle yirmi altı farklı kombinasyon modeli geliştirmişlerdir. Çin'in petrol tüketimini tahmin etmek için regresyon modellerine, gri teoriye ve hibrit bir modele başvurmuşlardır [232]. Assareh vd. İran'ın petrol talebini tahmin etmek için genetik algoritmayı ve parçacık sürüsü optimizasyonu kullanmışlardır. Otuz beş yıllık tüketim verilerini kullanarak yıllık talebi tahmin etmişlerdir [233]. Lin ve Xie,

Çin'deki ulaşım sektörü için petrol talebi tahminine odaklanmışlardır. GSYH, yol durumu, petrol fiyatı ve işgücü performansı gibi çok sayıda faktör belirlenmiş ve bu faktörlere dayalı bir tahmin modeli önerilmiştir. Monte Carlo simülasyonu, önerilen modelin risk analizi için kullanılarak model doğrulanmıştır [234]. Rao ve Parikh, Hindistan'ın petrol talebini tahmin etmek için zaman serilerine dayalı tahmin modelini kullanmışlardır. Benzin, motorin ve sıvı petrol gibi farklı petrol ürünleri için tahminler yapmışlardır. Önerdikleri tahmin modelinde altı farklı değişken kullanılmıştır [235]. Wang ve Song, gri tahmin modelinin farklı versiyonlarını incelemiş ve zaman serisine dayalı yeni bir gri tahmin modeli önermişlerdir. Çin'deki petrol tüketiminin önümüzdeki on yılını tahmin etmek için 1990 ile 2017 arasındaki yıllık talep kullanılmıştır [8]. Duan vd. Çin'in ham petrol tüketimini tahmin etmek için zaman serisi modellerini gri teori ile genişletmişlerdir. Çalışmada, uygun sınıf oranı kontrolünü gerçekleştirmek için en küçük kareler tahmini yapılmıştır. Daha iyi tahmin performansı elde etmek için parçacık sürüsü optimizasyon teknikleri çalışmada kullanılmıştır. 2015 ile 2020 arasını tahmin etmek için 2002'den 2014'e kadar olan on iki yıllık veri kullanılmıştır [236]. Behrang vd. petrol tüketimini tahmin etmek için yeni bir yaklaşım sunmuştur. GSYH, ithalat, ihracat ve nüfus tahmin modelinde değişkenler olarak belirlenmiştir. İran'da petrol tüketimini tahmin etmek için yer çekimsel arama algoritması kullanılmış, ardından önerilen modeli karşılaştırmak için genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılmıştır [237]. Minniear, tüm dünyada gerçekleşen petrol ürünleri üretimini değerlendirmiştir. Suudi Arabistan, Kuveyt, İran, Venezuela, Birleşik Arap Emirlikleri ve Irak gibi petrol üretiminde öncü ülkeler analiz edilerek gelecek tahmini yapılmıştır [238]. Al-Qaness vd. benzin tüketimini tahmin etmek için sine-cosine algoritması ile ANFIS'i genişletmiştir. Önerilen metodolojinin performansını değerlendirmek için Kanada, Almanya ve Japonya gibi üç farklı ülkeden 2007'den 2017'ye kadar aylık benzin tüketimi verileri kullanılmıştır. Karşılaştırma için ANFIS uzantıları kullanılarak modelin avantajları ön plana çıkarılmıştır [239]. Fatima vd. petrol fiyatlarını, petrol rezervlerini, petrol tüketimini ve ekonomik büyümeyi kullanarak Çin'deki petrol talebini tahmin etmiştir. Çalışmada parametreler ve petrol talebi arasındaki bağlantıları araştırmak için zaman serisi teknikleri kullanılmaktadır [240]. Yu vd. benzin tüketim

parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Büyük veri dahil olmak üzere Google trendlerdeki veriler kullanılarak petrol tüketimini tahmin etmek için popüler tahmin yöntemlerini uygulamışlardır [241]. Keshavarzian vd. karayolu taşımacılığı sektörü için benzin tüketimi tahminlerini yapmıştır. İlk olarak, araç sahipliği, doğrusal olmayan bir Gompertz modeli aracılığıyla zaman serileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Ardından, farklı ülkeler için belirli coğrafi ve demografik değişkenler modele uygulanarak 154 ülkede 1972'den 2008'e kadar yıllık veriler kullanılmıştır [242].

Petrol ve türevlerinin tüketimine ilişkin doğru tahmin modelleri literatürde en çok incelenen konulardan biridir. Ancak günlük benzin tüketimi tahmini ile ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu nedenle günlük benzin tüketimini tahmin etme problemi çalışmanın bu bölümünde ele alınmış ve Türkiye'deki günlük benzin tüketim miktarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, lasso regresyon temelli bir tahmin metodolojisi önerilmiştir.

5.2 Önerilen Tahmin Metodolojisi

Bu çalışmadaki zaman serileri için tahmin, özelliklerin verilerden çıkarılmasına dayanmaktadır. Özellikler, hem gözlemler hem de zaman noktaları madenciliği ile oluşturulur. Bu olası özelliklerden biri, serideki önceki gözlemleri tanımlayan "gecikme"dir [243]. Gecikme, zaman gecikmesinin bir fonksiyonu olarak seri ve gözlemler arasındaki benzerlik olan otokorelasyon kavramına dayanmaktadır. Diğer, tarih ve/veya saat özelliklerinin dizisidir. Bu özelliklerle serideki birim zaman, bir saatin dakikası, günün bir saati, haftanın günü, bir yılın ayı vb. gibi olası zamanlara aktarılabilir. Günün tatil olduğu veya özel bir olay olup olmadığı da dikkate alınarak dönüşüm de yapılabilir. Bu nedenle, her bir eşleşen birim zaman, serinin olası modellerini yakalamak için aynı şekilde kodlanır. Tahmin için kullanılan son özellik, genellikle aynı tarih özelliklerinin ortalamalarını hesaplayan hedef kodlamadır [244]. Bu, tahmin modelini aynı zaman aralığını içeren ve özel bir zaman serisi tahmini oluşturan diğer zaman serilerinden ayırır.

Bu çalışmada, Türkiye'de günlük benzin tüketimi miktarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla lasso regresyon temelli bir tahmin metodolojisi

önerilmektedir. Günlük benzin tüketimi için kullanılan tahmin yaklaşımı 3 ana aşamadan oluşur: i) verilerin temizlenmesi ii) özelliklerin çıkarılması ve seçilmesi iii) geliştirilen modellerle zaman serilerinin geleceğinin tahmin edilmesi. Ek olarak, önerilen modelin performansını karşılaştırmak için ridge regresyon kullanılır.

5.2.1 Verilerin Temizlenmesi

Çalışmada kullanılan veriler Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın haftalık resmi raporlarından elde edilmiştir. [245]. Haftalık yayın nedeniyle formatla ilgili farklılıklar, birimlerden kaynaklanan farklılıklar, eksik bilgi paylaşımı gibi tutarsızlıklar vardır. Bu nedenle, önerilen yaklaşımın uygulanabilmesi için verilerin düzenlenmesi gerekmektedir.

Birkaç öncekine ve sonrakine göre aşırı yükselen veya azalan noktalar ve mutlak sıfır ile değiştirilen geçersiz değerlere sahip olan noktalar anormal gözlemlerdir. Bir gözlem, eğim sapmasına göre anormal kabul edilir. Ortalama eğimden ardışık noktalar arasındaki $\pm$ standart sapma, anormal bir gözlemi gösterir. Anormal gözlemler, altta yatan sürekli işlev hakkındaki varsayımlar dikkate alınarak bir enterpolasyon yöntemi ile hesaplanan yeni değerlerle güncellenir. Veriler düzgün olmadığında ve geniş aralıklara sahip olduğunda daha iyi performansı nedeniyle, parçalı kübik hermit enterpolasyon polinomu (pchip) kullanılır [246].

Bireysel noktaların özelliklerinin yanı sıra, bir zaman serisi için tahmin performansını etkileyen bir başka önemli özellik de durağanlıktır. Durağan seriler daha öngörülebilir zaman serileridir; çünkü ortalama ve varyansın zaman içinde değişmediği varsayılabilir. Bu nedenle, tahmin performansı ile ilgili olarak, serinin durağan olup olmadığını anlamak ve eğer değilse seriyi durağan yapmak gerekebilir. Serinin durağan olup olmadığı Dickey-Fuller istatistiği ile test edilebilir [247].

5.2.2 Özelliklerin Çıkarılması ve Seçilmesi

Benzin tüketimini tahmin etmek için kullanılan özellikler, serinin kendisine bağlıdır. Kullanılan tahmin süreci çeşitli özellikler gerektirdiğinden, ancak verilerden bağımsız olmadığından, verilerden çeşitli özellikler çıkarılır. Bu özellikler iki ana gruba ayrılabilir; tamamen bağımlı ve yarı bağımlı özellikler. Tamamen bağımlı gruba dahil olan özelliklerin değerleri, serinin kendi değerlerinden hesaplanır. Öte

yandan, yarı bağımlı gruba ait olan özelliklerin değerleri, serinin zaman aralığındaki zaman noktalarına bağlıdır. İki farklı zaman serisinin zaman aralıkları aynı ise bu değerler aynı olacaktır. Örneğin, yılın beşinci haftası, benzin tüketimi ve kömür tüketimi gibi iki farklı problem için aynı değere sahip olacaktır.

Zaman serilerinin yapısını yorumlamak için, farklı gecikmelerle otokorelasyon kavramı faydalı bir kriterdir. Otokorelasyonlar aracılığıyla oluşturulan bir olay örgüsü, örneğin zaman serilerindeki mevsimselliğin yapısını, boyutunu daha iyi anlamaya yardımcı olabilir. Mümkün tüm gecikmeler ile olan korelasyonlarla oluşturulan grafik, Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF) grafiğidir.

Tahmin için kullanılabilecek özelliklerin ilk grubu, serinin güncel ve geçmiş verileri arasındaki ilişkiyi temsil eden gecikmelerdir. Gecikmeler, dizinin önceki zaman damgalarına ait değerle tahmini destekler. Verilerden çıkarılan özelliklerin diğer grubu, serinin tarih bileşenleridir. Tarihin yıl, ay, hafta, haftanın günü vb. gibi bağımsız bölümlere ayrıştırılması güçlü tahmin ediciler oluşturabilir. Bununla birlikte, bu özellikler, sıralı ve döngüsel değişken olmaları nedeniyle sistematik dönüşüm gerektirir. Başka bir deyişle, herhangi bir zaman değişken döngüsünün ilk ve son noktaları, ardışık orta noktalar kadar birbirine yakındır. Bu tür veriler genellikle ileri geri hareket eden iki değişkene dönüştürülür [248].

Tarih özelliği için gelişmiş bir dönüşüm, serinin herhangi bir gözleminin hafta sonu veya tatil gibi yılın özel bir zamanına ait olup olmadığını belirlemektir. Bu, önceki ve sonraki gözlemlerden olağan dışı sapmaların (izin verilen sınırlar dahilinde) nedenini anlamaya yardımcı olur.

Aynı tarih bölümlerinin ortalama değerlerinin hesaplanması ve karşılık gelen bölümler için atanması, nihai ayırt edici özellikler yaratır. Bu özellikler ve önemli gecikmeler, ayırt edici bir tahmin süreci sağlar. Dolayısıyla, verilerdeki her bir gözlem ait olduğu hafta içi, hafta veya ay ile ilişkili ortalama değerlerle zenginleştirilir. Bir gözlemin ortalama değeri, örneğin bir ay, yalnızca aynı aya ait gözlemler kullanılarak hesaplanır.

5.2.2.1 Model Geliştirme ve Özellik Seçme

Benzin tüketimini tahmin etmek için bu çalışmada kullanılan temel düzenleme teknikleri, doğrusal regresyon, ridge regresyon ve lasso regresyondur. Hata terimine (e) sahip, beklenen hata değeri 0 ($E[e] = 0$) ve sabit varyansa ($Var(e_i) = \sigma^2$) sabit bir doğrusal regresyon modeli için formülasyon Eşitlik (5.1)'deki gibidir:

$$y = \beta_0 I + X\beta + e \quad (5.1)$$

$y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$, gözlemlerin vektörü, I birim matris ve β_0 kesişim noktasıdır. X , bir $n \times p$ özellik matrisidir; β özelliklerin regresyon katsayılarının vektörüdür.

Doğrusal regresyon, çok sayıda özelliğin neden olduğu karmaşık ilişkiler nedeniyle, yüksek varyanslı katsayıları zayıf bir şekilde belirlenmiş bir modele neden olabilir. Ridge regresyon, yeterli katsayıları belirleme sorununu çözmek ve her biri küçük bir etkiye sahip birçok öngörücüye sahip yüksek kaliteli modeller geliştirmek için idealdir. Ridge regresyon, ilişkili öngörücülerin katsayılarını sıfıra indirerek bu sorunun üstesinden gelir ve tahmin performansını iyileştirir [249]. Ridge regresyon, Denklem 5.2'de verilen kayıp fonksiyonunu en aza indirir.

$$\min_{\beta} \left\{ \frac{1}{2N} \|y - X\beta\|_2^2 + \lambda \|\beta\|_2^2 \right\}, \quad \lambda \geq 0 \quad (5.2)$$

burada $y = (y_1, \dots, y_N)$ bağımlı değişkeni temsil eden $N \times 1$ boyutlu bir vektör, X , elemanları p bağımsız değişkenleri temsil eden $N \times p$ boyutlu bir matristir ve β , bağımsız değişkenlerin katsayılarının $p \times 1$ boyutlu vektörüdür. $\|\cdot\|_2$ Öklid mesafesini gösterir $\|\beta\|_2^2$, RR'yi sıradan regresyon analizinden farklı kılan λ ayar parametresi ile β üzerindeki l_2 norm cezasıdır [250]. β ve λ parametreleri için optimal değerler, çapraz doğrulama prosedüründe elde edilen ortalama hata karesi (MSE) performans ölçümüne göre belirlenir.

Özellik çıkarma işlemi kimi aşırı uyuma neden olabilir. Bu nedenle, etkili tahmin uygulamak için bir özellik seçimine/azaltmaya ihtiyaç vardır [251]. Model basitliğini sağlayan ve aşırı uyumu önleyen diğer düzenleme tekniği lasso regresyondur. [252].

Lasso regresyon, esasen Tibshirani tarafından en küçük kareler yönteminin engellerini ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir [253]. Ancak son zamanlarda yüksek boyutlu verileri analiz etmede tahmin performansını iyileştiren yöntemlerden biri olarak öne çıkmıştır [250]. Lasso regresyon, dahili bir değişken seçim yöntemidir, yani etkisiz değişkenleri ortaya çıkaran parametreleri kontrol etme yeteneğine sahiptir. Lagrange formunda verilen Denklem 5.3'e göre bazı regresyon katsayılarını küçülterek sıfır yapar [254]. Böylelikle tahmin doğruluğu ve yorumlama kolaylığı artar.

$$\underset{\beta}{\text{minimize}} \left\{ \frac{1}{2N} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta\|_2^2 + \lambda \|\beta\|_1 \right\}, \quad \lambda \geq 0 \quad (5.3)$$

burada $\|\cdot\|_1$ Manhattan mesafesi ve $\|\beta\|_1, \beta$ üzerinde l_1 norm cezasını gösterir.

Lasso regülarizasyon, bazı katsayıları sıfır olmaya zorlar, bu nedenle bazı tahmin ediciler, dizinin tahmininden tamamen çıkarılabilir. Sıfır olmayan katsayılar, zaman serilerini tahmin etmek için etkili değişkenleri işaretler. Geriye kalan değişkenler, serinin bölümleri ile kendisi arasındaki ilişkiyi temsil etmek için daha güçlüdür. Bu nedenle, lasso regresyon, zaman serileri için tahmin performansı artırırken, yalnızca en alakalı ve öngörücü özellik alt kümesiyle daha yorumlanabilir bir regresyon modeli üretir.

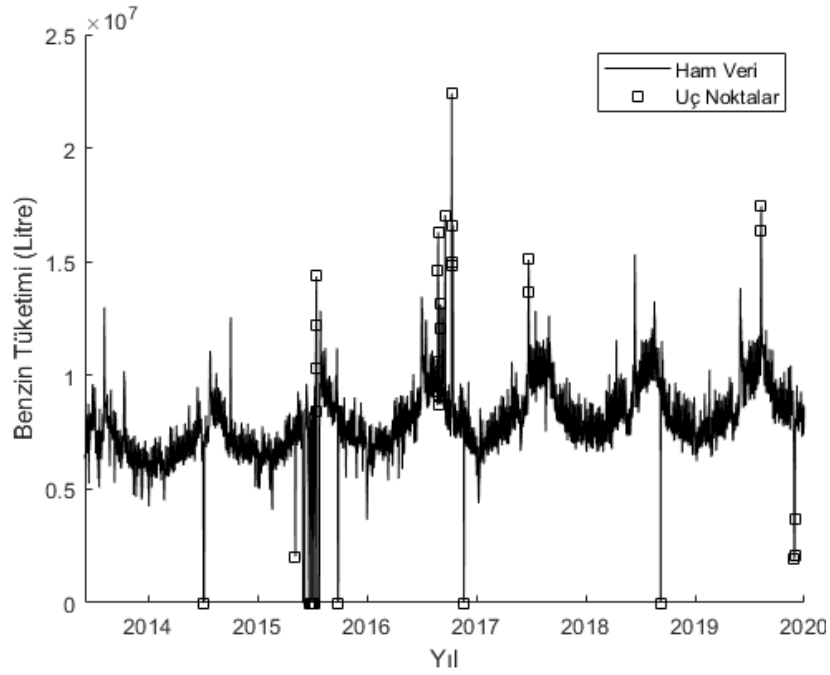
5.2.3 Önerilen Modeller ile Günlük Tahmin Yapılması

Çalışmada ele alınan her regresyon tekniğinin en iyi modelleri, test verilerinin zaman periyoduna karşılık gelen zaman periyodu için günlük benzin tüketimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Her modelin performansı tahmin hatasına göre karşılaştırılarak en iyi model önerilmiştir. Performans karşılaştırılmasında, ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) kullanılmıştır. MAPE hatanın yorumlanmasını basitleştiren bir karşılaştırmalı ölçümdür. Denklem 5.4, n gözlemi olan gerçek değerler (A) ile karşılık gelen tahmin edilen değerler (F) arasındaki ortalama mutlak yüzde hatasını verir.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(|A_t - F_t|)^2}{A_t} \quad (5.4)$$

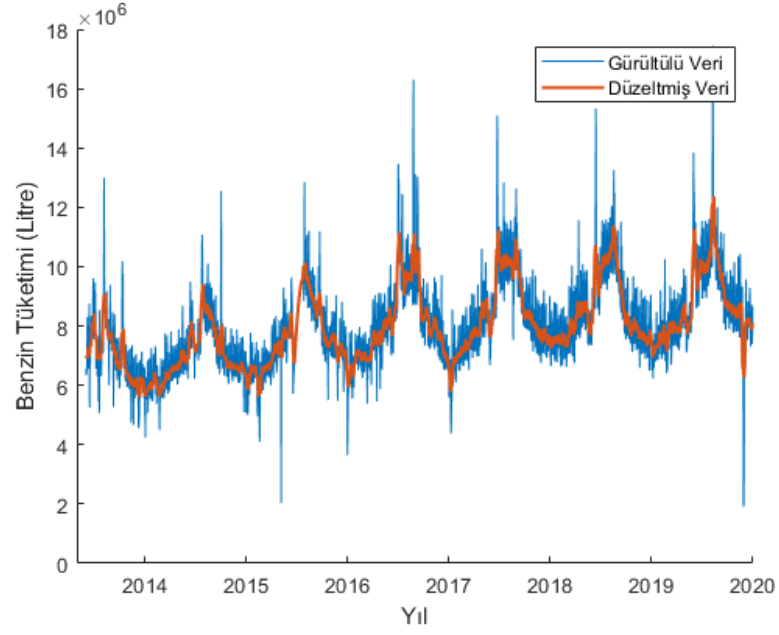
5.3 Türkiye’de Günlük Tüketilen Benzinin Tahmin Edilmesi

Çalışmada kullanılan ham veriler, 2013-06-03 ve 2019-12-31 aralığında ölçülen gözlemleri içeren altı buçuk yıllık bir günlük zaman serisidir ve Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Serinin, birkaç aşağı ve yukarı doğru sivri uçları vardır ve bu sivri uçlar muhtemelen aykırı veya eksik bir değerdir. Tüm birim zamanın geçerli bir değere sahip olmasını sağlamak için, anormal olabilecek gözlemler tespit edilir ve daha makul muadilleriyle değiştirilir.



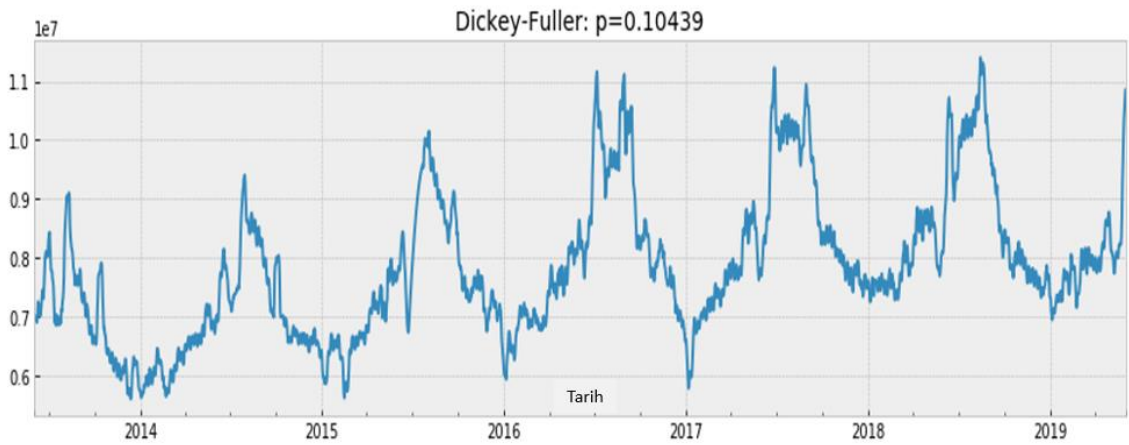
Şekil 5.1 Ani değişimler olarak gösterilen ham verilerdeki anormal değerler

Grafikte gösterilen çizgiyi 5 geri ve 5 ileri gözlemin hareketli ortalamaları ile düzleştirerek öngörülebilirliği geliştirmek için ikinci bir ayar uygulanmıştır. Şekil 5.2, gürültünün anormallerden arındırıldığı ve tamamen temizlendiği zaman serilerini göstermektedir. Şekil 5.1, anormal gözlemlere (kare olarak işaretlenmiş) sahip orijinal zaman serisini ve düzeltilmiş zaman serisini gösterir.



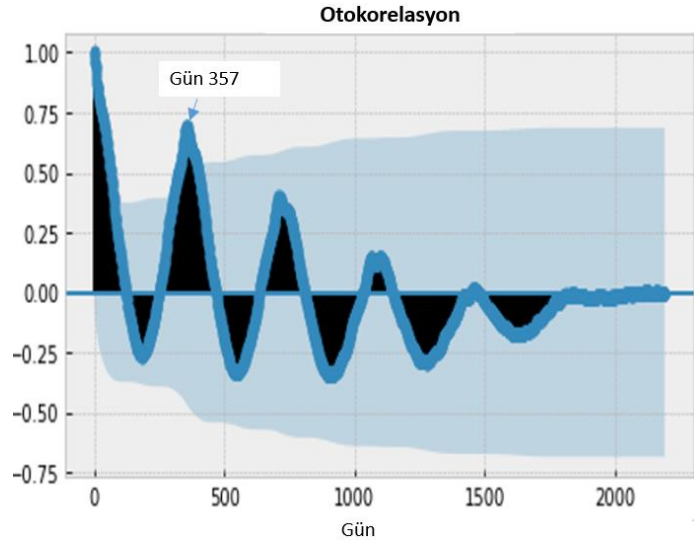
Şekil 5.2 Anormallerden arındırılmış ve tamamen temizlenmiş zaman serileri

Çalışmada kullanılan zaman serileri, Dickey-Fuller testi sonucuna göre durağan değildir. Şekil 5.3, 0.05 anlamlılık seviyesinde 0.104 p değerinin test sonucuna sahip, durağan olmayan bir zaman serisini göstermektedir. Öngörmenin durağan olmaması nedeniyle makul bir tahmin doğruluğu sağlamadığı düşünülebilirse de, birinci tip hatayı %10,4 yapma oranı göz önüne alındığında durağan bir zaman serisi gibi davranması beklenebilir. Ek olarak, çalışmadaki tahmin yaklaşımı, mevcut durağanlık varsayımını gerektirmez.



Şekil 5.3 Dickey-Fuller test sonuçları

Şekil 5.4, seri ve tüm olası gecikmeleri arasındaki korelasyon değerlerini göstermektedir. Grafik, güçlü negatif ve pozitif korelasyon döngülerini gösteren sinüs benzeri dalgalara sahiptir ve bu, zaman serilerindeki mevsimselliğin güçlü bir işaretidir. İlk gecikmeden yaklaşık 365 gecikme sonra, tekrar yüksek bir korelasyon (maksimum 0,71) oluşur. Böylelikle aynı sezonda yaklaşık bir yıl olan geçmiş noktalarla bir zaman serisi arasında ilişki olduğu basitçe anlaşılabilir.



Şekil 5.4 Seri ve tüm olası gecikmeleri arasındaki korelasyon değerleri

Veriler temizlendikten ve düzleştirildikten sonra rastgele olmayan bölme uygulanır. Ayrıca, ilk yıl (2013-06-03 ve 2014-06-02) 365 gecikme nedeniyle verilerden çıkarılmıştır. Ardından, kalan veriler üç bölüme ayrılır: Eğitim, doğrulama ve test verileri. Eğitim verileri ilk %75 (2014-06-03 ve 2018-08-04 arası puan), doğrulama verileri yaklaşık %16 (2018-08-05 ve 2019-06-02) ve test verileri ise (2019-06-03 ve 2019-12-31) kalan verilerdir.

Yukarıda bahsedildiği gibi, zaman serileri yaklaşık yıllık mevsimsel varyasyona sahiptir. Bu nedenle 0,71 ile en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan 356. gecikme civarındaki gecikmelerin tahmin edici olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bu gecikmelere ek olarak, zaman serileri ile makul bir korelasyona (≥ 0.6) sahip alternatif gecikmeler, tahmin performansına katkıları açısından değerlendirilir [255]. Analize dahil edilen tüm gecikmelerin büyüklükleri, doğrulama ve test verileri için sırasıyla 320 gün ve 120 gün olan tahmin dönemlerinden daha büyüktür.

Çalışmada kullanılan veriler günlük noktalardan oluşmaktadır, bu nedenle 'haftanın günü', 'yılın haftası' ve 'ay' kısımlarına bölünmüştür. Birim zamanın zaman damgasının günlük, haftalık ve aylık emsallere dönüşümü sırasıyla Denklem 5.5-5.6, 5.7-5.8 ve 5.9-5.10'a göre yapılır.

$$DayOfWeek_X_t = \sin(2*\pi*WeekDayOfO_t/7) \quad (5.5)$$

$$DayOfWeek_Y_t = \cos(2*\pi*WeekDayOfO_t/7) \quad (5.6)$$

$$Week_X_t = \sin(2*\pi*WeekOfO_t/52) \quad (5.7)$$

$$Week_Y_t = \cos(2*\pi*WeekOfO_t/52) \quad (5.8)$$

$$Month_X_t = \sin(2*\pi*MonthOfO_t/12) \quad (5.9)$$

$$Month_Y_t = \cos(2*\pi*MonthOfO_t/12) \quad (5.10)$$

Bu denklemler şu şekilde özetlenebilir:

$$\tau_x^t = \sin\left(2 * \pi * \frac{\tau^t}{\rho}\right) \quad (5.11)$$

$$\tau_y^t = \cos\left(2 * \pi * \frac{\tau^t}{\rho}\right) \quad (5.12)$$

burada τ^t , t zaman adımı O_t gözlemi için dönüştürülecek karşılık gelen zaman bileşenidir. τ_x^t ve τ_y^t , zaman bileşeninin dönüştürülmüş formlarıdır ve ρ , belirli bir zaman dilimindeki zaman bileşeninin sayısıdır. ρ , örneğin, gözlemin zaman bileşenleri sırasıyla hafta ve hafta içi olduğunda 52 ve 7'dir.

Başka bir bireysel özellik, herhangi bir zaman damgasının olağan dışılığı, hafta sonu olarak belirlenir. Seri, günün hafta sonu (1) olup olmamasına (0) göre iki terimli bir şema olarak kodlanır.

Yılın herhangi bir ayı, yılın herhangi bir haftası ve haftanın herhangi bir günü için ortalama değerler, yalnızca eğitim verileri dikkate alınarak eğitim verileriyle temsil edilen zaman aralığı için hesaplanır. Aksine, test verilerinin temsil ettiği zaman

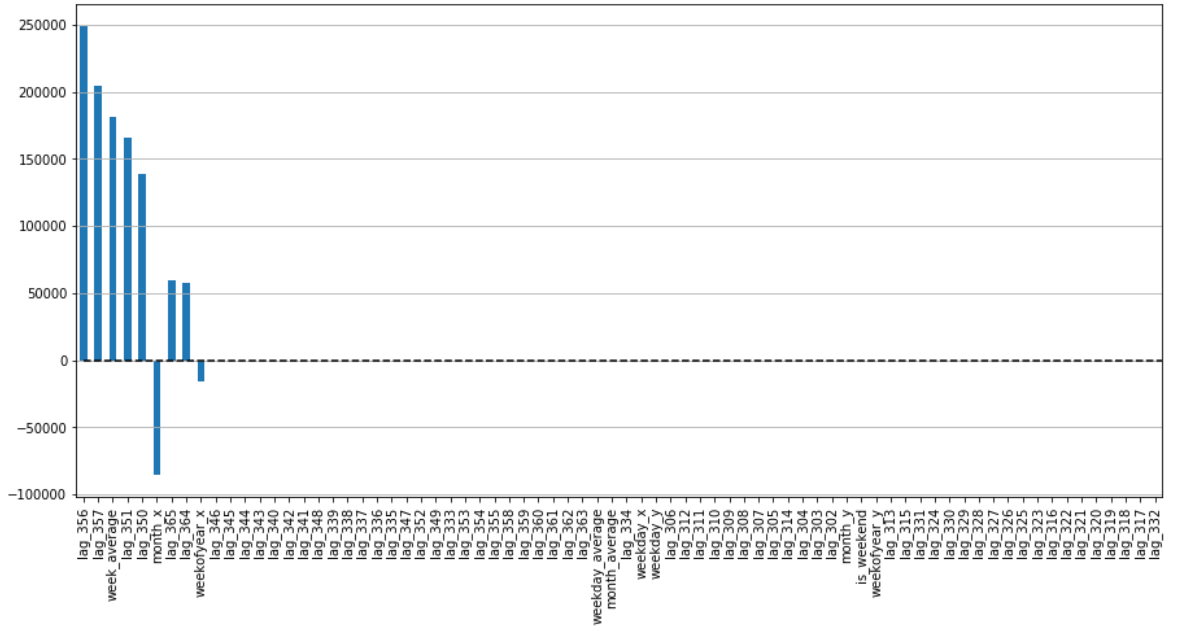
periyodu için ortalama değerler, artık bilinen hem eğitim hem de doğrulama verileri dikkate alınarak hesaplanır.

300 gün sonrasına kadar tahmin yapabilmek için özellik çıkarma aşamasında 74 farklı özellik üretilir. Tahmin ediciler, zaman serisinin kendisiyle en az 0,6 korelasyon katsayısına sahip yedi zaman bileşeninden,  ortalamadan ve 64 farklı gecikmeden oluşur. ngrcler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Kullanılan tahmin ediciler

Zaman Bileşenleri	Gecikmeler	Ortalamalar
weekday_x	lag_302	weekday_average
weekday_y	lag_303	month_average
weekofyear_x	lag_304	week_average
weekofyear_y	...	
is_weekend	lag_363	
month_x	lag_364	
month_y	lag_365	

Tablo 5.1'de verilen 74 ngrcnn tümü ile zaman serileri arasındaki doğrusal ilişki göz önüne alındığında, doğrusal regresyon modeli, test verileri için zaman serilerinin değişimini yaklaşık %63 oranında açıklama kapasitesine sahiptir. Ridge regresyon, test verileri için %73 ile daha fazla açıklama kapasitesine sahiptir, ancak tüm tahmin edicileri de kullanır. Bu modeller tüm özellikleri kullanır ve onları basitçe yorumlamak için daha karmaşık bir denklem oluşturur. Bununla birlikte Lasso regresyon, açıklama kapasitesini artırırken daha yorumlanabilir bir model oluşturur. Bu nedenle benzin tüketimi için tahmin modeli olarak Lasso regresyon kullanılmasına karar verilmiştir. Sıfır katsayılı diğer 65 özelliğin çıkarılmasıyla Lasso regresyon, sıfır olmayan katsayılara sahip 9 özelliğe sahip bir modelle sonuçlanır. Sıfır olmayan katsayılara sahip özellikler şekil 5.5'de gösterilmiştir. 350., 351., 356., 357., 364. ve 365. gecikmeler ($lag_{350(t)}$, $lag_{351(t)}$, $lag_{356(t)}$, $lag_{357(t)}$, $lag_{364(t)}$, $lag_{365(t)}$), haftanın_ortalaması ($weekaverage_{(t)}$), haftanın_yılı_x ($weekofyear_{x(t)}$) ve ay_x ($month_{x(t)}$) tahmin edicileri seriyi etkilerken diğerleri şekil 5.5'de grldğu gibi etkisiz hale gelir.



Şekil 5.5 Lasso regresyon katsayıları

Tahmin edicilerin regresyon katsayılarını kullanan Lasso regresyona dayalı tahmin modeli Eşitlik 5.13 ile verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 & \text{Benzin Tükekimi}(t) \\
 &= 8076655,1023 - 15844,1\text{weekofyear}_{x(t)} \\
 & - 85569,3\text{month}_{x(t)} + 138963\text{lag}_{350(t)} \\
 & + 165948\text{lag}_{351(t)} + 248897\text{lag}_{356(t)} + 205054\text{lag}_{357(t)} \\
 & + 58063,4\text{lag}_{364(t)} + 59686,4\text{lag}_{365(t)} \\
 & + 181337\text{weekaverage}_{(t)}
 \end{aligned} \tag{5.13}$$

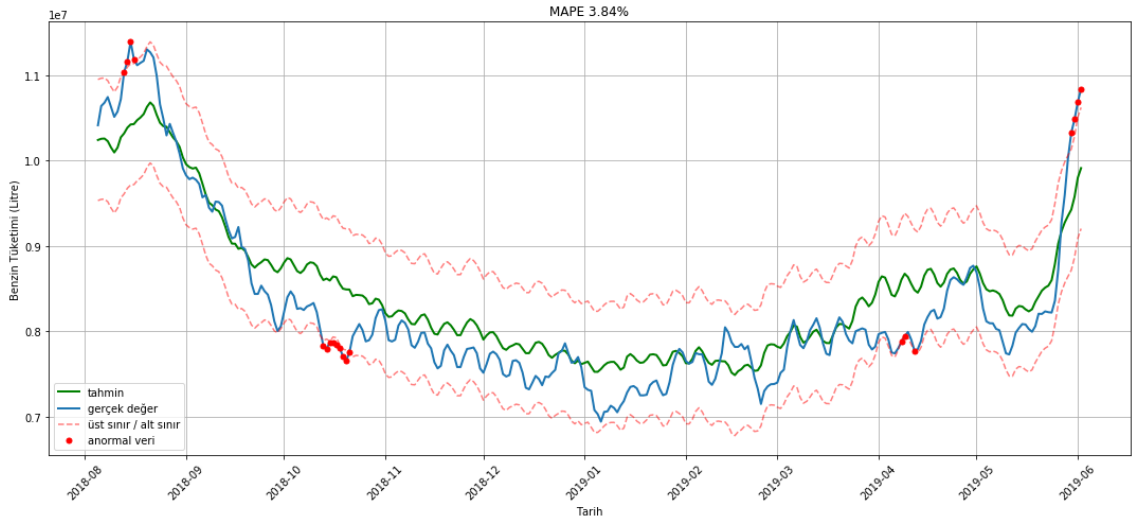
R^2 , test verileri için Lasso regresyon modeli ile %82'ye yükselir. Tablo 5.2 eğitim, doğrulama ve test verileri için R^2 değerlerini ve MAPE düzeyini vermektedir.

Tablo 5.2 Kullanılan tahmin modellerinin R^2 ve MAPE değerleri

	Doğrusal Regresyon		Ridge Regresyon		Lasso Regresyon	
	R^2	MAPE	R^2	MAPE	R^2	MAPE
Eğitim	%89	%3,55	%89	%3,54	%88	%3,76
Doğrulama	%83	%4,20	%83	%4,13	%85	%3,84
Test	%63	%6,13	%72	%4,88	%82	%4,13

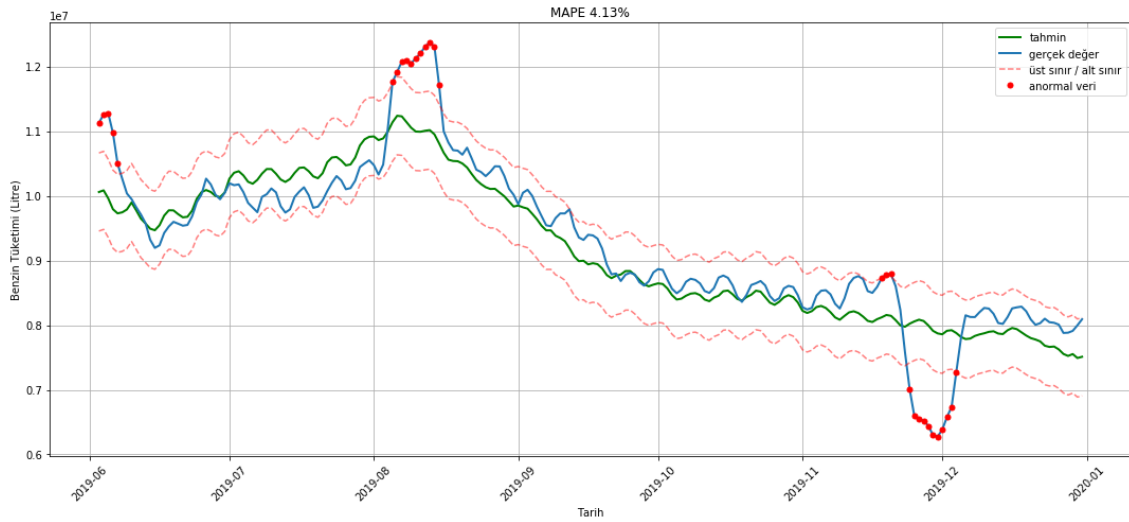
Üç regresyon modeli eğitim verileri için benzer performans seviyelerine sahipken, Lasso regresyon hem MAPE hem de R^2 değerlerine göre doğrulama ve test verileri için daha doğru sonuçlar üretir.

Şekil 5.6, Lasso regresyon modelinin doğrulama verileri için tahmin modelini göstermektedir. Model tahminleri, gerçek doğrulama değerlerinden genel olarak %3,84 MAPE ile sapmaktadır. Eğitim verilerinin getirdiği sınır değerlere göre çizilen üst ve alt sınırlar, gerçek verilerde aykırı bir gözlemi işaret etmektedir. Tahmin hatasının bu seviyede oluşmasının nedeni olarak bu durum gösterilebilir.



Şekil 5.6 Lasso regresyon modelinin doğrulama verileri için tahmin modeli

Şekil 5.7, Lasso regresyon modelinin test verileri için tahmin modelini göstermektedir. Test verileri için tahmin hatası olarak %4,13 MAPE ortaya çıkmaktadır. Test verileri ile birleştirilen eğitim verilerinin empoze ettiği üst ve alt sınırlar dikkate alındığında test verileri daha fazla anormal değere sahiptir.



Şekil 5.7 Lasso regresyon modelinin test verileri için tahmin modeli

Önerilen tahmin metodolojisi sonucunda, tahmin edilen günlük benzin tüketimi ile benzin tüketimine uygun stratejiler geliştirilecek ve yöneticiler daha doğru planlama faaliyetleri geliştirilecektir. Günlük benzin tüketiminin öngörülmesi ile tedarik edilecek benzin miktarı belirlenerek, benzin dağıtımın doğru planlanması ve zamanında uygulanması sağlanacaktır. Önerilen bu tahmin metodolojisi Türkiye için uygulanıp doğrulanmıştır. Bu metodolojinin kullanılmasıyla tüm dünya ülkelerinde benzin tüketimi ile ilgili daha planlı adımlar atılabilir ve bu sayede daha sağlıklı bir benzin tedarik zinciri sistemi kurulabilir.

5.4 Yapılan Tahmin Uygulamasının Sonuçları

Günümüzde benzine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Benzin hemen hemen her endüstride kullanılmaktadır. Benzinin ekonomik önemi büyüktür. Benzin tüketimi hala dünyanın hemen hemen her yerinde ülke ekonomilerini ciddi şekilde etkilediğinden, benzin tüketimi konusunda doğru tahminler yapmak, gerekli önlemleri almak; bu ülkeleri ekonomi açısından doğru stratejiler geliştirmek için atılması gereken en önemli adımlardan biridir. Bununla birlikte, bu tahminlerin yanı sıra, çevre kirliliğini azaltmak için hızlı önlemler almak şu anda çevre üzerinde büyük etkisi olan benzin tüketimini günlük olarak tahmin etmek çok önemlidir. Bu sayede müşteriler ve tedarikçiler arasında benzin tedarikinin gerçekleştirilmesinde doğru planlama yapılabilir ve benzin gibi vazgeçilmez bir ürün için sorunsuz bir tedarik zinciri sistemi oluşturabilir. Bu bölümde, özellikle kısa vadeli

operasyonlarda kullanılmak üzere günlük olarak kullanılabılen dinamik bir tahmin modeli literatüre tanıtılmıştır. Türkiye için benzin tüketimi son altı buçuk yıllık veriler kullanılarak bu model ile günlük olarak tahmin edilmektedir. Bu amaçla, Türkiye için günlük benzin tüketimi bu çalışmada Lasso regresyon kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu bölümde ayrıntılarıyla açıklanan tahmin metodolojisi kullanılarak akaryakıt istasyonlarının günlük ürün talepleri tahmin edilmiştir. Yapılan tahminler matematiksel modele entegre edilmiştir.

ZAMAN BAĞIMLI ZAMAN PENCERELİ AKARYAKIT İSTASYONU İKMAL PROBLEMİ

6.1 Akaryakıt İstasyonu İkmal Problemi

Petrol ve petrol ürünleri tüketiminin artması ile birlikte bu sınırlı kaynakların verimli, doğru ve minimum zararla taşınması gerekmektedir. Literatürde bu tür problemler daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi tehlikeli madde taşıma problemi başlığı altında ele alınmaktadır.

Tehlikeli madde taşıma probleminde en sık kullanılan yöntemlerin matematiksel modelleme uygulamaları olduğu söylenebilir. Ancak literatürde tehlikeli madde taşımacılığı problemlerinde matematiksel modelleme kadar ÇKKV yaklaşımlarını da kullanan pek çok çalışma görülmektedir. Bu çalışmaların öne çıkanları Bölüm 4'te özetlenmiştir. Ayrıca matematiksel model kullanan çalışmalardan bazıları, amaç fonksiyonu ve kullanılan çözüm yöntemine göre Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Tehlike madde taşıma problemlerinde kullanılan amaç fonksiyonları ve yöntemler

Kaynak	Ele Alınan Problem Yapısı	Çözüm Yöntemi	Amaç Fonksiyonu
[256]	Geleneksel	Karışık tam sayılı programlama	Minimum mesafe
[257]	Çok amaçlı stokastik-dinamik	Sezgisel algoritma	Minimum mesafe
[258]	Çok amaçlı	Çok amaçlı programlama	Minimum risk, maliyet, etkilenen nüfus
[259]	Bölünmüş talepli	İki seviyeli programlama	Minimum maliyet
[260]	Çok ürünlü	Karışık tam sayılı programlama	Minimum mesafe
[261]	Araç odaklı risk	Çok amaçlı programlama	Minimum risk
[262]	Tehlikeli atık içeren	Hedef programlama	Minimum maliyet

Tehlikeli madde taşımacılığı problemleri yapılarına göre kesinlik (deterministik) ve belirsizlikle (stokastik, bulanık veya gürbüz) ilgilenir. Bu problemler, risk, maliyet, mesafe ve araç faktörleri, güvenlik koşulları, çevre, deniz ve enerji kısıtlamaları, trafik yoğunluğu ve daha fazlasıyla ilgili çok çeşitli gerçek yaşam kısıtlamalarını

içerebilir [21]. Tablo 6.1'de görülebileceği gibi, problem için farklı amaç fonksiyonları vardır. Bu çalışmada toplam riskin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Tehlikeli madde taşımacılığı problemin özel bir varyasyonu akaryakıt istasyonu ikmal problemidir. Problemin temelinde akaryakıt istasyonlarına rafineri gibi konumlardan ürün tedarikinin belirlenen amaç dahilinde sağlanması amaçlanır. Çalışmanın devamında literatürdeki akaryakıt istasyonu ikmal problemlerine yönelik çalışmalar incelenmiş ve Tablo 6.2'de özetlenmiştir.

Tablo 6.2 Akaryakıt istasyonu ikmal problemi çalışmalarında kullanılan amaç fonksiyonları ve yöntemler

Kaynak	Ele Alınan Problem Yapısı	Çözüm Yöntemi	Amaç Fonksiyonu
[263]	Çok aşamalı	Karışık tam sayılı programlama	Maksimum kar
[264]	Çok aşamalı	Sezgisel algoritma	Maksimum servis seviyesi
[265]	Geleneksel	Çok amaçlı programlama	Maksimum servis seviyesi
[266]	Çok ürünlü, çok aşamalı	Karışık tam sayılı programlama	Maksimum kar
[267]	Çok ürünlü, çok depolu	Karışık tam sayılı programlama	Minimum maliyet
[268]	Geleneksel	Tur çantası problemi	Maksimum kar
[269]	Çok ürünlü, çok aşamalı, çok depolu	Sezgisel algoritma	Maksimum kar
[270]	Periyodik	İki seviyeli programlama	Maksimum servis seviyesi
[271]	Çok aşamalı	Sezgisel algoritma	Minimum mesafe
[272]	Çok ürünlü, çok aşamalı	Karışık tam sayılı programlama	Minimum maliyet
[273]	Çok ürünlü, çok aşamalı, çok depolu	Karışık tam sayılı programlama	Minimum mesafe
[274]	Çok ürünlü, çok aşamalı	Karışık tam sayılı programlama	Minimum mesafe
[275]	Periyodik	Karışık tam sayılı programlama	Minimum mesafe
[276]	Heterojen filo	Karışık tam sayılı programlama	Minimum mesafe
[277]	Talep tahminli	İki seviyeli programlama	Minimum mesafe ve kayıp

Benantar, Ouafi ve Boukachour, akaryakıt istasyonu ikmal problemini ayarlanabilir taleple ele almıştır. Akaryakıt istasyonu talebini minimum maliyetle karşılamayı hedeflemişlerdir. Çalışmada, bir matematiksel model önerilmiş ve bu model tabu aramasıyla çözülmüştür [278]. Wang vd., istasyonların çoklu kamyonlarla yeniden tedarik edilmesini içeren yakıt ikmal problemine odaklanmışlardır. Problem, çok bölmeli, çok yollu, bölünmüş teslimatlı araç rotalama problemi olarak modellenmiş ve Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Araması algoritması kullanılarak ile çözülmüştür [279]. Al-Hinai ve Triki, problemi periyodiklik kısıtlamaları ile sunmuş ve frekans hizmeti seçimini tanıtmak için yeni karar değişkenleri tanımlamıştır. Daha sonra bu problemi çözmek için iki aşamalı bir sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir [275].

Tablo 6.2'de görülebileceği gibi literatürde akaryakıt istasyonu ikmal problemi için farklı uzantılar ve yaklaşımlar bulunmaktadır. Literatür araştırmasına göre bu çalışmada ele alınan problem, değişken trafik yoğunluğunu hesaba kattığı için yeni bir akaryakıt istasyonu ikmal problemi olarak görülmektedir. Bu çalışma, diğer çalışmaların yanı sıra, gerçekçi bir amaç fonksiyonu olan zaman bağımlılığı ve zaman penceresi ile ilgilenmektedir. Ayrıca, bu çalışmanın İstanbul'da bir gerçek hayat uygulamasıyla uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Bu çalışma, rafineriden temin edilen petrolün farklı bölgelerdeki benzin istasyonlarına çevre ve deniz kirliliği açısından minimum riskle taşınması için bir karar destek sistemi hazırlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca önerilen matematiksel model, karbon emisyonunu azaltmak için tankerin toplam seyahat mesafesini de azaltacaktır. Çünkü yakın gelecekteki emisyon alanı son derece katı olacaktır [280]. Mevcut çalışma, literatürdeki aşağıdaki boşlukları doldurmaktadır:

- Bu çalışma, zaman bağımlılığı ve gerçekçi bir amaç fonksiyonu olan zaman penceresi ile ilgilenmektedir.
- Bu çalışma, bir kaza durumunda çevresel riskleri ele almaktadır.
- Risklerin belirlenmesinde PB-AHP tekniği kullanılmıştır.
- Bu çalışma, petrol taşımacılığında yapılan ilk zaman bağımlı araç rotalama problemi uygulamasıdır.
- Bu çalışmanın İstanbul'da bir gerçek hayat uygulamasıyla uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında petrol istasyonlarına petrol dağıtan halka açık bir şirketin problemi ele alınmıştır.

6.2 Akaryakıt İstasyonu İkmal Problemi için Önerilen

Matematiksel Model ve Varsayımları

Bu bölümde ele alınan zaman bağımlı ve zaman pencereli akaryakıt istasyonu ikmal problemini çözmek için önerilen metodolojinin adımları tanıtılmıştır. Veri toplama, matematiksel modelleme ve duyarlılık analizi aşamaları temel metodoloji adımlarıdır. Modeli çözmek için toplanacak veriler trafik verilerini, mesafeleri, hizmet sürelerini ve zaman pencerelerini içerir.

Trafik verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan trafik yoğunluk haritasından toplanmaktadır. Akaryakıt istasyonları arası mesafeler Google Haritalar ile elde edilmiş ve akaryakıt istasyonlarının servis sürelerinin bilindiği varsayılmıştır. Firmanın dağıtım stratejisine göre zaman aralıkları belirlenir. Daha sonra, problemi çözmek için önerilen matematiksel model bu veriler kullanılarak yapılandırılır ve çözülür. Matematiksel model IBM ILOG Cplex OPL Optimization Studio 12.8 kullanılarak çözülmüştür. Son olarak, sonuçlar rotalar ve seyahat süreleri olarak sunulmuş ve duyarlılık analizi ile ölçülmüştür. Problemde çevresel kaygılar dikkate alınarak toplam riskin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Dağıtım ağındaki araçların seyahat süresi ne kadar azsa, kaza riski de o kadar azdır. Böylece, gerçek yaşam uygulamasının pratik potansiyelini böylece vurgulanmaktadır. Yapılan uygulama ile ilgili temel bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

- İstanbul'da hizmet veren halka açık bir şirketin akaryakıt istasyonu ikmal problemi ele alınmıştır.
- Petrol, rafineriden tek bir tanker ile akaryakıt istasyonlarına günlük olarak dağıtılmaktadır.
- Akaryakıt istasyonları ve rafinerinin çoğu deniz kenarında yer almaktadır.
- İstasyonlar gemilerle petrol tedarik edecek altyapıya sahip değildir ve bazı istasyonlara sadece karayolu ile ulaşılabilir. Bu yüzden petrolün mutlaka kara yolu ile dağıtılması gerekmektedir.
- Petrol dağıtımı, her istasyonun hizmete uygun olduğu zaman aralığında yapılmalıdır.
- Tanker hızı trafik yoğunluğuna göre değişmektedir.
- Tankerin kullanacağı güzergahın riski belirlenirken; tankerin yolda geçireceği zaman, yolların denize yakınlığı ve yol yapısı (eğim, şerit sayısı, ana yol, tali yol vb.) gibi faktörler dikkate alınmıştır.
- Rafineriye dönen tankerin petrol taşımaması nedeniyle denizin kirlenme riskinin oluşmayacağı varsayılmıştır.

Yukarıda verilen bilgilere dayanılarak problem için matematiksel bir model hazırlanmıştır. Matematiksel modelde, $G=(N,A)$ olarak ifade edilen yönlendirilmiş bir grafik üzerinde tanımlanır, burada N düğümler kümesini ve A , düğümler

arasındaki bağlantı kümesini temsil eder. Her bir akaryakıt istasyonunun ve rafinerinin konumu bir düğüm olarak gösterilir. "1" dizini rafineri düğümünü temsil eder. Bağlantı kümesi $A = \{(i, j) : \forall i, j \in N, i \neq j\}$ üzerinde tanımlanır ve d_{ij} negatif değildir; ayrıca $d_{ij} = d_{ji}$. Her akaryakıt istasyonunun bir servis zamanı S_i ve zaman penceresi m_i, n_i vardır. Akaryakıt istasyonuna varış saati (A_i) $m_i \leq A_i \leq n_i$ olmalıdır. Aracın varış zamanı m_i 'den önceyse, servisin başlaması mümkün olana kadar (W_i) beklemelidir.

T üzerinde tanımlanan zaman aralıklarının başlama zamanı B_t ve bitiş zamanı E_t vardır. V_t hızı bu zaman aralığında değişir. Tankerin i ve j düğümleri arasındaki seyahat süresi (t_{ij}), V_t hızı ve d_{ij} mesafesi dikkate alınarak hesaplanır. Yolculuk "t" zaman aralığında başlar ve bir sonraki zaman aralığı "u" ile biterse, yolculuk mesafesi $(E_t - D_i)V_t + (A_j - B_u)V_u$ üzerinden gidiş ve varış zamanları kullanılarak hesaplanır. Rafineriden çıkan tankerin mesai saatleri (06.00-18.00 arası) içerisinde operasyonlarını tamamlayarak depoya geri dönmesi gerektiği varsayılmaktadır. Ayrıca tankerin akaryakıt istasyonlarına 06.00-18.00 saatleri arasında petrolü teslim etmesi gerektiği ve bu teslim süreleri istasyonların zaman pencerelerine göre değiştiği varsayılmaktadır. Her 60 dakikalık periyot için trafik yoğunluğu incelenir (örneğin 06.00-07.00, 7.00-8.00 vb.) ve bu veriler modelde kullanılır. Özetle, tanker rafineriden çıkar, akaryakıt istasyonlarına hizmet verir ve rafineriye döner. Problemin amacı, toplam riski en aza indirirken tüm benzin istasyonlarına hizmet vermektir.

Setler

T Zaman aralıkları seti

I Düğümler seti

Parametreler

d_{ij} Düğümler arası mesafeler (i, j)

R_{ij} Düğümler arası riskler (i, j)

V_t Zaman aralığına göre tanker hızı (t)

B_t Zaman aralığının başlangıcı (t)

E_t Zaman aralığının sonu (t)

S_i Akaryakıt istasyonunun servis süresi (i)

$[m_i, n_i]$ Zaman penceresi (i)

M Yeterince büyük bir sayı

Karar Değişkenleri

A_i Tankerin istasyon (i)ye varış zamanı

L_i Tankerin istasyon (i)den ayrılma zamanı

t_{ij} Tankerin bağlantı (i, j) arası yolculuk süresi

W_i İstasyon (i) nin bekleme süresi

$X_{ij} \begin{cases} 1, & \text{eğer bağlantı (i, j) tanker tarafından kullanılırsa;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

$Y_{ij}^{tu} \begin{cases} 1, & \text{tanker noktalar (i, j) arası yolculuğa (t) zaman diliminde başlar;} \\ & \text{yolculuğu (u) zaman diliminde bitirirse} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in I/1} t_{ij} R_{ij} \quad (6.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{t \in T} \sum_{u \in T} Y_{ij}^{tu} = X_{ij} ; (\forall i, j \in I) \quad (6.2)$$

$$t_{ij} \leq M X_{ij} ; (\forall i, j \in I) \quad (6.3)$$

$$t_{ij} \leq A_j - L_i + M(1 - X_{ij}) ; (\forall i, j \in I) \quad (6.4)$$

$$t_{ij} \geq A_j - L_i + M(X_{ij} - 1) ; (\forall i, j \in I) \quad (6.5)$$

$$d_{ij} - M(2 - X_{ij} - Y_{ij}^{tt}) \leq (A_j - L_i) V_t ; (\forall i, j \in I), (\forall t \in T) \quad (6.6)$$

$$d_{ij} - M(X_{ij} + Y_{ij}^{tt} - 2) \geq (A_j - L_i)V_t ; (\forall i, j \in I), (\forall t \in T) \quad (6.7)$$

$$\begin{aligned} & d_{ij} - M(2 - X_{ij} - Y_{ij}^{tu}) \\ & \leq (E_t - L_i)V_t + \sum_{t < \rho < u} (E_\rho - B_\rho)V_\rho + (A_j \\ & - B_u)V_u ; (\forall i, j \in I), (\forall t, u \in T), u > t \end{aligned} \quad (6.8)$$

$$\begin{aligned} & d_{ij} - M(X_{ij} + Y_{ij}^{tu} - 2) \\ & \geq (E_t - L_i)V_t + \sum_{t < \rho < u} (E_\rho - B_\rho)V_\rho + (A_j \\ & - B_u)V_u ; (\forall i, j \in I), (\forall t, u \in T), u > t \end{aligned} \quad (6.9)$$

$$\sum_{j \in I} \sum_{t, u \in T} Y_{ij}^{tu} E_t \geq L_i ; (\forall i \in I) \quad (6.10)$$

$$\sum_{j \in I} \sum_{t, u \in T} Y_{ij}^{tu} B_t \leq L_i ; (\forall i \in I) \quad (6.11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t, u \in T} Y_{ij}^{tu} E_u \geq A_j ; (\forall j \in I) \quad (6.12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t, u \in T} Y_{ij}^{tu} B_u \leq A_j ; (\forall j \in I) \quad (6.13)$$

$$L_i = A_i + S_i + W_i ; (\forall i \in I) \quad (6.14)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = 1 ; (\forall j \in I) \quad (6.15)$$

$$\sum_{j \in I} X_{ij} = 1 ; (\forall i \in I) \quad (6.16)$$

$$A_i + W_i \geq m_i ; (\forall i \in I) \quad (6.17)$$

$$L_i \leq n_i ; (\forall i \in I) \quad (6.18)$$

$$L_1 \leq L_i ; (\forall i \in I) \quad (6.19)$$

$$A_1 \geq A_i ; (\forall i \in I) \quad (6.20)$$

$$A_i, L_i, t_{ij}, W_i \geq 0 ; (\forall i, j \in I), (\forall t \in T) \quad (6.21)$$

$$X_{ij}, Y_{ij}^{tu} \in \{0,1\} ; (\forall i, j \in I), (\forall t, u \in T) \quad (6.22)$$

(6.1) Eğer bağlantı (i,j) kullanılıyorsa, yolda geçirilen süre ile yolun riski çarpılarak toplam riskin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. (6.2) Kullanılan yol mutlaka bir zaman diliminde başlayıp, aynı ya da farklı bir zaman diliminde tamamlanmalıdır. (6.3) Geçiş süresi, yolun kullanım durumuna göre değer alır. (6.4-6.5) Rota üzerindeki noktalar arası geçiş süresi, ilk noktadan ayrılış zamanı ile bir sonraki noktaya varış zamanı arasındaki fark olarak belirlenmiştir. (6.6-6.7) Noktalar arası geçiş eğer aynı zaman diliminde başlayıp bitiyorsa, bir sonraki varış zamanı sadece aracın o zaman aralığındaki hızı ve katettiği mesafe kullanılarak hesaplanır. (6.8-6.9) Noktalar arası geçiş eğer aynı zaman diliminde başlayıp farklı zaman diliminde bitiyorsa; bir sonraki noktaya varış zamanı, bu zaman dilimlerinde katedilen mesafeler ve değişebilen hızlar kullanılarak hesaplanır. (6.10-6.11) Noktalardan ayrılış zamanları mutlaka bir zaman diliminin başlangıcından sonra, farklı bir zaman diliminin bitişinden önce olmalıdır. (6.12-6.13) Noktalara varış zamanları mutlaka bir zaman diliminin başlangıcından sonra, farklı bir zaman diliminin bitişinden önce olmalıdır. (6.14) Noktalardan ayrılış zamanı; varış zamanı, bekleme süresi ve hizmet süresinin toplamına eşittir. (6.15) Tanker, her noktaya mutlaka bir kez gitmelidir. (6.16) Tanker, her noktadan mutlaka bir kez ayrılmalıdır. (6.17) Tanker bir istasyona erken gelirse, o istasyonun hizmet almak için uygun olduğu zamana kadar beklemelidir. (6.18) Tanker, istasyonun hizmet alabileceği zaman aralığı bitmeden istasyondan ayrılmalıdır. (6.19) Tankerin rafineriden ayrılma zamanı, tüm düğümlerin çıkış sürelerinden daha önce olmalıdır. Yani kısıta göre tankerin ilk ayrıldığı düğüm rafineridir. Düğüm 1, rafineriyi gösterir. (6.20) Rafineriye varış zamanı, tüm düğümlerin varış zamanlarından daha büyük olmalıdır. Yani araç ilgili kısıta göre rafineriye en son ulaşır. (6.21) İlgili karar değişkenleri negatif olamaz. (6.22) İlgili karar değişkenleri 0-1 değişkenidir.

6.3 Akaryakıt İstasyonu İkmal Problemi için Bir Uygulama

Çalışma kapsamında, ülkemizde nüfus yoğunluğuna bağlı olarak enerji tüketiminin en fazla olduğu, bu nedenle çevre ve deniz kirliliğinin de giderek arttığı İstanbul ili seçilmiştir. Bölgede petrol dağıtımı yapan bir kamu firması belirlenmiş ve Şekil 6.1’de bu firmanın tedarik ağı içerisindeki rafineri ve akaryakıt istasyonlarının konumları gösterilmiştir. Firma bu noktalar arasında dağıtım işlemini gerçekleştirmektedir.



Şekil 6.1 Akaryakıt istasyonları ve rafineri konumu

Ele alınan problemde, firma Marmara Ereğlisi’nde bulunan rafineriden tankere yüklediği petrolü, dağıtımın yapılacağı yedi farklı akaryakıt istasyonuna yönlendirmektedir. Şekil 6.1’de gösterilen mavi nokta rafineriyi belirtirken; sarı noktalar firmanın kendi istasyonlarını; kırmızı ile belirtilen noktalar firmanın diğer firmalara işletilmesi için kiraya verdiği istasyonları göstermektedir. Mor ile gösterilen nokta ise boğazdan geçen deniz vasıtalarına akaryakıt ikmal hizmeti sağladığı istasyonudur. Firmanın petrol yüklü tankerinin her gün 06.00-18.00 arası bu istasyonlara petrol ürünleri dağıtım yaptığı ve dağıtımı tamamladıktan sonra rafineriye dönüş yaptığı varsayılmıştır. Tankerin, sarı ile belirtilen istasyonlara gün içerisinde herhangi bir zamanda, kırmızı ile gösterilen istasyonlara ise sadece 06.00-12.00 arası, mor ile gösterilen istasyona ise sadece 12.00-18.00 arası dağıtım yapabileceği varsayılmıştır. Ayrıca bu istasyonlar için tankerin vereceği hizmet sürelerinin de farklı olduğu varsayılmıştır ve bu süreler talep miktarlarına göre uzman görüşlerine başvurularak belirlenmiştir. Tablo 6.3’te firmanın petrol dağıtım ağındaki bu noktalar arası mesafeler verilmiştir.

Tablo 6.3 Düğümler arası mesafeler (km.)

	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈
(I ₁) Rafineri	-	66,8	105	123	130	106	109	113
(I ₂) Gürpınar	66,8	-	40,3	57,8	55,4	41,5	47,6	52,1
(I ₃) Yenikapı	105	40,3	-	18,5	23,9	6	11,8	24,8
(I ₄) Selimiye	123	57,8	18,5	-	13,9	17,8	18,3	19,1
(I ₅) İçerenköy	130	55,4	23,9	13,9	-	18,5	30,4	23,2
(I ₆) Tophane	106	41,5	6	17,8	18,5	-	8	21,7
(I ₇) Alibeyköy	109	47,6	11,8	18,3	30,4	8	-	14,4
(I ₈) İstinye	113	52,1	24,8	19,1	23,2	21,7	14,4	-

Bu çalışmada tüm bağlantılar arasında risklerin belirlenmesinde Bölüm 4.3.1’de anlatılan Modifiye Delphi tekniği kullanılmıştır. Teknikte risklerin değerlendirilmesi sırasında beş farklı uzmanla yüz yüze ve e-posta yoluyla görüşmeler yapılmıştır. Bu uzmanlar petrol taşıma operasyonları için çalışmaktadır. Ayrıca akademik çalışmalarda ve benzer konularda projelerde yer alan üç farklı akademisyenin görüşleri alınarak mevcut durumu ve sorunu daha iyi anlamak için uzmanlarla ilk görüşme yapılarak fikirler toplanmıştır. Bu görüşmeler, uzlaşa sağlanıncaya kadar tekrarlanmış ve tekrar tekrar uzman görüşleri alınmıştır. Daha sonra Bölüm 4’te ayrıntılarıyla açıklanan tehlikeli madde taşımacılığında kullanılmak üzere hazırlanan PB-AHP temelli risk atama metodolojisi uygulanmıştır. Her bir bağlantı için risk atama metodolojisi ayrı ayrı uygulanarak riskler belirlenmiş ve böylece belirlenen riskler matematiksel modele entegre edilmiştir. Süreç sonunda riskler konusunda uzmanlarla kapsamlı bir ortak görüş paylaşılmıştır. Uzmanların risklere ilişkin ifade ettikleri değerlendirmeler sonucunda uzmanların riskler konusunda aynı görüşlere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Düğümler arasındaki risk değerleri Tablo 6.4’te verilmiştir. Rafineriye dönen tankerin petrol taşımaması nedeniyle risk oluşmayacağı varsayılmıştır.

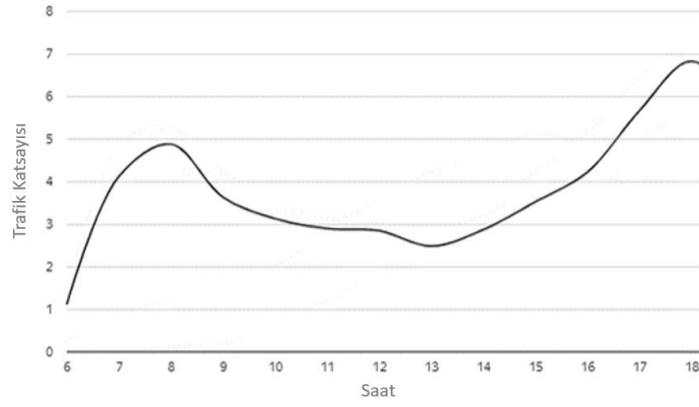
Tablo 6.4 PB-AHP yöntemi ile belirlenen düğümler arası riskler

	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈
(I ₁) Rafineri	-	0,2	0,4	0,8	0,9	0,5	0,5	10
(I ₂) Gürpınar	0	-	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,5
(I ₃) Yenikapı	0	0,1	-	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3
(I ₄) Selimiye	0	0,5	0,2	-	0,1	0,2	0,2	0,4
(I ₅) İçerenköy	0	0,4	0,1	0,1	-	0,3	0,3	0,5
(I ₆) Tophane	0	0,1	0,1	0,2	0,3	-	0,1	0,2
(I ₇) Alibeyköy	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	-	0,2
(I ₈) İstinye	0	0,5	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	-

Zaman bağımlı araç rotalama problemi, araçların optimum şekilde yönlendirilmesinden oluşur. Zaman bağımlı araç rotalama probleminde, düğümler arasındaki seyahat süreleri gün içindeki saatlere bağlı olarak değişebilir. Problemdeki düğümler arasındaki seyahat süresinin belirlenmesinde, seyahatin o bağlantı üzerinde başladığı zaman periyodu önemlidir. Planlama periyodu zaman aralıklarına bölünür ve bu zaman aralıklarında farklı hızlar tanımlanır. Çözüm genellikle toplam seyahat süresini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bir düğümden bir sonraki düğüme giden aracın varış zamanı, ilk düğümden ayrılma zamanı ve kullandığı rotada harcanan süre ile belirlenir. Bu problem türünde yolculuk süresi, düğümden ayrılma süresi ve o zaman bağımlı olarak değişen ortalama hız kullanılarak hesaplanır. Bu, trafik yoğun şehir merkezlerinde gerçekçi bir yaklaşımın yapılandırılması açısından önemlidir. Örneğin; sabah saatlerinde yoğun trafik nedeniyle araçların hızları düşerken, öğle saatlerinde trafik yoğunluğu azaldığında hızları artmaktadır. Bu çalışmada tankerin hızları trafik yoğunluğuna göre belirlenmiştir.

Risk, yolda geçirilen zaman, trafik yoğunluğu ve aracın hızı ile ilgilidir. Değişen araç hızlarını hesaba katan akaryakıt istasyonu ikmal problemi için önerilen model, geleneksel yaklaşımlardan daha gerçekçi bir yaklaşım sağlar. Tankerin seyahat süresi akaryakıt istasyonundan/rafineriden ayrıldığı ana bağlıdır. Bu nedenle petrol dağıtımının planlama periyodu zaman aralıklarına bölünür, daha sonra bu zaman aralıklarında trafik yoğunluğuna göre farklı hızlar belirlenir.

Türkiye'nin en büyük ve kalabalık şehri İstanbul'un trafik yoğunluğu en büyük sorunlardan biridir. Trafik yoğunluğu genellikle iş günlerinde sabah başlayıp 07.00 ile 09.00 saatleri arasında yaklaşık iki saat sürmekte ve gün ortasında azalmaktadır [281]. Çalışmada ele alınan problemde dağıtım işleminin 06.00-18.00 saatleri arasında tamamlanması gerekmektedir. Trafik yoğunluğu nedeniyle tankerin hızı trafik yoğun saatlerde azaldığı için istasyonlara benzin dağıtımı daha uzun zaman almaktadır. 06.00-18.00 arası trafik yoğunluğu grafiği İstanbul'da Şekil 6.2'de görülebilir.



Şekil 6.2 İstanbul için 06:00 -18:00 arası trafik yoğunluğu

Şekil 6.2'den görülebileceği gibi trafik yoğunluğu belirlenen saatler arasında değişmektedir. Önerilen modelde bu değişkenliği daha iyi ifade edebilmek için 60 dakikalık zaman aralıkları dikkate alınmıştır. Bu zaman dilimlerinde trafik yoğunluk seviyelerine göre değişen araç hızları Denklem 6.23 kullanılarak belirlenerek Tablo 6.5'te verilmiştir. Eşitlik 6.23 Yandex tarafından İstanbul için 3 Yıllık Trafik Analizinde verilen geçmiş veriler kullanılarak oluşturulmuştur [281].

$$\text{Hız(km/saat)} = 100 - 10(\text{Trafik Yoğunluğu}) \quad (6.23)$$

Tablo 6.5 Zaman aralıklarına göre tanker hızları

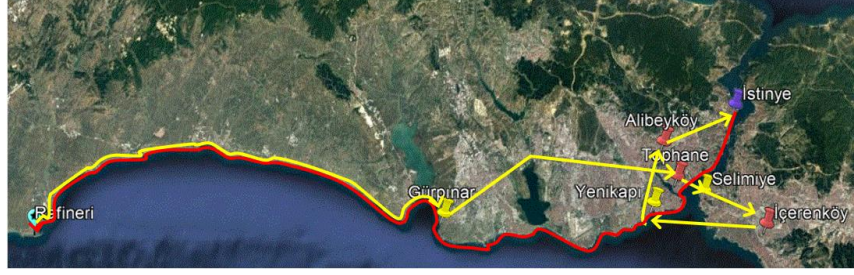
Zaman Aralığı	Katsayı	Hız (km/saat)	Zaman Aralığı	Katsayı	Hız (km/saat)
06.00-07.00	2,50	70	12.00-13.00	2,50	70
07.00-08.00	4,25	57,5	13.00-14.00	2,75	70
08.00-09.00	4,30	57	14.00-15.00	3,10	69
09.00-10.00	3,30	67	15.00-16.00	3,50	65
10.00-11.00	2,95	70	16.00-17.00	5,00	50
11.00-12.00	2,75	70	17.00-18.00	6,50	35

Tankerin yapabileceği maksimum hızın trafik kuralları gözetilerek 70 km/saat olduğu varsayılmıştır. Bundan dolayı 06.00-07.00 ve 10.00-14.00 zaman aralıklarındaki hızlar 70 km(kilometre)/saate sabitlenmiştir.

6.3.1 Sonuçların Analizi ve Tartışma

Önerilen matematiksel model Intel(R) Core(TM) i7-9750-H CPU @ 2.60 Ghz işlemcili, 16.00 GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8 paket programı kullanılarak çözülmüştür. Böylece minimum riskli petrol dağıtım rotası elde edilmiş ve Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Amaç fonksiyon değeri 26,1 olarak

belirlenmiştir. Bu matematiksel model için için Merkezi İşlem Birimi (CPU) süresi 6,06 saniyedir.



Şekil 6.3 Petrol dağıtımı için belirlenen optimum dağıtım rotası

Tankerin rafineriden tedarik ederek petrolü teslim ettiği güzergah sarı ile gösterilmiştir. Tankerin son olarak İstinye Akaryakıt İstasyonu'ndan sonra rafineriye döndüğü rota kırmızı renkle gösterilmektedir. Çalışmada ele alınan problem için, hizmet verilen son bağlantı noktası olan İstinye'deki akaryakıt istasyonundan sonra tanker içerisinde tehlikeli madde kalmayacaktır. Bu nedenle kırmızı ile gösterilen rotada herhangi bir risk olmadığı varsayılmıştır. Böylece rafineriye dönüş için önerilen matematiksel model ile güzergah belirlenmiş ve rafineriye dönüş yolu denize yakın konumlandırılmış olsa dahi herhangi bir risk oluşturmamaktadır. Her akaryakıt istasyonu için varış saati, servis süresi ve bekleme süresi Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6 Tankerin istasyonlara varış, istasyonlardan ayrılış zamanları ve istasyonlarda geçirdiği süreler

Akaryakıt İstasyonu	Varış	Servis (dk)	Bekleme (dk)	Ayrılış	Seyahat (dk)
Rafineri	-	-	0	06.00	57
Gürpınar	06.57	30	0	07.27	44
Tophane	08.11	33	3	08.47	18
Selimiye	09.05	32	0	09.37	12
İçerenköy	09.49	31	0	10.20	21
Yenikapı	10.41	40	0	11.21	10
Alibeyköy	11.31	29	0	12.00	12
İstinye	12.12	20	148	15.00	118
Rafineri	16.58				

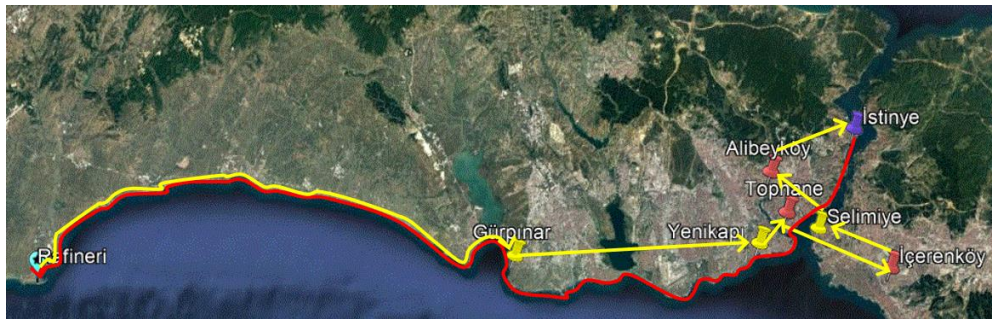
Tanker 06.00-16.58 arası trafik yoğunluğunu dikkate alarak petrol dağıtımını yapmaktadır. Tablo 6.6'dan görülebileceği gibi, seyahat süresini en aza indirmek için araç, trafik yoğunluğunun diğer aralıklardan daha az olduğu zaman aralıklarında

tüm dağıtım sürecini tamamlar. Saat 06.00'da rafineriden hareket eden tanker Gürpınar-Tophane güzergahını takip eder. Tophane'ye 08.11'de ulaşır ve 33 dakikalık servis süresi dikkate alınarak 08.44 de petrol yükleme işlemini tamamlar. Trafik yoğunluğu nedeniyle saat 08.47'ye kadar Tophane'de 3 dakika bekleyen tanker, hareket ederek, beklemeden sırasıyla Selimiye-İçerenköy-Yenikapı-Alibeyköy-İstinye güzergahını izler ve İstinye'ye saat 12.12'de varır. 20 dakikalık servis süresini de dikkate alarak petrol yükleme işlemini 12.32'de tamamlar. Tanker trafiğin yoğunluğundan dolayı İstinye'de 148 dakika beklemektedir. Son olarak tanker, İstinye'den saat 15.00'da hareket eder ve rafineriye 16.58'de varır. Böylece tanker yolda toplam seyahat süresi olarak 292 dakika harcar.

6.3.2 Önerilen Matematiksel Modelin Duyarlılık Analizi

Değişen araç hızlarını hesaba katan akaryakıt istasyonu ikmal problemi için önerilen model, geleneksel problemler için hazırlanan matematiksel modellerden daha gerçekçi bir yaklaşım sağlar. Matematiksel model çözülerek doğru ve verimli sonuçlar elde edilir. Duyarlılık analizi, önerilen matematiksel modelin doğruluğunu ve verimliliğini göstermek ve kanıtlamak için geleneksel problem çözümüyle de bir karşılaştırma sunarak gerçekleştirilir.

Trafik yoğunluğuna bağlı değişken araç hızının dikkate alınmadığı geleneksel akaryakıt istasyonu ikmal problemi dağıtım ağına uygulanmaktadır. Tanker, petrolü istasyonlara ortalama hızda dağıtır. Bu ortalama hızın 60 km/saat olduğu varsayılmaktadır. Geleneksel problem için matematiksel modelle elde edilen optimum dağıtım rotası Şekil 6.4'te verildiği gibi belirlenir.



Şekil 6.4 Değişken hızın dikkate alınmadığı durumda petrol dağıtımı için belirlenen optimum dağıtım rotası

Duyarlılık analizi sonuçlarına göre her bir benzin istasyonu için varış zamanı, hizmet süresi ve bekleme süresi Tablo 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.7 Değişken hızın dikkate alınmadığı durumda tankerin istasyonlara varış, istasyonlardan ayrılış zamanları ve istasyonlarda geçirdiği süreler

Akaryakıt İstasyonu	Varış	Servis (dk)	Bekleme (dk)	Ayrılış	Seyahat (dk)
Rafineri	-	-	0	06.00	57
Gürpınar	06.57	30	0	07.27	42
Yenikapı	08.09	40	0	08.49	6
Tophane	08.55	33	0	09.27	17
İçerenköy	09.44	31	0	10.15	12
Selimiye	10.27	32	0	10.59	16
Alibeyköy	11.15	29	0	11.44	12
İstinye	11.56	20	4	12.20	97
Rafineri	13.57				

Trafik yoğunluğuna göre değişken araç hızlarının hesaba katılmadığı zaman pencereli geleneksel akaryakıt istasyonu ikmal probleminde tanker toplam 259 dakikayı yolda geçirmektedir. Bu rotanın risk değeri 28,1'dir. Tanker, önerilen matematiksel modelde 292 dakikayı yolda geçirmektedir, Ayrıca Rota 26,1 risk değerine sahiptir. Önerilen matematiksel modelin sonucu ile karşılaştırıldığında, tanker ile karayolu üzerindeki toplam risk, geleneksel modelde yaklaşık %7,63 artmaktadır. Görüldüğü gibi geleneksel model daha kısa seyahat süresine sahiptir ancak aynı zamanda daha büyük bir riske sahiptir. Önerilen matematiksel model, seyahat süresini artırırken asıl amaç olan riski azaltır.

6.4 Bölüm Sonuçları

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan halka açık bir şirket için akaryakıt istasyonu ikmal problemi ele alınmıştır. Problem, zaman bağımlı zaman pencereli bir araç rotalama problemi olarak kabul edilmiştir. Problem için yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Çevre ve deniz kirliliği gibi riskler en aza indirilerek optimum güzergah belirlenmiştir. Bölüm 4'te anlatılan faktörler ve yöntem kullanılarak noktalar arası riskler belirlenmiş ve önerilen matematiksel modelde kullanılmıştır.

ZAMAN BAĞIMLI ZAMAN PENCERELİ HETEROJEN FİLOLU ÇOK ÜRÜNLÜ KAPASİTELİ BÖLMELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

7.1 Önerilen Yöntemin Aşamaları

Bu bölümde tez kapsamında ele alınan zaman bağımlı zaman pencereli heterojen filolu çok ürünlü kapasiteli bölmeli araç rotalama probleminin çözümünde kullanılmak üzere hazırlanmış yöntemin adımları tanıtılmıştır. Bölüm 6’da firmanın güncel durumu için tek ürünlü tek tankerli problem ele alınmış ve çözülmüştü.

7.1.1 Ele Alınan Problem

Bu bölümde ele alınan akaryakıt istasyonu ikmal probleminde istasyonlara taşınacak ürün miktarının doğru belirlenmesi çok önemlidir. Genellikle yöneticiler, istasyonlara taşınacak ürün miktarını talep tahmini ile belirlemektedir. Tankerler, istasyonlara ürünleri taşıırken bazı kısıtlamaları dikkate alır. Bunlardan biri zaman aralığıdır. Yöneticiler, her istasyon için ürünlerin teslim edilebileceği zaman aralıklarını tanımlar. Bu zaman aralığı istasyonlar arasında da farklılık gösterebilir. Bu fark istasyonun konumuna, yönetim stratejisine göre değişebilir. Tartışılan problemde, her istasyona ürün tahsisi, zaman penceresinin başlangıç ve bitiş saatleri arasında olmalıdır. İstasyona erken gelen tanker, istasyonun zaman penceresinin başlama saatine kadar beklemek zorunda kalacaktır. Ancak bazı istasyonlarda park sorunları nedeniyle beklemeye izin verilmemektedir. Ayrıca trafik yoğunluğundan dolayı tankerlerin hızı zamana göre değişmektedir. Tankerlerin seyahat süresi istasyondan/depodan ayrıldığı ana bağlıdır. Tankerlerin aynı anda birden fazla ürün taşımak için farklı bölmeleri vardır. Her bir bölmede bir ürün taşınabilir.

Bu çalışmanın ana katkıları aşağıdaki gibidir: (1) İstasyonların talep tahmini lasso regresyon ile yapılır. (2) Seyahat süreleri, zaman aralıklarında trafiğe bağlı olarak araç hızları dikkate alınarak hesaplanır. (3) Noktalar arası riskler PB-AHP yöntemi ile belirlenmiştir. (4) Problem için önerilen yeni matematiksel formülasyon sunulmuştur.

7.1.2 Önerilen Matematiksel Model

Setler

T	Zaman aralıkları seti
I	Düğüm seti
V	Tankerler seti
P	Ürünler seti
S	Tanker bölmeleri seti

Parametreler

d_{ij}	Düğümler arası mesafeler (i, j)
R_{ij}	Düğümler arası riskler (i, j)
V_t	Zaman aralığına göre tanker hızı (t)
B_t	Zaman aralığının başlangıcı (t)
E_t	Zaman aralığının sonu (t)
S_i	Akaryakıt istasyonunun servis süresi (i)
$[m_i, n_i]$	Zaman penceresi (i)
D_{ip}	İstasyon (i) nin ürün (p) talebi
C_{ks}	Tanker (k) nın (s) bölmesinin kapasitesi
M	Yeterince büyük bir sayı

Karar Değişkenleri

A_i	Tanker'in istasyon (i)ye varış zamanı
-------	---------------------------------------

L_i Tankerin istasyon (i)den ayrılma zamanı

t_{ijk} Tanker (k) nın bağlantı (i, j) arası yolculuk süresi

W_i İstasyon (i) nin bekleme süresi

$X_{ijk} \begin{cases} 1, & \text{eğer bağlantı (i, j) tanker (k) tarafından kullanılırsa;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

$Y_{ijk}^{tu} \begin{cases} 1, & \text{tanker (k) noktalar (i, j) arası yolculuğa (t) zaman diliminde başlar;} \\ & \text{yolculuğu (u) zaman diliminde bitirirse} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

$\alpha_{ik}^{ps} \begin{cases} 1, & \text{istasyon (i)nin ürün (p)ye olan talebi tanker (k)nın (s)bölmesine atanırsa;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

$\beta_k^{ps} \begin{cases} 1, & \text{Ürün (p) tanker (k)nın (s)bölmesine atanırsa;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I/1} t_{ijk} R_{ij} \quad (7.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{t \in T} \sum_{u \in T} Y_{ijk}^{tu} = X_{ijk} ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K) \quad (7.2)$$

$$t_{ijk} \leq M X_{ijk} ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K) \quad (7.3)$$

$$t_{ijk} \leq A_j - L_i + M(1 - X_{ijk}) ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K) \quad (7.4)$$

$$t_{ijk} \geq A_j - L_i + M(X_{ijk} - 1) ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K) \quad (7.5)$$

$$d_{ij} - M(2 - X_{ijk} - Y_{ijk}^{tt}) \leq (A_j - L_i)V_t ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K), (\forall t \in T) \quad (7.6)$$

$$d_{ij} - M(X_{ijk} + Y_{ijk}^{tt} - 2) \geq (A_j - L_i)V_t ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K), (\forall t \in T) \quad (7.7)$$

$$d_{ij} - M(2 - X_{ijk} - Y_{ijk}^{tu}) \leq (E_t - L_i)V_t + \sum_{t < \rho < u} (E_\rho - B_\rho)V_\rho + (A_j - B_u)V_u ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K) (\forall t, u \in T), u > t \quad (7.8)$$

$$d_{ij} - M(X_{ijk} + Y_{ijk}^{tu} - 2) \geq (E_t - L_i)V_t + \sum_{t < \rho < u} (E_\rho - B_\rho)V_\rho + (A_j - B_u)V_u ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K) (\forall t, u \in T), u > t \quad (7.9)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in I} \sum_{t, u \in T} Y_{ijk}^{tu} E_t \geq L_i ; (\forall i \in I) \quad (7.10)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in I} \sum_{t, u \in T} Y_{ijk}^{tu} B_t \leq L_i ; (\forall i \in I) \quad (7.11)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t, u \in T} Y_{ijk}^{tu} E_u \geq A_j ; (\forall j \in I) \quad (7.12)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t, u \in T} Y_{ijk}^{tu} B_u \leq A_j ; (\forall j \in I) \quad (7.13)$$

$$L_i = A_i + S_i + W_i ; (\forall i \in I) \quad (7.14)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{ijk} = 1 ; (\forall j \in I) \quad (7.15)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in I} X_{ijk} = 1 ; (\forall i \in I) \quad (7.16)$$

$$A_i + W_i \geq m_i ; (\forall i \in I) \quad (7.17)$$

$$L_i \leq n_i ; (\forall i \in I) \quad (7.18)$$

$$L_1 \leq L_i ; (\forall i \in I) \quad (7.19)$$

$$A_1 \geq A_i ; (\forall i \in I) \quad (7.20)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \alpha_{ik}^{ps} \leq 1 ; (\forall i \in I), (\forall p \in P) \quad (7.21)$$

$$D_{ip} \leq M \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \alpha_{ik}^{ps} ; (\forall i \in I), (\forall p \in P) \quad (7.22)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \alpha_{ik}^{ps} D_{ip} \leq C_{ks} ; (\forall k \in K), (\forall s \in S) \quad (7.23)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ijk} - \sum_{m \in I} X_{jmk} = 0 ; (\forall j \in I), (\forall k \in K) \quad (7.24)$$

$$\alpha_{ik}^{ps} \leq \sum_{j \in I} X_{ijk} ; (\forall j \in I), (\forall p \in P), (\forall k \in K), \quad (7.25)$$

$$\sum_{p \in P} \beta_k^{ps} \leq 1 ; (\forall k \in K), (\forall s \in S) \quad (7.26)$$

$$\alpha_{ik}^{ps} \leq \beta_k^{ps} ; (\forall j \in I), (\forall p \in P), (\forall k \in K), (\forall s \in S) \quad (7.27)$$

$$A_i, L_i, t_{ijk}, W_i \geq 0 ; (\forall i, j \in I), (\forall k \in K) \quad (7.28)$$

$$X_{ijk}, Y_{ijk}^{tu}, \beta_k^{ps}, \alpha_{ik}^{ps} \in \{0,1\}; (\forall i, j \in I), (\forall t, u \in T), (\forall k \in K), (\forall p \in P), (\forall s \in S) \quad (7.29)$$

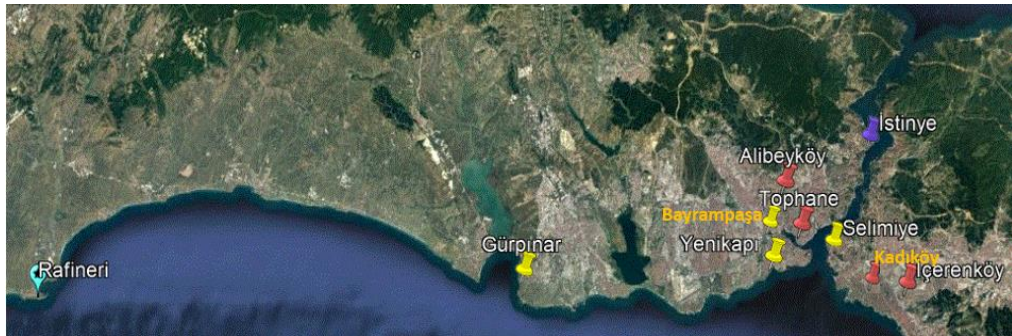
(7.1) Eğer bağlantı (i,j) kullanılıyorsa, yolda geçirilen süre ile yolun riski çarpılarak toplam riskin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. (7.2) Kullanılan yol mutlaka bir zaman diliminde başlayıp, aynı ya da farklı bir zaman diliminde tamamlanmalıdır. (7.3) Geçiş süresi, yolun kullanım durumuna göre değer alır. (7.4-7.5) Rota üzerindeki noktalar arası geçiş süresi, ilk noktadan ayrılış zamanı ile bir sonraki noktaya varış zamanı arasındaki fark olarak belirlenmiştir. (7.6-7.7) Noktalar arası geçiş eğer aynı zaman diliminde başlayıp bitiyorsa, bir sonraki varış zamanı sadece aracın o zaman aralığındaki hızı ve katettiği mesafe kullanılarak hesaplanır. (7.8-7.9) Noktalar arası geçiş eğer aynı zaman diliminde başlayıp farklı zaman diliminde bitiyorsa; bir sonraki noktaya varış zamanı, bu zaman dilimlerinde katedilen mesafeler ve değişebilen hızlar kullanılarak hesaplanır. (7.10-7.11) Noktalardan ayrılış zamanları mutlaka bir zaman diliminin başlangıcından sonra, farklı bir zaman diliminin bitişinden önce olmalıdır. (7.12-7.13) Noktalara varış zamanları mutlaka bir zaman diliminin başlangıcından sonra, farklı bir zaman diliminin bitişinden önce olmalıdır. (7.14) Noktalardan ayrılış zamanı; varış zamanı, bekleme süresi ve hizmet süresinin toplamına eşittir. (7.15) Tanker, her noktaya mutlaka bir kez gitmelidir. (7.16) Tanker, her noktadan mutlaka bir kez ayrılmalıdır. (7.17) Tanker bir istasyona erken gelirse, o istasyonun hizmet almak için uygun olduğu zamana kadar beklemelidir. (7.18) Tanker, istasyonun hizmet alabileceği zaman aralığı bitmeden istasyondan ayrılmalıdır. (7.19) Tankerin rafineriden ayrılma zamanı, tüm düğümlerin çıkış sürelerinden daha önce olmalıdır. Yani kısıta göre tankerin ilk ayrıldığı düğüm rafineridir. Düğüm 1, rafineriyi gösterir. (7.20) Rafineriye varış zamanı, tüm düğümlerin varış zamanlarından daha büyük olmalıdır. Yani araç ilgili kısıta göre rafineriye en son ulaşır. (7.21) Her bir istasyonun her bir ürüne olan

talebi yalnızca bir tankerin bir bölmesine atanabilir, böylece parçalı teslimata izin verilmez. (7.22) İstasyon talepleri mutlaka bir tankerin bir bölmesine atanarak karşılanmalıdır. (7.23) Araç bölmelerine kapasitelerinden fazla ürün atanamaz. (7.24) Akaryakıt istasyonuna gelen tanker, mutlaka ilgili istasyondan ayrılmalıdır. (7.25) Yalnızca rota üzerinde yer alan istasyonların talepleri karşılanabilir. (7.26) Bir tanker bölmesi yalnızca bir tip ürün için tahsis edilebilir. (7.27) Ürünler, o ürün için tahsis edilmiş tanker bölmelerine atanabilir. (7.28) İlgili karar değişkenleri negatif olamaz. (7.29) İlgili karar değişkenleri 0-1 değişkenidir.

7.2 Önerilen Yöntemin Uygulanması

7.2.1 Verilerin Derlenmesi

Halihazırda yedi istasyonla hizmet veren firma bünyesine bir tanesi Avrupa Yakası'nda diğeri Anadolu Yakası'nda olmak üzere iki istasyon daha katmak istemektedir. Avrupa Yakası için firma Bayrampaşa bölgesinde bir istasyonla kiralık anlaşma neticesinde hizmet vermeye başlamıştır. Anadolu Yakası için ise her ilçeden birer alternatif aday belirlemiş ve bunlardan bir tanesini devir almak istemektedir. Devir alacağı istasyonu belirlemesi için uygulanan karar verme yöntemi Bölüm 3'te ayrıntılarıyla açıklanmıştı. Uygulama neticesinde devir alacağı istasyonun Kadıköy'de yer alan istasyon olmasına karar verilmiştir. Böylece firma dokuz farklı akaryakıt istasyonu ile müşterilerine hizmet vermeye başlamıştır. Firmanın yeni eklenen istasyonlarla birlikte tedarik ağında yer alan tüm istasyon konumları Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Güncellenmiş akaryakıt istasyonu konumları

İstasyonların belirlenmesinin ardından yöntemin uygulamasına geçilmiştir. Yöntem üç temel aşamadan oluşmaktadır. Veri toplama, matematiksel modelleme ve

duyarlılık analizi aşamaları temel metodoloji adımlarıdır. Modeli çözmek için toplanan veriler, mesafeleri, riskleri, trafik verilerini, talepleri, kapasiteleri, hizmet sürelerini ve zaman pencerelerini içerir.

Google Haritalar yardımıyla belirlenen rafineri ve akaryakıt istasyonları arası mesafeler Tablo 7.1’te verilmiştir.

Tablo 7.1 Döğümler arası mesafeler (km.)

	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈	I ₉	I ₁₀
(I ₁) Rafineri	-	66,8	105	123	130	106	109	113	95,1	138
(I ₂) Gürpınar	66,8	-	40,3	57,8	55,4	41,5	47,6	52,1	38,4	56,4
(I ₃) Yenikapı	105	40,3	-	18,5	23,9	6	11,8	24,8	12,9	32,4
(I ₄) Selimiye	123	57,8	18,5	-	13,9	17,8	18,3	19,1	23,1	6,4
(I ₅) İçerenköy	130	55,4	23,9	13,9	-	18,5	30,4	23,2	40,7	9,6
(I ₆) Tophane	106	41,5	6	17,8	18,5	-	8	21,7	8,8	23,9
(I ₇) Alibeyköy	109	47,6	11,8	18,3	30,4	8	-	14,4	5,8	20,7
(I ₈) İstinye	113	52,1	24,8	19,1	23,2	21,7	14,4	-	23,2	21,1
(I ₉) Bayrampaşa	95,1	38,4	12,9	23,1	40,7	8,8	5,8	23,2	-	24,9
(I ₁₀) Kadıköy	138	56,4	32,4	6,4	9,6	23,9	20,7	21,1	35,6	-

İstasyonların ve aralarındaki mesafelerin belirlenmesinin ardından, ağı eklenen iki yeni istasyonun diğer istasyonlara, rafineriye ve kendi aralarındaki bağlantılarının oluşturduğu riskler, Bölüm 4’te anlatılan risk atama metodolojisiyle hesaplanmış ve Tablo 6.4 güncellenerek Tablo 7.2’te verilen risk matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 7.2 Döğümler arası riskler

	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈	I ₉	I ₁₀
(I ₁) Rafineri	0	0,2	0,4	0,8	0,9	0,5	0,5	1	0	0
(I ₂) Gürpınar	0	0	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,5	0,1	0,4
(I ₃) Yenikapı	0	0,1	0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1
(I ₄) Selimiye	0	0,5	0,2	0	0,1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2
(I ₅) İçerenköy	0	0,4	0,1	0,1	0	0,3	0,3	0,5	0,3	0
(I ₆) Tophane	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0	0,1	0,2	0	0,2
(I ₇) Alibeyköy	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0	0,2	0,1	0,3
(I ₈) İstinye	0	0,5	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	0	0,1	0,5
(I ₉) Bayrampaşa	0	0,1	0,2	0,2	0,3	0	0,1	0,1	0	0,3
(I ₁₀) Kadıköy	0	0,4	0,1	0,2	0	0,2	0,3	0,5	0,3	0

Bu bölümde bir önceki bölümden farklı olarak tedarik edilecek ürün sayısı da artırılmıştır. Bir önceki bölümde anlatılan uygulamada tek ürünün istasyonlara taşınma problemi ele alınırken, bu bölümde problem çok ürünlü olarak ele alınmıştır ve böylece çok ürünlü araç rotalama problemi yapısı çalışmaya dahil edilmiştir.

Ürün sayısının artırılmasıyla birlikte ürünlerin taleplerini de belirlemek problem için önemli bir hal almıştır. Ürün taleplerine göre istasyonların ihtiyaçları farklı tankerlere hatta tankerlerde farklı bölümlere atanabilecektir. Firma ürün sayısının artmasıyla birlikte dağıtım ağını ikiye bölmeye sahip iki tankerle sürdürmeye karar vermiştir. Bu tankerlerin kapasiteleri de birbirinden farklıdır. Böylece probleme heterojen filolu kapasiteli araç rotalama problemi yapısı da dahil edilmiştir. Araçların bölmeleri de olduğu için problem ayrıca çok bölmeli araç içeren problem olarak ele alınmıştır.

Ürün taleplerinin belirlenmesinde her bir istasyonun geçmiş verileri dikkate alınmış ve Bölüm 5'te anlatılan lasso regresyon temelli tahmin metodolojisi uygulanmıştır. Her bir istasyonun tahmin ile birlikte belirlenen ürün talepleri galon cinsinden Tablo 7.3'de verilmiştir.

Tablo 7.3 İstasyonların ürün talepleri

İstasyon	Ürün-1	Ürün-2	İstasyon	Ürün-1	Ürün-2
Gürpınar	147	-	Alibeyköy	189	189
Yenikapı	315	-	İstinye	-	674
Selimiye	562	-	Bayrampaşa	238	432
İçerenköy	208	220	Kadıköy	254	235
Tophane	287	455			

Tablo 7.3'den görülebileceği gibi firma, tedarik ağında yer alan üç istasyonda yalnızca Ürün-1, bir istasyonda yalnızca Ürün-2 ve beş istasyonda her iki ürün ile hizmet vermektedir. Firma dağıtımda kullanılmak üzere iki adet ikiye bölmeli tankere sahiptir. Birinci tankerin ikiye bölmesi de 1500'er galon taşıma kapasitesine sahipken, diğer tankerin ikiye bölmesi 1000'er galon taşıma kapasitesine sahiptir.

Taleplerin belirlenmesinin ardından son olarak istasyonların hizmet süresi ve zaman aralıkları, yönetici görüşleri neticesinde belirlenmiş ve Tablo 7.4'de verilmiştir.

Tablo 7.4 İstasyonların servis süreleri ve zaman pencereleri

İstasyon	Servis Süresi (dk.)	Zaman Penceresi Başlangıç	Zaman Penceresi Bitiş
Rafineri	-	06.00	18.00
Gürpınar	15	06.00	18.00
Yenikapı	20	06.00	18.00
Selimiye	35	06.00	18.00
İçerenköy	35	06.00	12.00
Tophane	40	06.00	12.00
Alibeyköy	20	06.00	12.00
İstinye	25	12.00	18.00
Bayrampaşa	40	06.00	12.00
Kadıköy	30	06.00	18.00

Bölüm 6'da açıklanan ve Tablo 6.5'te verilen araç hızları çalışmada değişken araç hızı olarak kullanılmıştır.

7.2.2 Sonuçların Analizi ve Tartışma

Önerilen matematiksel model Intel(R) Core(TM) i7-9750-H CPU @ 2.60 Ghz işlemcili, 16.00 GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8 paket programı kullanılarak çözülmüştür. Böylece minimum riskli petrol dağıtım rotası elde edilmiştir. Amaç fonksiyon değeri 10,77 olarak belirlenmiştir. Bu matematiksel model için CPU süresi 26,08 saniyedir. Her bir akaryakıt istasyonu için istasyonun hizmet aldığı tanker, varış saati, servis süresi ve bekleme süresi Tablo 7.5'te verilmiştir.

Tablo 7.5 İstasyonlara varış, istasyonlardan ayrılış zamanları ve istasyonlarda geçirdiği süreler

İstasyon	Varış	Servis (dk.)	Bekleme (dk.)	Ayrılış	Tanker
Gürpınar	11.00	15	-	11.15	2
Yenikapı	10.05	20	-	10.25	2
Selimiye	10.12	35	-	10.47	1
İçerenköy	09.09	35	16	10.00	1
Tophane	09.00	40	20	10.00	2
Alibeyköy	11.03	20	-	11.23	1
İstinye	11.35	25	25	12.25	1
Bayrampaşa	07.39	40	32	08.51	2
Kadıköy	08.25	30	5	09.00	1

Tablo 7.5'ten görülebileceği gibi Selimiye, İçerenköy, Alibeyköy, İstinye ve Kadıköy istasyonlarına Tanker-1 ile dağıtım yapılırken, Gürpınar, Yenikapı, Tophane ve

Bayrampaşa istasyonlarına Tanker-2 ile dağıtım yapılmaktadır. Tanker-1 ve Tanker-2'nin dağıtım yaparken kullandığı rotalar sırasıyla Tablo 7.6 ve Tablo 7.7'de yolda geçirdikleri süreler ile birlikte açıklanmıştır.

Tablo 7.6 Tanker-1'in dağıtım rotası

İstasyon	Varış	Servis (dk.)	Bekleme (dk.)	Ayrılış	Yolculuk (dk)
Rafineri	-	-	-	06.00	145
Kadıköy	08.25	30	5	09.00	9
İçerenköy	09.09	35	16	10.00	12
Selimiye	10.12	35	-	10.47	16
Alibeyköy	11.03	20	-	11.23	12
İstinye	11.35	25	25	12.25	98
Rafineri	14.03	-	-	-	-

Tanker-1 06.00-14.03 arası ürün dağıtımını yapmaktadır. Tablo 7.8'den görülebileceği gibi, seyahat süresini en aza indirmek için araç, trafik yoğunluğunun diğer aralıklardan daha fazla olduğu zaman aralıklarında bazı istasyonlarda beklemektedir. Saat 06:00'da rafineriden hareket eden tanker 145 dakikalık bir yolculuğun ardından 08.25'te Kadıköy'e varmaktadır. Tanker-1 burada 30 dakikalık bir operasyonun ardından 5 dakika bekler ve 09.00'da istasyondan ayrılarak 9 dakikalık bir yolculuğun ardından saat 09.09'da İçerenköy'e ulaşır. 35 dakika süren ürün tedarik işlemini gerçekleştiren tanker trafiğin 10.00'da görece daha iyi olmasından dolayı bu istasyonda 16 dakika bekler. Devamında 10.00'da hareket eden tanker hiçbir istasyonda beklemeden Selimiye-Alibeyköy-İstinye rotasını izler. İstinye'ye 11.35'te ulaşan tanker istasyonun zaman penceresi 12.00'da başladığı için 25 dakika bekler ve 12.00'da hizmet verir. Daha sonra 12.25'te istasyondan ayrılan tanker 14.03'te Rafineriye varır. Tanker tüm dağıtım boyunca yolda 292 dakika geçirirken, çeşitli nedenlerden dolayı 46 dakikayı da bekleyerek geçirir.

Tablo 7.7 Tanker-2'in dağıtım rotası

İstasyon	Varış	Servis (dk.)	Bekleme (dk.)	Ayrılış	Yolculuk (dk)
Rafineri	-	-	-	06.00	99
Bayrampaşa	07.39	40	32	08.51	9
Tophane	09.00	40	20	10.00	5
Yenikapı	10.05	20	-	10.25	35
Gürpınar	11.00	15	-	11.15	57
Rafineri	12.12	-	-	-	-

Tanker-2 06.00-12.02 arası ürün dağıtımını yapmaktadır. Tablo 7.9'dan görülebileceği gibi, seyahat süresini en aza indirmek için araç, trafik yoğunluğunun diğer aralıklardan daha fazla olduğu zaman aralıklarında bazı istasyonlarda beklemektedir. Saat 06.00'da rafineriden hareket eden tanker 99 dakikalık bir yolculuğun ardından 07.39'da Bayrampaşa'ya varmaktadır. Tanker burada 40 dakikalık bir operasyonun ardından trafiği dikkate alarak 32 dakika bekler ve 08.51'de istasyondan ayrılarak 9 dakikalık bir yolculuğun ardından saat 09.00'da Tophane'ye ulaşır. 40 dakika süren ürün tedarik işlemini gerçekleştiren tanker trafiğin 10.00'da görece daha iyi olmasından dolayı bu istasyonda 20 dakika bekler. Devamında hareket eden tanker hiçbir istasyonda beklemeden Yenikapı-Gürpınar-Rafineri rotasını izler ve 12.12'de Rafineri'ye varır. Tanker tüm dağıtım boyunca yolda 205 dakika geçirirken, trafiğin yoğun olduğu saatlerden uzak durarak 52 dakikayı da bekleyerek geçirir. Son olarak tankerlerin bölmelerinde taşınan ürünler taleplere göre Tablo 7.8'de verilmiştir.

Tablo 7.8 Ürün taleplerinin taşındığı tanker bölmeleri

İstasyon	Ürün-1		Ürün-2	
	Tanker	Bölme	Tanker	Bölme
Gürpınar	2	1	-	-
Yenikapı	2	1	-	-
Selimiye	1	2	-	-
İçerenköy	1	2	1	1
Tophane	2	1	2	2
Alibeyköy	1	2	1	1
İstinye	-	-	1	1
Bayrampaşa	2	1	2	2
Kadıköy	1	2	1	1

Tanker-1'in birinci bölmesinde 1318 galon Ürün-2 taşınırken, ikinci bölmesinde ise 1213 galon Ürün-1 taşınmaktadır. Tanker-2'nin birinci ve ikinci bölmesinde ise sırasıyla 987 galon Ürün-1 ve 887 galon Ürün-2 taşınmaktadır.

7.3 Duyarlılık Analizi

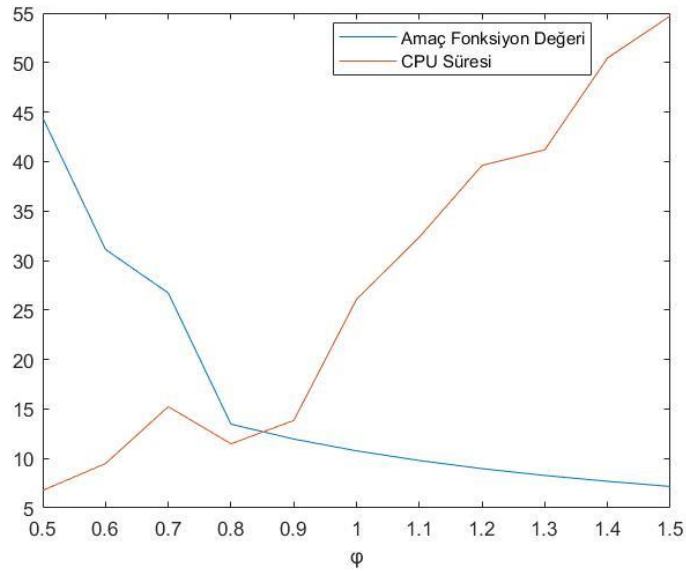
Önerilen matematiksel modelin uygulanabilirliğini test etmek için, matematiksel model sonuçlarının parametre değerlerinde yapılan değişikliklere verdiği tepkiler incelenmiştir. Bu bağlamda ilk olarak belirlenen zaman aralıklarındaki tanker hızları ϕ katsayısıyla çarpılarak, zaman aralıklarındaki yeni hızlar belirlenmiştir. 0

ile 1,5 arasındaki farklı ϕ değerleri için amaç fonksiyon değerleri ve CPU süreleri Tablo 7.9'da verilmiştir.

Tablo 7.9 Farklı hızlar için matematiksel model sonuçları

ϕ	Amaç Fonksiyon Değeri	CPU Süresi (saniye)
0,5	44,42	6,77
0,6	31,12	9,48
0,7	26,72	15,23
0,8	13,46	11,48
0,9	11,96	13,84
1	10,77	26,08
1,1	9,79	32,36
1,2	8,97	39,61
1,3	8,28	41,19
1,4	7,69	50,47
1,5	7,17	54,72

11 farklı ϕ değeri için tanker hızları belirlenmiş ve matematiksel model belirlenen hızlar kullanılarak çalıştırılmıştır. Tüm matematiksel modeller bir dakikadan daha az sürede sonuç vermiştir. Farklı hızlara göre değişen amaç fonksiyon değerleri ve CPU süreleri Şekil 7.2'de grafikleştirilmiştir.



Şekil 7.2 Farklı hızlar için amaç fonksiyon değerleri ve CPU süreleri

Şekli 7.2'de görülebileceği üzere ϕ değeri arttıkça amaç fonksiyon değeri düşerek daha az riskle dağıtım sağlanmıştır. Ayrıca ϕ değerinin arttıkça CPU süresinin de bu

durumla birlikte arttığı görülmektedir. Tanker hızı arttıkça beklenildiği gibi amaç fonksiyon değeri düşmüştür.

7.4 Bölüm Sonuçları

Bu bölümde ele alına problem, zaman bağımlı zaman pencereli, heterojen filolu çok ürünlü kapasiteli bölmeli bir araç rotalama problemi olarak ele alınmıştır. Problem için yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Çevre ve deniz kirliliği gibi riskler en aza indirilerek optimum güzergah belirlenmiştir. Bölüm 4'te anlatılan faktörler ve yöntem kullanılarak noktalar arası riskler belirlenmiş, Bölüm 5'te anlatılan yöntem ile talep tahminleri gerçekleştirilmiş ve önerilen matematiksel modelde kullanılmıştır.

8.1 Literatüre Katkı

Tez kapsamında yapılan her uygulamanın literatüre katkıları mevcuttur. Bölüm 2’de ayrıntılarıyla açıklanan SCOR 4.0 metodolojisinin literatüre katkıları şu şekilde özetlenebilir: (1) Bu tez ile, SCOR modelini, Endüstri 4.0 dünyasına uyarlamak için yeni metrikler eklenmiştir. Böylece, hem kamu hem de özel sektör tarafından tedarik zinciri stratejilerini iyileştirmek için kullanılacak yeni bir SCOR 4.0 modeli önerilmiştir; (2) Tedarik zinciri performanslarına ilişkin en önemli metrikler belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır; (3) Metrikler hakkında görüş almak için üç farklı uzman grubu oluşturulmuştur; (4) Seviye-1 metrikler için BWM ile değerlendirilme yapılmış ve en önemli Seviye-1 metrikleri belirlenmiştir; (5) Alt metrikler (iç seviyeler) PB-AHP yöntemi ile değerlendirilmiş ve her Seviye-2 ve Seviye-3 metriklerinin önem ağırlıkları elde edilmiştir; (6) Metodolojinin uygulanabilirliğini ve güvenilirliğini göstermek için bir petrol tedarik zinciri için gerçek bir uygulama sunulmuştur.

3. Bölümde çalışma kapsamında hazırlanan akaryakıt istasyonu yer seçim problemi ve problemin çözümü için hazırlanan algoritma açıklanmıştır. Bu çalışmanın literatüre katkıları şu şekilde özetlenebilir: (1) Akaryakıt istasyonu yer seçimi problemi, ÇKKV problemi olarak değerlendirilmiştir; (2) Akaryakıt istasyonu yer seçiminde en önemli kriterler belirlenerek gruplandırılmıştır; (3) Bu ana kriterler ve bunların alt kriterleri, her bir kriterin önem ağırlıklarını elde etmek için önerilen metodoloji ile değerlendirilmiştir; (4) Önerilen metodolojinin uygulanabilirliğini ve güvenilirliğini göstermek için İstanbul’da gerçek hayattan bir uygulama yapılarak sunulmuştur; (5) Önerilen metodolojinin kuruluşlar tarafından yer seçim stratejilerini iyileştirmek için kullanılabilmesi amaçlanmaktadır; (6) Bu çalışma

küresel bulanık AHP entegre küresel bulanık WASPAS metodolojisinin ilk uygulamasını içermektedir.

Daha sonra tehlikeli madde taşımacılığında kullanılmak üzere hazırlanan risk atama metodolojisi 4. Bölüm'de açıklanmıştır. Çalışmanın katkıları şu şekilde özetlenebilir: (1) Tehlikeli madde taşıma problemi için risk değerlendirmesi bir ÇKKV problemi olarak kabul edilmiştir; (2) Tehlikeli madde taşımacılığı üzerindeki en kritik risk faktörleri tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır; (3) Bu ana risk faktörleri ve alt risk faktörleri, PB-AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir ve risk faktörlerinin önem dereceleri belirlenmiştir; (4) Önerilen metodolojinin uygulanabilirliğini göstermek için İstanbul'daki petrol taşıma operasyonları için gerçek bir uygulama yapılmıştır; (5) Önerilen metodolojinin kamu ve özel kuruluşlar tarafından tehlikeli madde taşıma stratejilerini iyileştirmek için kullanılabileceği gösterilmiştir.

5. Bölüm'de açıklanan günlük benzin tüketim tahmin yöntemi, benzinin tedarikinde kamu ve özel sektöre daha etkili yanıt veren sorunsuz ve güvenli bir toplama/dağıtım altyapısı oluşturmak için bir rehber olabilir. Önerilen tahmin metodolojisi, kesintisiz benzin tedariki akışı ve müşteri ve tedarikçilere maksimum düzeyde ulaşılabilen çözümler için bir referans olabilir.

6. Bölüm'de temel bir zaman bağımlı akaryakıt istasyonu ikmal problemi ele alınmıştır. Devamında 7. Bölüm'de tez kapsamında ele alınan akaryakıt taşıma problemine lokasyon ve risk tabanlı bir zaman bağımlı zaman pencereli heterojen filolu çok ürünlü araç rotalama yaklaşımı ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Çalışmanın literatüre katkıları şu şekilde tanımlanabilir: (1) İstanbul'da bulunan halka açık bir şirket için akaryakıt istasyonu ikmal problemi tartışılmıştır; (2) Önerilen zaman bağımlı problemi daha gerçekçi bir şekilde ele almak için, trafik yoğunluğuna bağlı olarak değişken tanker hızları dikkate alınmıştır; (3) Tankerin rafineriden istasyonlara taşıma süreleri zaman bağımlı olarak belirlenmiştir; (4) Çevresel riskleri ele alan bir çalışma literatüre kazandırılmıştır; (5) Önerilen matematiksel model literatüre kazandırılmıştır; (6) Metodolojinin uygulanabilirliğini ve güvenilirliğini göstermek için gerçek bir vaka sunulmuştur; (7) Önerilen yöntemin, kuruluşların petrol dağıtım stratejilerini iyileştirme amaçları için kullanılması amaçlanmaktadır.

8.2 Gelecek Çalışmalar

SCOR 4.0 metodolojisi için, gelecekteki bazı yönler aşağıdaki gibi düşünülebilir: Farklı toplama operatörleri ve Pisagor bulanık kümeleri üzerinde işlem kuralları uygulanabilir. Pisagor bulanık kümeleri için farklı analizler sunulabilir. Tedarik zincirleri dikkate alınarak yeni metrikler performans ölçümüne dahil edilebilir. Gelecekteki bir yön olarak daha karşılaştırmalı ve entegre bir çalışma sağlamak için bazı yeni ÇKKV yöntemleri dahil edilebilir.

Akaryakıt istasyonu yer seçimi probleminde daha karşılaştırmalı ve entegre bir çalışma sağlamak için metodolojiye farklı ÇKKV yöntemleri ve/veya sezgisel yöntemler dahil edilebilir. Danışılan uzman sayısı artırılabilir. Bu çalışma kullanılarak organizasyonlar karşılaştırılabilir. Akaryakıt istasyonlarının performans değerlendirmesi, sürdürülebilirlik analizleri yapılabilir.

Tehlikeli madde risk atama metodolojisi kullanılarak farklı tehlikeli madde taşıma stratejileri değerlendirilebilir. Önerilen model farklı şehirler için uygulanabilir. Bu çalışma kullanılarak kuruluşlar karşılaştırılabilir veya daha fazla uzmanla görüşülerek genişletilebilir.

Günlük benzin tüketim talep tahmini probleminin çözümünde benimsenen yaklaşım güncellenmiş verilerle genişletilebilir veya mevcut verileri karşılaştırmak için yapay sinir ağları, Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA), Mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (SARIMA) gibi farklı tahmin yöntemleri uygulanabilir.

Akaryakıt istasyonu ikmal problemi için uygulama alanı olarak daha büyük ve/veya birleşik bölgeler seçilebilir. Sezgisel veya üst sezgisel algoritmalar, karmaşıklığın üstesinden gelmek için geliştirilebilir. Problem stokastik veya sağlam yapılar olarak modellenebilir.

- [1] INTERNATIONAL MONETARY FUND, "World Economic Outlook, April 2016," 2016. doi: 10.5089/9781498398589.081.
- [2] Turkey Ministry of Trade, "Economic Outlook," Mar. 2020. <https://ticaret.gov.tr/data/5e18288613b8761dccd355ce/EkonomikGörünümMart2020.pdf> (accessed May 21, 2020).
- [3] S. Y. Park and S. H. Yoo, "The dynamics of oil consumption and economic growth in Malaysia," *Energy Policy*, vol. 66, pp. 218–223, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2013.10.059.
- [4] PETDER, "PETDER Sector Report," 2019. Accessed: Oct. 18, 2020. [Online]. Available: <http://www.petder.org.tr/en-US/petder-sector-report/1260636>.
- [5] J. I. Mikayilov, S. Mukhtarov, H. Dinçer, S. Yüksel, and R. Aydın, "Elasticity Analysis of Fossil Energy Sources for Sustainable Economies: A Case of Gasoline Consumption in Turkey," *Energies*, vol. 13, no. 3, p. 731, Feb. 2020, doi: 10.3390/en13030731.
- [6] C. Karademir, "Cari açık-enerji ithalatı ilişkisi ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları," Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [7] H. Ma and Z. Zhang, "Grey prediction with Markov-chain for crude oil production and consumption in China," in *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 2009, vol. 56, pp. 551–561, doi: 10.1007/978-3-642-01216-7_58.
- [8] Q. Wang and X. Song, "Forecasting China's oil consumption: A comparison of novel nonlinear-dynamic grey model (GM), linear GM, nonlinear GM and metabolism GM," *Energy*, vol. 183, pp. 160–171, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.06.139.
- [9] Z.-Y. Yang, A.-H. Chai, Y.-F. Yang, X.-M. Li, P. Li, and R.-Y. Dai, "The Semiflexible Polymer Translocation into Laterally Unbounded Region between Two Parallel Flat Membranes," *Polymers (Basel)*, vol. 8, no. 9, p. 332, Sep. 2016, doi: 10.3390/polym8090332.
- [10] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem," *Manage. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 80–91, Oct. 1959, doi: 10.1287/mnsc.6.1.80.
- [11] O. Dominguez, A. A. Juan, and J. Faulin, "A biased-randomized algorithm for the two-dimensional vehicle routing problem with and without item rotations," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 21, no. 3, pp. 375–398, May 2014, doi: 10.1111/itor.12070.
- [12] P. Chen, B. Golden, X. Wang, and E. Wasil, "A novel approach to solve the split delivery vehicle routing problem," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 24, no. 1–2, pp. 27–41, Jan. 2017, doi: 10.1111/itor.12250.
- [13] A. Estrada-Moreno, M. Savelsbergh, A. A. Juan, and J. Panadero, "Biased-

- randomized iterated local search for a multiperiod vehicle routing problem with price discounts for delivery flexibility," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 26, no. 4, pp. 1293–1314, Jul. 2019, doi: 10.1111/itor.12625.
- [14] L. Calvet, D. Wang, A. Juan, and L. Bové, "Solving the multidepot vehicle routing problem with limited depot capacity and stochastic demands," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 26, no. 2, pp. 458–484, Mar. 2019, doi: 10.1111/itor.12560.
 - [15] G. Xu, Y. Li, W. Y. Szeto, and J. Li, "A cash transportation vehicle routing problem with combinations of different cash denominations," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 26, no. 6, pp. 2179–2198, Nov. 2019, doi: 10.1111/itor.12640.
 - [16] V. Baradaran, A. Shafaei, and A. H. Hosseini, "Stochastic vehicle routing problem with heterogeneous vehicles and multiple prioritized time windows: Mathematical modeling and solution approach," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 131, pp. 187–199, May 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.03.047.
 - [17] G. Laporte, "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 7, no. 4–5, pp. 285–300, Sep. 2000, doi: 10.1016/s0969-6016(00)00003-4.
 - [18] S. Yan, S. S. Wang, and M. W. Wu, "A model with a solution algorithm for the cash transportation vehicle routing and scheduling problem," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 63, no. 2, pp. 464–473, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.cie.2012.04.004.
 - [19] H. M. Afsar, C. Prins, and A. C. Santos, "Exact and heuristic algorithms for solving the generalized vehicle routing problem with flexible fleet size," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 21, no. 1, pp. 153–175, Jan. 2014, doi: 10.1111/itor.12041.
 - [20] R. Pérez-Rodríguez and A. Hernández-Aguirre, "A hybrid estimation of distribution algorithm for the vehicle routing problem with time windows," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 130, pp. 75–96, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.02.017.
 - [21] J. Caceres-Cruz, P. Arias, D. Guimarans, D. Riera, and A. A. Juan, "Rich vehicle routing problem: Survey," *ACM Comput. Surv.*, vol. 47, no. 2, pp. 1–28, Dec. 2014, doi: 10.1145/2666003.
 - [22] R. Herrero, A. Rodríguez, J. Cáceres-Cruz, and A. A. Juan, "Solving vehicle routing problems with asymmetric costs and heterogeneous fleets," *Int. J. Adv. Oper. Manag.*, vol. 6, no. 1, pp. 58–80, 2015, doi: 10.1504/IJAOM.2014.059620.
 - [23] W. Gu, D. Cattaruzza, M. Ogier, and F. Semet, "Adaptive large neighborhood search for the commodity constrained split delivery VRP," *Comput. Oper. Res.*, vol. 112, p. 104761, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.cor.2019.07.019.
 - [24] J. Bernal, J. W. Escobar, J. C. Paz, R. Linfati, and G. Gatica, "A probabilistic granular tabu search for the distance constrained capacitated vehicle routing problem," *Int. J. Ind. Syst. Eng.*, vol. 29, no. 4, pp. 453–477, 2018, Accessed: Nov. 06, 2020. [Online]. Available: <https://ideas.repec.org/a/ids/ijisen/v29y2018i4p453-477.html>.
 - [25] U. Ritzinger, J. Puchinger, and R. F. Hartl, "A survey on dynamic and stochastic

- vehicle routing problems," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 54, no. 1, pp. 215–231, Jan. 2016, doi: 10.1080/00207543.2015.1043403.
- [26] V. N. Coelho, A. Grasas, H. Ramalhinho, I. M. Coelho, M. J. F. Souza, and R. C. Cruz, "An ILS-based algorithm to solve a large-scale real heterogeneous fleet VRP with multi-trips and docking constraints," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 250, no. 2, pp. 367–376, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.09.047.
 - [27] R. Wang, J. Zhou, X. Yi, and A. A. Pantelous, "Solving the green-fuzzy vehicle routing problem using a revised hybrid intelligent algorithm," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 10, no. 1, pp. 321–332, Jan. 2019, doi: 10.1007/s12652-018-0703-9.
 - [28] L. Song and H. Huang, "The Euclidean vehicle routing problem with multiple depots and time windows," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Dec. 2017, vol. 10628 LNCS, pp. 449–456, doi: 10.1007/978-3-319-71147-8_31.
 - [29] J. Belloso, A. A. Juan, and J. Faulin, "An iterative biased-randomized heuristic for the fleet size and mix vehicle-routing problem with backhauls," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 26, no. 1, pp. 289–301, Jan. 2019, doi: 10.1111/itor.12379.
 - [30] V. F. Yu, P. Jewpanya, and A. A. N. P. Redi, "Open vehicle routing problem with cross-docking," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 94, pp. 6–17, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.01.018.
 - [31] D. Aggarwal and V. Kumar, "Mixed integer programming for vehicle routing problem with time windows," *Int. J. Intell. Syst. Technol. Appl.*, vol. 18, no. 1–2, pp. 4–19, 2019, doi: 10.1504/IJISTA.2019.097744.
 - [32] C. Archetti, E. Fernández, and D. L. Huerta-Muñoz, "The Flexible Periodic Vehicle Routing Problem," *Comput. Oper. Res.*, vol. 85, pp. 58–70, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.cor.2017.03.008.
 - [33] B. Sawik, J. Faulin, and E. Pérez-Bernabeu, "A Multicriteria Analysis for the Green VRP: A Case Discussion for the Distribution Problem of a Spanish Retailer," in *Transportation Research Procedia*, Jan. 2017, vol. 22, pp. 305–313, doi: 10.1016/j.trpro.2017.03.037.
 - [34] D. Dechampai, L. Tanwanichkul, K. Sethanan, and R. Pitakaso, "A differential evolution algorithm for the capacitated VRP with flexibility of mixing pickup and delivery services and the maximum duration of a route in poultry industry," *J. Intell. Manuf.*, vol. 28, no. 6, pp. 1357–1376, Aug. 2017, doi: 10.1007/s10845-015-1055-3.
 - [35] F. Hooshmand and S. A. MirHassani, "Time dependent green VRP with alternative fuel powered vehicles," *Energy Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 721–756, Aug. 2019, doi: 10.1007/s12667-018-0283-y.
 - [36] R. Paradiso, R. Roberti, D. Lagana, and W. Dullaert, "An exact solution framework for multitrip vehicle-routing problems with time windows," *Oper. Res.*, vol. 68, no. 1, pp. 180–198, Feb. 2020, doi: 10.1287/OPRE.2019.1874.

- [37] J. De Armas, B. Melián-Batista, J. A. Moreno-Pérez, and J. Brito, "GVNS for a real-world rich vehicle routing problem with time windows," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 42, pp. 45–56, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.engappai.2015.03.009.
- [38] B. Royo, A. Fraile, E. Larrodé, and V. Muerza, "Route planning for a mixed delivery system in long distance transportation and comparison with pure delivery systems," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 291. Elsevier B.V., pp. 488–496, Jan. 01, 2016, doi: 10.1016/j.cam.2015.03.042.
- [39] C. Liu, G. Kou, X. Zhou, Y. Peng, H. Sheng, and F. E. Alsaadi, "Time-dependent vehicle routing problem with time windows of city logistics with a congestion avoidance approach," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 188, p. 104813, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.knosys.2019.06.021.
- [40] S. Dabia, D. Lai, and D. Vigo, "An exact algorithm for a rich vehicle routing problem with private fleet and common carrier," *Transp. Sci.*, vol. 53, no. 4, pp. 986–1000, May 2019, doi: 10.1287/trsc.2018.0852.
- [41] J. Lysgaard, A. D. López-Sánchez, and A. G. Hernández-Díaz, "A matheuristic for the MinMax capacitated open vehicle routing problem," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 27, no. 1, pp. 394–417, Jan. 2020, doi: 10.1111/itor.12581.
- [42] Ö. N. Çam and H. K. Sezen, "Linear Programming Formulation For Vehicle Routing Problem Which Is Minimized Idle Time," *Decis. Mak. Appl. Manag. Eng.*, vol. 3, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.31181/dmame2003132h.
- [43] F. E. Zulvia, R. J. Kuo, and D. Y. Nugroho, "A many-objective gradient evolution algorithm for solving a green vehicle routing problem with time windows and time dependency for perishable products," *J. Clean. Prod.*, vol. 242, p. 118428, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118428.
- [44] Ç. Koç, M. Erbaş, and E. Özceylan, "A rich vehicle routing problem arising in the replenishment of automated teller machines," *Int. J. Optim. Control Theor. Appl.*, vol. 8, no. 2, pp. 276–287, Jul. 2018, doi: 10.11121/ijocta.01.2018.00572.
- [45] J. A. Sicilia, C. Quemada, B. Royo, and D. Escuín, "An optimization algorithm for solving the rich vehicle routing problem based on Variable Neighborhood Search and Tabu Search metaheuristics," *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 291, pp. 468–477, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.cam.2015.03.050.
- [46] E. Osaba, X. S. Yang, F. Diaz, E. Onieva, A. D. Masegosa, and A. Perallos, "A discrete firefly algorithm to solve a rich vehicle routing problem modelling a newspaper distribution system with recycling policy," *Soft Comput.*, vol. 21, no. 18, pp. 5295–5308, Sep. 2017, doi: 10.1007/s00500-016-2114-1.
- [47] A. Marques, R. Soares, M. J. Santos, and P. Amorim, "Integrated planning of inbound and outbound logistics with a Rich Vehicle Routing Problem with backhauls," *Omega (United Kingdom)*, vol. 92, p. 102172, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.omega.2019.102172.
- [48] P. Campelo, F. Neves-Moreira, P. Amorim, and B. Almada-Lobo, "Consistent vehicle routing problem with service level agreements: A case study in the

- pharmaceutical distribution sector," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 273, no. 1, pp. 131–145, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.ejor.2018.07.030.
- [49] E. Osaba, X. S. Yang, I. Fister, J. Del Ser, P. Lopez-Garcia, and A. J. Vazquez-Pardavila, "A Discrete and Improved Bat Algorithm for solving a medical goods distribution problem with pharmacological waste collection," *Swarm Evol. Comput.*, vol. 44, pp. 273–286, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.swevo.2018.04.001.
- [50] H. Abidi, K. Hassine, and F. Mguis, "Genetic Algorithm for Solving a Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows," in *Proceedings - 2018 International Conference on High Performance Computing and Simulation, HPCS 2018*, Oct. 2018, pp. 782–788, doi: 10.1109/HPCS.2018.00126.
- [51] O. Jabali, T. Van Woensel, and A. G. De Kok, "Analysis of travel times and CO2 emissions in time-dependent vehicle routing," *Prod. Oper. Manag.*, vol. 21, no. 6, pp. 1060–1074, Nov. 2012, doi: 10.1111/j.1937-5956.2012.01338.x.
- [52] M. Mahmoudi and X. Zhou, "Finding optimal solutions for vehicle routing problem with pickup and delivery services with time windows: A dynamic programming approach based on state-space-time network representations," *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 89, pp. 19–42, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.trb.2016.03.009.
- [53] M. Soysal, J. M. Bloemhof-Ruwaard, and T. Bektaş, "The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 164, pp. 366–378, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.11.016.
- [54] Y. Huang, L. Zhao, T. Van Woensel, and J. P. Gross, "Time-dependent vehicle routing problem with path flexibility," *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 95, pp. 169–195, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.trb.2016.10.013.
- [55] B. D. Song and Y. D. Ko, "A vehicle routing problem of both refrigerated- and general-type vehicles for perishable food products delivery," *J. Food Eng.*, vol. 169, pp. 61–71, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.08.027.
- [56] B. Balcik and B. M. Beamon, "Facility location in humanitarian relief," *Int. J. Logist. Res. Appl.*, vol. 11, no. 2, pp. 101–121, 2008, doi: 10.1080/13675560701561789.
- [57] O. Ozyazar, I. Yardimci, and O. Vayvay, "LOJİSTİK ve TEDARİK ZİNCİRİ PERFORMANS ÖLÇÜMÜ: LİTERATÜR TARAMASI," 2014.
- [58] M. J. Lebas, "Performance measurement and performance management," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 41, no. 1–3, pp. 23–35, Oct. 1995, doi: 10.1016/0925-5273(95)00081-X.
- [59] M. Wouters, "A developmental approach to performance measures-Results from a longitudinal case study," *Eur. Manag. J.*, vol. 27, no. 1, pp. 64–78, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.emj.2008.06.006.
- [60] A. Gunasekaran, C. Patel, and R. E. McGaughey, "A framework for supply chain performance measurement," in *International Journal of Production Economics*,

Feb. 2004, vol. 87, no. 3, pp. 333–347, doi: 10.1016/j.ijpe.2003.08.003.

- [61] G. Wang, S. H. Huang, and J. P. Dismukes, "Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 91, no. 1, pp. 1–15, Sep. 2004, doi: 10.1016/S0925-5273(03)00221-4.
- [62] G. Wang, S. H. Huang, and J. P. Dismukes, "Manufacturing supply chain design and evaluation," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 25, no. 1–2, pp. 93–100, Jan. 2005, doi: 10.1007/s00170-003-1791-y.
- [63] Y. D. Hwang, Y. C. Lin, and J. Lyu, "The performance evaluation of SCOR sourcing process - The case study of Taiwan's TFT-LCD industry," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 115, no. 2, pp. 411–423, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.ijpe.2007.09.014.
- [64] B. Chae, "Developing key performance indicators for supply chain: An industry perspective," *Supply Chain Manag.*, vol. 14, no. 6, pp. 422–428, Jun. 2009, doi: 10.1108/13598540910995192.
- [65] R. D. Raut, H. V. Bhasin, and S. S. Kamble, "Supplier selection using integrated multi-criteria decision-making methodology," *Int. J. Oper. Res.*, vol. 13, no. 4, pp. 359–394, Apr. 2012, doi: 10.1504/IJOR.2012.046223.
- [66] Q. Lu, M. Goh, and R. De Souza, "A SCOR framework to measure logistics performance of humanitarian organizations," *J. Humanit. Logist. Supply Chain Manag.*, vol. 6, no. 2, pp. 222–239, Aug. 2016, doi: 10.1108/JHLSCM-09-2015-0038.
- [67] A. Essakly, M. Wichmann, and T. S. Spengler, "A reference framework for the holistic evaluation of Industry 4.0 solutions for small- And medium-sized enterprises," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 427–432, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.093.
- [68] F. R. Lima-Junior and L. C. R. Carpinetti, "An adaptive network-based fuzzy inference system to supply chain performance evaluation based on SCOR® metrics," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 139, p. 106191, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2019.106191.
- [69] A. Lockamy and K. McCormack, "The development of a supply chain management process maturity model using the concepts of business process orientation," *Supply Chain Manag. An Int. J.*, vol. 9, no. 4, pp. 272–278, Sep. 2004, doi: 10.1108/13598540410550019.
- [70] E. N. Ntabe, L. LeBel, A. D. Munson, and L. A. Santa-Eulalia, "A systematic literature review of the supply chain operations reference (SCOR) model application with special attention to environmental issues," *International Journal of Production Economics*, vol. 169. Elsevier, pp. 310–332, Nov. 01, 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2015.08.008.
- [71] J. M. Müller, "Contributions of Industry 4.0 to quality management - A SCOR perspective," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 1236–1241, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.367.
- [72] B. Kocaoglu, B. Gülsün, and M. Tanyaş, "A SCOR based approach for measuring

- a benchmarkable supply chain performance," *J. Intell. Manuf.*, vol. 24, no. 1, pp. 113–132, Feb. 2013, doi: 10.1007/s10845-011-0547-z.
- [73] M. A. Bushuev and A. L. Guiffrida, "Improving delivery performance for gamma distributed delivery time," *Int. J. Bus. Perform. Supply Chain Model.*, vol. 10, no. 3, pp. 195–214, 2019, doi: 10.1504/IJBPSM.2019.100823.
 - [74] M. Sambasivan, Z. A. Mohamed, and T. Nandan, "Performance measures and metrics for e-supply chains," *J. Enterp. Inf. Manag.*, vol. 22, no. 3, pp. 346–360, Apr. 2009, doi: 10.1108/17410390910949751.
 - [75] F. R. Lin and M. J. Shaw, "Reengineering the order fulfillment process in supply chain networks," *Int. J. Flex. Manuf. Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 197–229, Jul. 1998, doi: 10.1023/A:1008069816606.
 - [76] A. Sanayei, S. Farid Mousavi, M. R. Abdi, and A. Mohaghar, "An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming," *J. Franklin Inst.*, vol. 345, no. 7, pp. 731–747, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.jfranklin.2008.03.005.
 - [77] F. Zahara and R. A. Hadiguna, "SCOR based key success factors in cooking oil supply chain buyers perspective in Padang City," in *AIP Conference Proceedings*, Nov. 2017, vol. 1902, no. 1, p. 020055, doi: 10.1063/1.5010672.
 - [78] A. Vanichchinchai and B. Igel, "The impact of total quality management on supply chain management and firm's supply performance," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 49, no. 11, pp. 3405–3424, Jun. 2011, doi: 10.1080/00207543.2010.492805.
 - [79] D. Eckstein, M. Goellner, C. Blome, and M. Henke, "The performance impact of supply chain agility and supply chain adaptability: the moderating effect of product complexity," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 53, no. 10, pp. 3028–3046, May 2015, doi: 10.1080/00207543.2014.970707.
 - [80] P. Schütz and A. Tomasgard, "The impact of flexibility on operational supply chain planning," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 134, no. 2, pp. 300–311, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.ijpe.2009.11.004.
 - [81] X. Liu and S. Ma, "How to measure the logistics capability in supply chain : calculation model of circulation quantity and response time," 2006. Accessed: Apr. 26, 2020. [Online]. Available: <http://www.logistics-chain.com>.
 - [82] S. A. Seuring, "Green Supply Chain Costing: Joint Cost Management in the Polyester Linings Supply Chain," *Greener Manag. Int.*, no. 33, pp. 71–80, Apr. 2001, [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/greemanainte.33.71>.
 - [83] Y. Ceran and A. Alagöz, "LOJİSTİK MALİYET YÖNETİMİ: LOJİSTİK MALİYETLER VE LOJİSTİK MALİYET MUHASEBESİ," 2007.
 - [84] X. F. Shao, "Free or calculated shipping: Impact of delivery cost on supply chains moving to online retailing," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 191, pp. 267–277, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.06.022.
 - [85] F. R. Lima-Junior and L. C. R. Carpinetti, "Combining SCOR® model and fuzzy TOPSIS for supplier evaluation and management," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 174,

- pp. 128–141, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.ijpe.2016.01.023.
- [86] Y. W. Zhou, J. Guo, and W. Zhou, “Pricing/service strategies for a dual-channel supply chain with free riding and service-cost sharing,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 196, pp. 198–210, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.11.014.
 - [87] M. Goldparvar and M. Seifbarghy, “APPLICATION OF SCOR MODEL IN AN OIL-PRODUCING COMPANY,” *J. Optim. Ind. Eng. (JOURNAL Ind. Eng.)*, vol. 4, no. PRE. NO. 4, pp. 59–69, 2009, [Online]. Available: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=218737>.
 - [88] E. Hofmann and H. Kotzab, “A SUPPLY CHAIN-ORIENTED APPROACH OF WORKING CAPITAL MANAGEMENT,” *J. Bus. Logist.*, vol. 31, no. 2, pp. 305–330, Sep. 2010, doi: 10.1002/j.2158-1592.2010.tb00154.x.
 - [89] L. M. Gelsomino, R. Mangiaracina, A. Perego, and A. Tumino, “Supply chain finance: a literature review,” *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 46, no. 4. Emerald Group Publishing Ltd., pp. 348–366, May 03, 2016, doi: 10.1108/IJPDLM-08-2014-0173.
 - [90] E. E. Topaloğlu, Ö. Karakozak, and İ. Ege, “NAKİT DÖNÜŞÜM SÜRESİ ANALİZİ: BIST-50 ENDEKSİNDE YER ALAN ŞİRKETLER ÜZERİNE AMPİRİK BİR UYGULAMA,” *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 9, no. 1, pp. 179–193, 2016, Accessed: Apr. 27, 2020. [Online]. Available: <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/niguiibfd/>.
 - [91] R. C. Moyer, J. R. McGuigan, and R. P. Rao, *Fundamentals of contemporary financial management*. Thomson/South-Western, 2006.
 - [92] J. Liebl, E. Hartmann, and E. Feisel, “Reverse factoring in the supply chain: objectives, antecedents and implementation barriers,” *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 46, no. 4, pp. 393–413, May 2016, doi: 10.1108/IJPDLM-08-2014-0171.
 - [93] N. Altay and A. Ramirez, “IMPACT OF DISASTERS ON FIRMS IN DIFFERENT SECTORS: IMPLICATIONS FOR SUPPLY CHAINS,” *J. Supply Chain Manag.*, vol. 46, no. 4, pp. 59–80, Sep. 2010, doi: 10.1111/j.1745-493X.2010.03206.x.
 - [94] P. Gölzer, P. Cato, and M. Amberg, *Association for Information Systems Data Processing Requirements of Industry 4.0-Use Cases for Big Data Applications Recommended Citation*. 2015.
 - [95] S. G. Winter, “UNDERSTANDING DYNAMIC CAPABILITIES,” *Strateg. Manag. J. Strat. Mgmt. J.*, vol. 24, pp. 991–995, 2003, doi: 10.1002/smj.318.
 - [96] D. J. Teece, “The foundations of enterprise performance: Dynamic and ordinary capabilities in an (economic) theory of firms,” in *Academy of Management Perspectives*, Nov. 2014, vol. 28, no. 4, pp. 328–352, doi: 10.5465/amp.2013.0116.
 - [97] B. Asdecker and V. Felch, “Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains,” *J. Model. Manag.*, vol. 13, no. 4, pp. 840–883, Nov. 2018, doi: 10.1108/JM2-03-2018-0042.
 - [98] A. Gilchrist, “Software Design Concepts,” in *Industry 4.0*, Apress, 2016, pp.

143–152.

- [99] R. Sharma, S. S. Kamble, A. Gunasekaran, V. Kumar, and A. Kumar, "A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance," *Comput. Oper. Res.*, vol. 119, p. 104926, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.cor.2020.104926.
- [100] A. Varghese and D. Tandur, "Wireless requirements and challenges in Industry 4.0," in *Proceedings of 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2014*, Jan. 2014, pp. 634–638, doi: 10.1109/IC3I.2014.7019732.
- [101] H. Kagermann, "Change through digitization—value creation in the age of industry 4.0," in *Management of Permanent Change*, Springer Science+Business Media, 2015, pp. 23–45.
- [102] E. Papadonikolaki, "The Digital Supply Chain," in *Successful Construction Supply Chain Management*, John Wiley & Sons, Ltd, 2019, pp. 13–41.
- [103] S. Kurpjuweit, C. G. Schmidt, M. Klöckner, and S. M. Wagner, "Blockchain in Additive Manufacturing and its Impact on Supply Chains," *J. Bus. Logist.*, p. jbl.12231, Oct. 2019, doi: 10.1111/jbl.12231.
- [104] R. C. Lamming, N. D. Caldwell, D. A. Harrison, and W. Phillips, "Transparency in Supply Relationships: Concept and Practice," *J. Supply Chain Manag.*, vol. 37, no. 3, pp. 4–10, Sep. 2001, doi: 10.1111/j.1745-493X.2001.tb00107.x.
- [105] K. Zhou, T. Liu, and L. Zhou, "Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges," in *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2015*, Jan. 2016, pp. 2147–2152, doi: 10.1109/FSKD.2015.7382284.
- [106] A. Biahmou, C. Emmer, and J. Stjepandic, "Digital Master as an Enabler for Industry 4.0 3D Measurement Data Management View project," 2016, doi: 10.3233/978-1-61499-703-0-672.
- [107] E. Ilbahar, S. Cebi, and C. Kahraman, "A state-of-the-art review on multi-attribute renewable energy decision making," *Energy Strategy Reviews*, vol. 25, Elsevier Ltd, pp. 18–33, Aug. 01, 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.04.014.
- [108] H. Liao, X. Mi, Q. Yu, and L. Luo, "Hospital performance evaluation by a hesitant fuzzy linguistic best worst method with inconsistency repairing," *J. Clean. Prod.*, vol. 232, pp. 657–671, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.308.
- [109] J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method," *Omega (United Kingdom)*, vol. 53, pp. 49–57, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.omega.2014.11.009.
- [110] Q. Mou, Z. Xu, and H. Liao, "An intuitionistic fuzzy multiplicative best-worst method for multi-criteria group decision making," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 374, pp. 224–239, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.ins.2016.08.074.
- [111] S. Kheybari, M. Kazemi, and J. Rezaei, "Bioethanol facility location selection using best-worst method," *Appl. Energy*, vol. 242, pp. 612–623, May 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.054.
- [112] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, Jun. 1965, doi:

10.1016/S0019-9958(65)90241-X.

- [113] E. Ayyildiz and A. Taskin Gumus, "A novel spherical fuzzy AHP-integrated spherical WASPAS methodology for petrol station location selection problem: a real case study for İstanbul," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, no. 29, pp. 36109–36120, Oct. 2020, doi: 10.1007/s11356-020-09640-0.
- [114] J. Q. Wang, J. J. Peng, H. Y. Zhang, T. Liu, and X. H. Chen, "An Uncertain Linguistic Multi-criteria Group Decision-Making Method Based on a Cloud Model," *Gr. Decis. Negot.*, vol. 24, no. 1, pp. 171–192, Jan. 2015, doi: 10.1007/s10726-014-9385-7.
- [115] D. Guyonnet and N. Touze-Foltz, "Assessing the risk of leakage from heap leach pads used in mining operations," *Extr. Ind. Soc.*, vol. 1, no. 1, pp. 96–103, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.exis.2013.12.002.
- [116] L. A. Zadeh, "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-II," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 8, no. 4, pp. 301–357, Jan. 1975, doi: 10.1016/0020-0255(75)90046-8.
- [117] K. T. Atanassov, "Intuitionistic Fuzzy Sets," *Physica*, Heidelberg, 1999, pp. 1–137.
- [118] F. Smarandache, *A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic*. Rehoboth: American Research Press, 1999.
- [119] V. Torra, "Hesitant fuzzy sets," *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 25, no. 6, p. n/a-n/a, Jun. 2010, doi: 10.1002/int.20418.
- [120] R. R. Yager, "Pythagorean fuzzy subsets," in *Proceedings of the 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting, IFSA/NAFIPS 2013*, 2013, pp. 57–61, doi: 10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608375.
- [121] X. Peng and G. Selvachandran, "Pythagorean fuzzy set: state of the art and future directions," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 52, no. 3, pp. 1873–1927, Oct. 2019, doi: 10.1007/s10462-017-9596-9.
- [122] R. R. Yager, "Pythagorean membership grades in multicriteria decision making," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 22, no. 4, pp. 958–965, 2014, doi: 10.1109/TFUZZ.2013.2278989.
- [123] E. Ilbahar, A. Karaşan, S. Cebi, and C. Kahraman, "A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system," *Saf. Sci.*, vol. 103, pp. 124–136, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2017.10.025.
- [124] A. Karasan, E. Ilbahar, S. Cebi, and C. Kahraman, "A new risk assessment approach: Safety and Critical Effect Analysis (SCEA) and its extension with Pythagorean fuzzy sets," *Saf. Sci.*, vol. 108, pp. 173–187, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2018.04.031.
- [125] M. Fatih Ak and · Muhammet Gul, "AHP-TOPSIS integration extended with Pythagorean fuzzy sets for information security risk analysis," *Complex Intell. Syst.*, vol. 5, pp. 113–126, 2019, doi: 10.1007/s40747-018-0087-7.
- [126] R. Kumar, S. A. Edalatpanah, S. Jha, and R. Singh, "A Pythagorean fuzzy

- approach to the transportation problem,” *Complex Intell. Syst.*, vol. 5, no. 2, pp. 255–263, Jun. 2019, doi: 10.1007/s40747-019-0108-1.
- [127] H. Garg, “A new improved score function of an interval-valued pythagorean fuzzy set based topsis method,” *Int. J. Uncertain. Quantif.*, vol. 7, no. 5, pp. 463–474, 2017, doi: 10.1615/Int.J.UncertaintyQuantification.2017020197.
- [128] H. Garg, “A novel accuracy function under interval-valued Pythagorean fuzzy environment for solving multicriteria decision making problem,” *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 31, no. 1, pp. 529–540, Jun. 2016, doi: 10.3233/IFS-162165.
- [129] X. Peng and Y. Yang, “Fundamental Properties of Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Aggregation Operators,” *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 31, no. 5, pp. 444–487, May 2016, doi: 10.1002/int.21790.
- [130] L. Wang and N. Li, “Pythagorean fuzzy interaction power Bonferroni mean aggregation operators in multiple attribute decision making,” *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 35, no. 1, pp. 150–183, Jan. 2020, doi: 10.1002/int.22204.
- [131] N. Li, H. Garg, and L. Wang, “Some novel interactive hybridweighted aggregation operators with pythagorean fuzzy numbers and their applications to decision making,” *Mathematics*, vol. 7, no. 12, p. 1150, Dec. 2019, doi: 10.3390/MATH7121150.
- [132] L. Wang and N. Li, “Continuous interval-valued Pythagorean fuzzy aggregation operators for multiple attribute group decision making,” *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 36, no. 6, pp. 6245–6263, Jan. 2019, doi: 10.3233/JIFS-182570.
- [133] M. Yucesan and M. Gul, “Hospital service quality evaluation: an integrated model based on Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS,” *Soft Comput.*, vol. 24, no. 5, pp. 3237–3255, Mar. 2020, doi: 10.1007/s00500-019-04084-2.
- [134] M. Gul, M. F. Ak, and A. F. Guneri, “Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry,” *J. Safety Res.*, vol. 69, pp. 135–153, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jsr.2019.03.005.
- [135] B. Özkan, İ. Kaya, M. Erdoğan, and A. Karaşan, *Evaluating blockchain risks by using a MCDM methodology based on pythagorean fuzzy sets*, vol. 1029. Springer International Publishing, 2020.
- [136] A. Karasan, İ. Kaya, M. Erdoğan, and A. Budak, “Risk analysis of the autonomous vehicle driving systems by using pythagorean fuzzy AHP,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Jul. 2020, vol. 1029, pp. 926–934, doi: 10.1007/978-3-030-23756-1_110.
- [137] A. Yildiz, E. Ayyildiz, A. T. Gumus, and C. Ozkan, “A Modified Balanced Scorecard Based Hybrid Pythagorean Fuzzy AHP-Topsis Methodology for ATM Site Selection Problem,” *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, vol. 19, no. 02, pp. 365–384, 2020, doi: 10.1142/S0219622020500017.
- [138] E. Ayyildiz, A. Taskin Gumus, and M. Erkan, “Individual credit ranking by an integrated interval type-2 trapezoidal fuzzy Electre methodology,” *Soft Comput.*, vol. 24, no. 21, pp. 16149–16163, Nov. 2020, doi: 10.1007/s00500-020-04929-1.

- [139] N. Yılmaz *et al.*, “İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için bulanık çok kriterli bir model ve uygulaması,” *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 32, pp. 77–87, 2017, doi: 10.17341/gazimmfd.300597.
- [140] T. L. Saaty, “A scaling method for priorities in hierarchical structures,” *J. Math. Psychol.*, vol. 15, no. 3, pp. 234–281, Jun. 1977, doi: 10.1016/0022-2496(77)90033-5.
- [141] X. F. Wu and G. Q. Chen, “Global overview of crude oil use: From source to sink through inter-regional trade,” *Energy Policy*, vol. 128, pp. 476–486, May 2019, doi: 10.1016/j.enpol.2019.01.022.
- [142] M. Neuman, R. R. Tissot, and D. Mabrey, “Are Ugandan’s firms ready to take advantage of the country’s new opportunities in the oil industry?,” *Extr. Ind. Soc.*, vol. 6, no. 2, pp. 293–312, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.exis.2018.10.007.
- [143] G. Tuzkaya, S. Önüt, U. R. Tuzkaya, and B. Gülsün, “An analytic network process approach for locating undesirable facilities: An example from Istanbul, Turkey,” *J. Environ. Manage.*, vol. 88, no. 4, pp. 970–983, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.jenvman.2007.05.004.
- [144] J. H. Gwak, B. K. Lee, W. K. Lee, and S. Y. Sohn, “Optimal location selection for the installation of urban green roofs considering honeybee habitats along with socio-economic and environmental effects,” *J. Environ. Manage.*, vol. 189, pp. 125–133, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.jenvman.2016.12.022.
- [145] Y. Man, Y. Han, Y. Liu, R. Lin, and J. Ren, “Multi-criteria decision making for sustainability assessment of boxboard production: A life cycle perspective considering water consumption, energy consumption, GHG emissions, and internal costs,” *J. Environ. Manage.*, vol. 255, p. 109860, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109860.
- [146] M. Eskandari, M. Homaei, S. Mahmoodi, E. Pazira, and M. T. Van Genuchten, “Optimizing landfill site selection by using land classification maps,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 22, no. 10, pp. 7754–7765, May 2015, doi: 10.1007/s11356-015-4182-7.
- [147] M. Eskandari, M. Homaei, and A. Falamaki, “Landfill site selection for municipal solid wastes in mountainous areas with landslide susceptibility,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 23, no. 12, pp. 12423–12434, Jun. 2016, doi: 10.1007/s11356-016-6459-x.
- [148] A. Chabuk *et al.*, “Landfill sites selection using MCDM and comparing method of change detection for Babylon Governorate, Iraq,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 35, pp. 35325–35339, Dec. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-05064-7.
- [149] P. K. Dey and E. K. Ramcharan, “Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados,” *J. Environ. Manage.*, vol. 88, no. 4, pp. 1384–1395, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.jenvman.2007.07.011.
- [150] M. H. Vahidnia, A. A. Alesheikh, and A. Alimohammadi, “Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives,” *J. Environ. Manage.*, vol. 90, no. 10, pp. 3048–3056, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.jenvman.2009.04.010.

- [151] P. Aragonés-Beltrán, J. P. Pastor-Ferrando, F. García-García, and A. Pascual-Agulló, "An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain)," *J. Environ. Manage.*, vol. 91, no. 5, pp. 1071–1086, May 2010, doi: 10.1016/j.jenvman.2009.12.007.
- [152] Y. A. Solangi, S. A. A. Shah, H. Zameer, M. Ikram, and B. O. Saracoglu, "Assessing the solar PV power project site selection in Pakistan: based on AHP-fuzzy VIKOR approach," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 29, pp. 30286–30302, Oct. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-06172-0.
- [153] A. Koc, S. Turk, and G. Şahin, "Multi-criteria of wind-solar site selection problem using a GIS-AHP-based approach with an application in Igdir Province/Turkey," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 31, pp. 32298–32310, Nov. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-06260-1.
- [154] M. Soroudi, G. Omrani, F. Moataar, and S. A. Jozi, "A comprehensive multi-criteria decision making-based land capability assessment for municipal solid waste landfill sitting," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, no. 28, pp. 27877–27889, Oct. 2018, doi: 10.1007/s11356-018-2765-9.
- [155] Y. W. Wang and C. R. Wang, "Locating passenger vehicle refueling stations," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 46, no. 5, pp. 791–801, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.tre.2009.12.001.
- [156] M. R. Galankashi, E. Fallahiarezoudar, A. Moazzami, S. A. Helmi, J. M. Rohani, and N. M. Yusof, "An efficient integrated simulation–Taguchi approach for sales rate evaluation of a petrol station," *Neural Comput. Appl.*, vol. 29, no. 4, pp. 1073–1085, Feb. 2018, doi: 10.1007/s00521-016-2491-5.
- [157] M. S. Daskin, L. V. Snyder, and R. T. Berger, "Facility location in supply chain design," in *Logistics Systems: Design and Optimization*, Springer US, 2005, pp. 39–65.
- [158] A. Klose and A. Drexl, "Facility location models for distribution system design," in *European Journal of Operational Research*, Apr. 2005, vol. 162, no. 1, pp. 4–29, doi: 10.1016/j.ejor.2003.10.031.
- [159] G. Ozcelik, E. K. Aydogan, and C. Gencer, "A Hybrid Moora-Fuzzy Algorithm For Special Education and Rehabilitation Center Selection," *J. Manag. Inf. Sci.*, vol. 2, no. 3, 2014.
- [160] C. Upchurch, M. Kuby, and S. Lim, "A Model for Location of Capacitated Alternative-Fuel Stations," *Geogr. Anal.*, vol. 41, no. 1, pp. 85–106, Jan. 2009, doi: 10.1111/j.1538-4632.2009.00744.x.
- [161] S. Lim and M. Kuby, "Heuristic algorithms for siting alternative-fuel stations using the Flow-Refueling Location Model," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 204, no. 1, pp. 51–61, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.ejor.2009.09.032.
- [162] S. A. MirHassani and R. Ebrazi, "A flexible reformulation of the refueling station location problem," *Transp. Sci.*, vol. 47, no. 4, pp. 617–628, Sep. 2013, doi: 10.1287/trsc.1120.0430.
- [163] A. Montoya, C. Guéret, J. E. Mendoza, and J. G. Villegas, "A multi-space sampling

- heuristic for the green vehicle routing problem," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 70, pp. 113–128, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.trc.2015.09.009.
- [164] S. H. Khahro and Z. A. Memon, "Cite this Article: Shabir Hussain Khahro and Zubair Ahmed Memon, Gis Based Land Suitability Analysis for Petrol Stations," *Artic. Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 10, 2017, Accessed: Apr. 20, 2020. [Online]. Available: <http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp1http://http://www.iaeme.com/ijci-et/issues.asp?JType=IJCIET&VType=8&IType=10>.
- [165] F. K. Gündoğdu and C. Kahraman, "Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 36, no. 1, pp. 337–352, Jan. 2019, doi: 10.3233/JIFS-181401.
- [166] A. C. Kutlu and M. Ekmekçioğlu, "Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP," *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 1, pp. 61–67, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.eswa.2011.06.044.
- [167] A. T. Gumus, "Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2 PART 2, pp. 4067–4074, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.eswa.2008.03.013.
- [168] Z. Turskis, E. K. Zavadskas, J. Antucheviciene, and N. Kosareva, "A hybrid model based on fuzzy AHP and fuzzy WASPAS for construction site selection," *Int. J. Comput. Commun. Control*, vol. 10, no. 6, pp. 873–888, Oct. 2015, doi: 10.15837/ijccc.2015.6.2078.
- [169] D. Panchal, P. Chatterjee, R. K. Shukla, T. Choudhury, and J. Tamosaitiene, "Integrated fuzzy AHP-CODAS framework for maintenance decision in urea fertilizer industry," *Econ. Comput. Econ. Cybern. Stud. Res.*, vol. 51, no. 3, pp. 179–196, 2017.
- [170] S. Cevik Onar, B. Oztaysi, and C. Kahraman, "Strategic Decision Selection Using Hesitant fuzzy TOPSIS and Interval Type-2 Fuzzy AHP: A case study," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 7, no. 5, pp. 1002–1021, Sep. 2014, doi: 10.1080/18756891.2014.964011.
- [171] M. Gul, E. Celik, A. T. Gumus, and A. F. Guneri, "Emergency department performance evaluation by an integrated simulation and interval type-2 fuzzy MCDM-based scenario analysis," *Eur. J. Ind. Eng.*, vol. 10, no. 2, pp. 196–223, 2016, doi: 10.1504/EJIE.2016.075846.
- [172] E. Celik and A. Taskin Gumus, "An outranking approach based on interval type-2 fuzzy sets to evaluate preparedness and response ability of non-governmental humanitarian relief organizations," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 101, pp. 21–34, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.08.020.
- [173] M. K. Yilmaz, A. O. Kusakci, E. Tatoglu, O. Icten, and F. Yetgin, "Performance Evaluation of Real Estate Investment Trusts using a Hybridized Interval Type-2 Fuzzy AHP-DEA Approach: The Case of Borsa Istanbul," *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, vol. 18, no. 6, pp. 1785–1820, Nov. 2019, doi: 10.1142/S0219622019500354.
- [174] İ. Otay, B. Oztaysi, S. Cevik Onar, and C. Kahraman, "Multi-expert performance

- evaluation of healthcare institutions using an integrated intuitionistic fuzzy AHP&DEA methodology," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 133, pp. 90–106, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.knosys.2017.06.028.
- [175] G. Büyüközkan and S. Güleriyüz, "A new integrated intuitionistic fuzzy group decision making approach for product development partner selection," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 102, pp. 383–395, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.05.038.
- [176] P. Liu and X. Zhang, "Approach to Multi-Attributes Decision Making with Intuitionistic Linguistic Information Based on Dempster-Shafer Evidence Theory," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 52969–52981, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2869844.
- [177] G. Büyüközkan and F. Göçer, "An extension of ARAS methodology under Interval Valued Intuitionistic Fuzzy environment for Digital Supply Chain," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 69, pp. 634–654, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.asoc.2018.04.040.
- [178] Y. Wu, L. Liu, J. Gao, H. Chu, and C. Xu, "An Extended VIKOR-Based Approach for Pumped Hydro Energy Storage Plant Site Selection with Heterogeneous Information," *Information*, vol. 8, no. 3, p. 106, Aug. 2017, doi: 10.3390/info8030106.
- [179] K. Razieh and M. Ahmad, "An IF-DEMATEL-AHP based on Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers (TIFNs)," *Decis. Sci. Lett.*, vol. 4, no. 2, pp. 237–246, 2015, doi: 10.5267/j.dsl.2014.11.002.
- [180] C. Acar, A. Beskese, and G. T. Temur, "A novel multicriteria sustainability investigation of energy storage systems," *Int. J. Energy Res.*, vol. 43, no. 12, pp. 6419–6441, Oct. 2019, doi: 10.1002/er.4459.
- [181] M. Çolak, I. Kaya, B. Özkan, A. Budak, and A. Karaşan, "A multi-criteria evaluation model based on hesitant fuzzy sets for blockchain technology in supply chain management," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 38, no. 1, pp. 935–946, Jan. 2020, doi: 10.3233/JIFS-179460.
- [182] D. Yildiz, G. T. Temur, A. Beskese, and F. T. Bozbura, "Evaluation of positive employee experience using hesitant fuzzy analytic hierarchy process," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 38, no. 1, pp. 1043–1058, Jan. 2020, doi: 10.3233/JIFS-179467.
- [183] F. Samanlıoğlu and Z. Ayağ, "An intelligent approach for the evaluation of innovation projects," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 38, no. 1, pp. 905–915, Jan. 2020, doi: 10.3233/JIFS-179458.
- [184] A. Sarucan and A. Söğüt, "An integrated hesitant fuzzy approach to a job evaluation and application in a food company," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Jul. 2020, vol. 1029, pp. 1050–1058, doi: 10.1007/978-3-030-23756-1_124.
- [185] M. Gul, "Application of Pythagorean fuzzy AHP and VIKOR methods in occupational health and safety risk assessment: the case of a gun and rifle barrel external surface oxidation and colouring unit," *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*,

- pp. 1–14, Jul. 2018, doi: 10.1080/10803548.2018.1492251.
- [186] P. Song, L. Li, D. Huang, Q. Wei, and X. Chen, “Loan risk assessment based on Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1437, p. 012101, Jan. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1437/1/012101.
 - [187] C. Kahraman, İ. Otay, B. Öztayşi, and S. Ç. Onar, “An integrated AHP & DEA methodology with neutrosophic sets,” in *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, vol. 369, Springer Verlag, 2019, pp. 623–645.
 - [188] N. A. Nabeeh, F. Smarandache, M. Abdel-Basset, H. A. El-Ghareeb, and A. Aboelfetouh, “An Integrated Neutrosophic-TOPSIS Approach and Its Application to Personnel Selection: A New Trend in Brain Processing and Analysis,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 29734–29744, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2899841.
 - [189] M. Junaid, Y. Xue, M. W. Syed, J. Z. Li, and M. Ziaullah, “A neutrosophic ahp and topsis framework for supply chain risk assessment in automotive industry of Pakistan,” *Sustain.*, vol. 12, no. 1, p. 154, Jan. 2020, doi: 10.3390/SU12010154.
 - [190] E. K. Zavadskas, Z. Turskis, J. Antucheviciene, and A. Zakarevicius, “Optimization of weighted aggregated sum product assessment,” *Elektron. ir Elektrotechnika*, vol. 122, no. 6, pp. 3–6, Jun. 2012, doi: 10.5755/j01.eee.122.6.1810.
 - [191] F. Kutlu Gündoğdu and C. Kahraman, “A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application,” *Soft Comput.*, vol. 24, no. 6, pp. 4607–4621, Mar. 2020, doi: 10.1007/s00500-019-04222-w.
 - [192] E. Erkut and A. Ingolfsson, “Catastrophe avoidance models for hazardous materials route planning,” *Transp. Sci.*, vol. 34, no. 2, pp. 165–179, May 2000, doi: 10.1287/trsc.34.2.165.12303.
 - [193] B. Y. Kara and V. Verter, “Designing a road network for hazardous materials transportation,” *Transp. Sci.*, vol. 38, no. 2, pp. 188–196, 2004, doi: 10.1287/trsc.1030.0065.
 - [194] E. Erkut and F. Gzara, “Solving the hazmat transport network design problem,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 35, no. 7, pp. 2234–2247, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.cor.2006.10.022.
 - [195] K. G. Zografos and K. N. Androutsopoulos, “A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 16, no. 6, pp. 684–703, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.trc.2008.01.004.
 - [196] R. M. Darbra, A. Palacios, and J. Casal, “Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 183, no. 1–3, pp. 565–573, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.07.061.
 - [197] P. Leonelli, S. Bonvicini, and G. Spadoni, “Hazardous materials transportation: A risk-analysis-based routing methodology,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 71, no. 1–3, pp. 283–300, Jan. 2000, doi: 10.1016/S0304-3894(99)00084-9.
 - [198] F. Samanlioglu, “A multi-objective mathematical model for the industrial

- hazardous waste location-routing problem," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 226, no. 2, pp. 332–340, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.ejor.2012.11.019.
- [199] M. R. Saat, C. J. Werth, D. Schaeffer, H. Yoon, and C. P. L. Barkan, "Environmental risk analysis of hazardous material rail transportation," *J. Hazard. Mater.*, vol. 264, pp. 560–569, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.jhazmat.2013.10.051.
- [200] S. Bonvicini, G. Antonioni, P. Morra, and V. Cozzani, "Quantitative assessment of environmental risk due to accidental spills from onshore pipelines," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 93, pp. 31–49, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.psep.2014.04.007.
- [201] C. Lam and W. Zhou, "Statistical analyses of incidents on onshore gas transmission pipelines based on PHMSA database," *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 145, pp. 29–40, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.ijpvp.2016.06.003.
- [202] E. Zarei, A. Azadeh, N. Khakzad, M. M. Aliabadi, and I. Mohammadfam, "Dynamic safety assessment of natural gas stations using Bayesian network," *J. Hazard. Mater.*, vol. 321, pp. 830–840, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.09.074.
- [203] C. Ma, "Network optimisation design of Hazmat based on multi-objective genetic algorithm under the uncertain environment," *Int. J. Bio-Inspired Comput.*, vol. 12, no. 4, pp. 236–244, 2018, doi: 10.1504/IJBIC.2018.096482.
- [204] Q. Yang, K. S. Chin, and Y. L. Li, "A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 52, pp. 81–92, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.jlp.2018.02.001.
- [205] H. Hu, J. Li, and X. Li, "A credibilistic goal programming model for inventory routing problem with hazardous materials," *Soft Comput.*, vol. 22, no. 17, pp. 5803–5816, Sep. 2018, doi: 10.1007/s00500-017-2663-y.
- [206] H. Hu, X. Li, Y. Zhang, C. Shang, and S. Zhang, "Multi-objective location-routing model for hazardous material logistics with traffic restriction constraint in inter-city roads," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 128, pp. 861–876, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.cie.2018.10.044.
- [207] A. Ghaderi and R. L. Burdett, "An integrated location and routing approach for transporting hazardous materials in a bi-modal transportation network," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 127, pp. 49–65, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.tre.2019.04.011.
- [208] Y. L. Li, Q. Yang, and K. S. Chin, "A decision support model for risk management of hazardous materials road transportation based on quality function deployment," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 74, pp. 154–173, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.trd.2019.07.026.
- [209] S. W. Chiou, "A resilience-based signal control for a time-dependent road network with hazmat transportation," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 193, p. 106570, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.ress.2019.106570.

- [210] H. Hu, J. Li, X. Li, and C. Shang, "Modeling and Solving a Multi-Period Inventory Fulfilling and Routing Problem for Hazardous Materials," *J. Syst. Sci. Complex.*, pp. 1–23, Jan. 2020, doi: 10.1007/s11424-019-8176-2.
- [211] Y. Xing, S. Chen, S. Zhu, Y. Zhang, and J. Lu, "Exploring risk factors contributing to the severity of hazardous material transportation accidents in China," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 4, Feb. 2020, doi: 10.3390/ijerph17041344.
- [212] F. Ovidi, V. van der Vlies, S. Kuipers, and G. Landucci, "HazMat transportation safety assessment: Analysis of a 'Viareggio-like' incident in the Netherlands," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 63, p. 103985, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.jlp.2019.103985.
- [213] Z. S. Chen, M. Li, W. T. Kong, and K. S. Chin, "Evaluation and selection of hazmat transportation alternatives: A PHFLTS-and TOPSIS-integrated multi-perspective approach," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 21, Nov. 2019, doi: 10.3390/ijerph16214116.
- [214] S. Ghaleh, M. Omidvari, P. Nassiri, M. Momeni, and S. Mohammadreza Miri Lavasani, "Pattern of safety risk assessment in road fleet transportation of hazardous materials (oil materials)," *Saf. Sci.*, vol. 116, pp. 1–12, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.ssci.2019.02.039.
- [215] X. Huang, X. Wang, J. Pei, M. Xu, X. Huang, and Y. Luo, "Risk assessment of the areas along the highway due to hazardous material transportation accidents," *Nat. Hazards*, vol. 93, no. 3, pp. 1181–1202, Sep. 2018, doi: 10.1007/s11069-018-3346-4.
- [216] A. Hartman, "Reaching Consensus Using the Delphi Technique.," *Educ. Leadersh.*, vol. 38, no. 6, pp. 495–97, Mar. 1981.
- [217] S. Njuangang, C. Liyanage, and A. Akintoye, "Application of the Delphi technique in healthcare maintenance," *Int. J. Health Care Qual. Assur.*, vol. 30, no. 8, pp. 737–754, 2017, doi: 10.1108/IJHCQA-02-2017-0042.
- [218] C. W. Chang, C. R. Wu, and H. C. Chen, "Using expert technology to select unstable slicing machine to control wafer slicing quality via fuzzy AHP," *Expert Syst. Appl.*, vol. 34, no. 3, pp. 2210–2220, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.eswa.2007.02.042.
- [219] P. F. Hsu, C. R. Wu, and Y. T. Li, "Selection of infectious medical waste disposal firms by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis," *Waste Manag.*, vol. 28, no. 8, pp. 1386–1394, 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2007.05.016.
- [220] J. Xi, Z. Zhao, W. Li, and Q. Wang, "A Traffic Accident Causation Analysis Method Based on AHP-Apriori," in *Procedia Engineering*, 2016, vol. 137, pp. 680–687, doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.305.
- [221] C. Cheng, Y. Chen, and T. Li, "An AHP method for road traffic safety," in *Proceedings - 4th International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, CSO 2011*, Apr. 2011, pp. 305–308, doi: 10.1109/CSO.2011.65.

- [222] J. Wang and F. Chen, "Risk Evaluation of Expressway Traffic Safety under 'Prior Restraint' Idea," in *CICTP 2012*, Jul. 2012, pp. 2169–2180, doi: 10.1061/9780784412442.220.
- [223] X. Deng, D. Zeng, and H. Shen, "Causation analysis model: Based on AHP and hybrid Apriori-Genetic algorithm," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 35, no. 1, pp. 767–778, 2018, doi: 10.3233/JIFS-171250.
- [224] V. Podvezko and H. Sivilevičius, "The use of AHP and rank correlation methods for determining the significance of the interaction between the elements of a transport system having a strong influence on traffic safety," *Transport*, vol. 28, no. 4, pp. 389–403, Dec. 2013, doi: 10.3846/16484142.2013.866980.
- [225] F. E. Santarremigia, G. D. Molero, S. Poveda-Reyes, and J. Aguilar-Herrando, "Railway safety by designing the layout of inland terminals with dangerous goods connected with the rail transport system," *Saf. Sci.*, vol. 110, pp. 206–216, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2018.03.001.
- [226] U. L. Dano, "Improving Traffic Safety Towards Sustainable Built Environment in Dammam City, Saudi Arabia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 151, p. 012031, May 2018, doi: 10.1088/1755-1315/151/1/012031.
- [227] H. Shi, "Fuzzy evaluation approach of road traffic safety based on AHP," in *FBIE 2009 - 2009 International Conference on Future BioMedical Information Engineering*, 2009, pp. 394–397, doi: 10.1109/FBIE.2009.5405832.
- [228] W. P. Nel and C. J. Cooper, "A critical review of IEA's oil demand forecast for China," *Energy Policy*, vol. 36, no. 3, pp. 1096–1106, 2008, doi: 10.1016/j.enpol.2007.11.025.
- [229] A. Azadeh, M. Moghaddam, M. Khakzad, and V. Ebrahimipour, "A flexible neural network-fuzzy mathematical programming algorithm for improvement of oil price estimation and forecasting," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 62, no. 2, pp. 421–430, 2012, doi: 10.1016/j.cie.2011.06.019.
- [230] P. K. Narayan and P. Wong, "A panel data analysis of the determinants of oil consumption: The case of Australia," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 12, pp. 2771–2775, 2009, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.04.035.
- [231] Y. Yang, Y. Chen, J. Shi, M. Liu, C. Li, and L. Li, "An improved grey neural network forecasting method based on genetic algorithm for oil consumption of China," *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 8, no. 2, 2016, doi: 10.1063/1.4944977.
- [232] J. Li, R. Wang, J. Wang, and Y. Li, "Analysis and forecasting of the oil consumption in China based on combination models optimized by artificial intelligence algorithms," *Energy*, vol. 144, pp. 243–264, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2017.12.042.
- [233] E. Assareh, M. A. Behrang, M. R. Assari, and A. Ghanbarzadeh, "Application of PSO (particle swarm optimization) and GA (genetic algorithm) techniques on demand estimation of oil in Iran," *Energy*, vol. 35, no. 12, pp. 5223–5229, 2010, doi: 10.1016/j.energy.2010.07.043.

- [234] B. Lin and C. Xie, "Estimation on oil demand and oil saving potential of China's road transport sector," *Energy Policy*, vol. 61, pp. 472–482, 2013, doi: 10.1016/j.enpol.2013.06.017.
- [235] R. D. Rao and J. K. Parikh, "Forecast and analysis of demand for petroleum products in India," *Energy Policy*, vol. 24, no. 6, pp. 583–592, 1996, doi: 10.1016/0301-4215(96)00019-5.
- [236] H. Duan, G. R. Lei, and K. Shao, "Forecasting crude oil consumption in China using a grey prediction model with an optimal fractional-order accumulating operator," *Complexity*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/3869619.
- [237] M. A. Behrang, E. Assareh, M. Ghalambaz, M. R. Assari, and A. R. Noghabadi, "Forecasting future oil demand in Iran using GSA (Gravitational Search Algorithm)," *Energy*, vol. 36, no. 9, pp. 5649–5654, 2011, doi: 10.1016/j.energy.2011.07.002.
- [238] M. P. Minniear, "Forecasting the permanent decline in global petroleum production," *J. Geosci. Educ.*, vol. 48, no. 2, pp. 130–136, 2000, doi: 10.5408/1089-9995-48.2.130.
- [239] M. A. A. Al-Qaness, M. A. Elaziz, and A. A. Ewees, "Oil Consumption Forecasting Using Optimized Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based on Sine Cosine Algorithm," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 68394–68402, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2879965.
- [240] T. Fatima, E. Xia, and M. Ahad, "Oil demand forecasting for China: a fresh evidence from structural time series analysis," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 21, no. 3, pp. 1205–1224, 2019, doi: 10.1007/s10668-018-0081-7.
- [241] L. Yu, Y. Zhao, L. Tang, and Z. Yang, "Online big data-driven oil consumption forecasting with Google trends," *Int. J. Forecast.*, vol. 35, no. 1, pp. 213–223, 2019, doi: 10.1016/j.ijforecast.2017.11.005.
- [242] M. Keshavarzian, S. Kamali Anaraki, M. Zamani, and A. Erfanifard, "Projections of oil demand in road transportation sector on the basis of vehicle ownership projections, worldwide: 1972-2020," *Econ. Model.*, vol. 29, no. 5, pp. 1979–1985, 2012, doi: 10.1016/j.econmod.2012.06.009.
- [243] N. C. Jacobson, S. M. Chow, and M. G. Newman, "The Differential Time-Varying Effect Model (DTVEM): A tool for diagnosing and modeling time lags in intensive longitudinal data," *Behav. Res. Methods*, vol. 51, no. 1, pp. 295–315, Feb. 2019, doi: 10.3758/s13428-018-1101-0.
- [244] C. S. Chapman, J. P. Gallivan, D. K. Wood, J. L. Milne, J. C. Culham, and M. A. Goodale, "Reaching for the unknown: Multiple target encoding and real-time decision-making in a rapid reach task," *Cognition*, vol. 116, no. 2, pp. 168–176, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.cognition.2010.04.008.
- [245] Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources, "EIGM Reports," 2020. <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> (accessed Oct. 18, 2020).
- [246] F. Wang, X. Liu, C. Liu, H. Li, and Q. Han, "Remaining Useful Life Prediction Method of Rolling Bearings Based on Pchip-EEMD-GM(1, 1) Model," *Shock*

Vib., vol. 2018, p. 3013684, 2018, doi: 10.1155/2018/3013684.

- [247] D. Kwiatkowski, P. C. B. Phillips, P. Schmidt, and Y. Shin, "Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root?," *J. Econom.*, vol. 54, no. 1–3, pp. 159–178, Oct. 1992, doi: 10.1016/0304-4076(92)90104-Y.
- [248] E. Keogh, S. Chu, D. Hart, and M. Pazzani, "SEGMENTING TIME SERIES: A SURVEY AND NOVEL APPROACH," 2004, pp. 1–21.
- [249] J. O. Ogutu, T. Schulz-Streeck, and H. P. Piepho, "Genomic selection using regularized linear regression models: Ridge regression, lasso, elastic net and their extensions," *BMC Proc.*, vol. 6, no. SUPPL. 2, p. S10, 2012, doi: 10.1186/1753-6561-6-S2-S10.
- [250] S. Çınaroğlu, "Sağlık Harcamasının Tahmininde Makine Öğrenmesi Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması," *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, vol. 22, no. 2, pp. 179–200, Sep. 2017, doi: 10.17482/uumfd.338805.
- [251] A. L. Teixeira, J. P. Leal, and A. O. Falcao, "Random forests for feature selection in QSPR models - An application for predicting standard enthalpy of formation of hydrocarbons," *J. Cheminform.*, vol. 5, no. 2, p. 9, Feb. 2013, doi: 10.1186/1758-2946-5-9.
- [252] N. Omranian, J. M. O. Eloundou-Mbebi, B. Mueller-Roeber, and Z. Nikoloski, "Gene regulatory network inference using fused LASSO on multiple data sets," *Sci. Rep.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–14, Feb. 2016, doi: 10.1038/srep20533.
- [253] R. Tibshirani, "Regression Shrinkage and Selection Via the Lasso," *J. R. Stat. Soc. Ser. B*, vol. 58, no. 1, pp. 267–288, Jan. 1996, doi: 10.1111/j.2517-6161.1996.tb02080.x.
- [254] T. Hastie, R. Tibshirani, and M. Wainwright, *Statistical Learning with Sparsity: the Lasso and Generalizations*. Boca Raton, FL: USA: CRC Press, 2015.
- [255] M. Mukaka, "A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research," *Malawi Med. J.*, vol. 24, no. 3, pp. 69–71, 2012, doi: 10.4314/mmj.v24i3.
- [256] E. Erkut and A. Ingolfsson, "Transport risk models for hazardous materials: Revisited," *Oper. Res. Lett.*, vol. 33, no. 1, pp. 81–89, Jan. 2005, doi: 10.1016/j.orl.2004.02.006.
- [257] T. S. Chang, L. K. Nozick, and M. A. Turnquist, "Multiobjective path finding in stochastic dynamic networks, with application to routing hazardous materials shipments," *Transp. Sci.*, vol. 39, no. 3, pp. 383–399, 2005, doi: 10.1287/trsc.1040.0094.
- [258] B. Zheng, "Multi-Objective Vehicle Routing Problem in Hazardous Material Transportation," in *ICLEM 2010*, Sep. 2010, vol. 387, pp. 3136–3142, doi: 10.1061/41139(387)438.
- [259] J. Tang, Y. Ma, J. Guan, and C. Yan, "A Max-Min Ant System for the split delivery weighted vehicle routing problem," *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 18, pp. 7468–7477, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.eswa.2013.06.068.

- [260] J. M. V. Cantú, A. B. Solano, E. A. L. Leyva, and M. L. Acosta, "Optimization of territories and transport routes for hazardous materials in a distribution network," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 10, no. 4 Special Issue, pp. 604–622, Oct. 2017, doi: 10.3926/jiem.2107.
- [261] M. Zhang, N. Wang, Z. He, Z. Yang, and Y. Guan, "Bi-Objective Vehicle Routing for Hazardous Materials Transportation with Actual Load Dependent Risks and Considering the Risk of Each Vehicle," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 66, no. 3, pp. 429–442, Aug. 2019, doi: 10.1109/TEM.2018.2832049.
- [262] N. Wichapa and P. Khokhajaikiat, "Solving a multi-objective location routing problem for infectious waste disposal using hybrid goal programming and hybrid genetic algorithm," *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 9, pp. 75–98, 2018, doi: 10.5267/j.ijiec.2017.4.003.
- [263] F. Cornillier, F. F. Boctor, G. Laporte, and J. Renaud, "An exact algorithm for the petrol station replenishment problem," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 59, no. 5, pp. 607–615, May 2008, doi: 10.1057/palgrave.jors.2602374.
- [264] F. Cornillier, F. F. Boctor, G. Laporte, and J. Renaud, "A heuristic for the multi-period petrol station replenishment problem," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 191, no. 2, pp. 295–305, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.ejor.2007.08.016.
- [265] W. L. Ng, S. C. H. Leung, J. K. P. Lam, and S. W. Pan, "Petrol delivery tanker assignment and routing: A case study in Hong Kong," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 59, no. 9, pp. 1191–1200, Jul. 2008, doi: 10.1057/palgrave.jors.2602464.
- [266] F. Cornillier, G. Laporte, F. F. Boctor, and J. Renaud, "The petrol station replenishment problem with time windows," *Comput. Oper. Res.*, vol. 36, no. 3, pp. 919–935, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.cor.2007.11.007.
- [267] I. Surjandari, A. Rachman, F. Dianawati, and R. P. Wibowo, "Oil fuel delivery optimization for multi product and multi depot: the case of petrol station replenishment problem (PSRP)," in *International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2011)*, Oct. 2011, vol. 8285, p. 82853Q, doi: 10.1117/12.914444.
- [268] F. F. Boctor, J. Renaud, and F. Cornillier, "Trip packing in petrol stations replenishment," *Omega*, vol. 39, no. 1, pp. 86–98, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.omega.2010.03.003.
- [269] F. Cornillier, F. Boctor, and J. Renaud, "Heuristics for the multi-depot petrol station replenishment problem with time windows," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 220, no. 2, pp. 361–369, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.ejor.2012.02.007.
- [270] C. Triki, "Solution methods for the periodic petrol station replenishment problem," *J. Eng. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 69–77, Dec. 2013, doi: 10.24200/tjer.vol10iss2pp69-77.
- [271] P. Carotenuto, S. Giordani, S. Massari, and F. Vagaggini, "Periodic capacitated vehicle routing for retail distribution of fuel oils," in *Transportation Research Procedia*, Jan. 2015, vol. 10, pp. 735–744, doi: 10.1016/j.trpro.2015.09.027.
- [272] A. Benantar, R. Ouafi, and J. Boukachour, "A petrol station replenishment

- problem: new variant and formulation,” *Logist. Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–18, Dec. 2016, doi: 10.1007/s12159-016-0133-z.
- [273] P. Carotenuto, S. Giordani, S. Massari, and F. Vagaggini, “A multi-depot periodic vehicle routing model for petrol station replenishment,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 572, Springer Verlag, 2018, pp. 421–437.
 - [274] P. Carotenuto, S. Giordani, and D. Celani, “Planning Retail Distribution of Fuel Oils,” in *Transportation Research Procedia*, Jan. 2017, vol. 27, pp. 484–491, doi: 10.1016/j.trpro.2017.12.017.
 - [275] N. Al-Hinai and C. Triki, “A two-level evolutionary algorithm for solving the petrol station replenishment problem with periodicity constraints and service choice,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 286, no. 1–2, pp. 325–350, Mar. 2020, doi: 10.1007/s10479-018-3117-3.
 - [276] H. Yahyaoui, I. Kaabachi, S. Krichen, and A. Dekdouk, “Two metaheuristic approaches for solving the multi-compartment vehicle routing problem,” *Oper. Res.*, pp. 1–24, Jun. 2018, doi: 10.1007/s12351-018-0403-4.
 - [277] V. A. Gromov, K. A. Kuznietzov, and T. Pigden, “Decision support system for light petroleum products supply chain,” *Oper. Res.*, vol. 19, no. 1, pp. 219–236, Mar. 2019, doi: 10.1007/s12351-016-0290-5.
 - [278] A. Benantar, R. Ouafi, and J. Boukachour, “An improved tabu search algorithm for the petrol-station replenishment problem with adjustable demands,” *INFOR Inf. Syst. Oper. Res.*, vol. 58, no. 1, pp. 17–37, Jan. 2020, doi: 10.1080/03155986.2019.1607806.
 - [279] L. Wang, J. Kinable, and T. van Woensel, “The fuel replenishment problem: A split-delivery multi-compartment vehicle routing problem with multiple trips,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 118, p. 104904, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.cor.2020.104904.
 - [280] X. Pan, F. Teng, and G. Wang, “Sharing emission space at an equitable basis: Allocation scheme based on the equal cumulative emission per capita principle,” *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 1810–1818, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.07.021.
 - [281] “Yandex — Veriler ve Raporlar — Yandex İstanbul için 3 Yıllık Trafik Analizi.” https://yandex.com.tr/company/press_center/infographics/istanbul_traffic (accessed Jul. 16, 2020).

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: ertugrulayyildiz1@gmail.com

Makaleler

1. Ayyildiz, E., & Taskin Gumus, A. (2020). A novel spherical fuzzy AHP-integrated spherical WASPAS methodology for petrol station location selection problem: a real case study for İstanbul. Environmental Science and Pollution Research, 27(29), 36109-36120.
2. Ayyildiz, E., & Taskin Gumus, A. (2021). Interval-valued Pythagorean fuzzy AHP method-based supply chain performance evaluation by a new extension of SCOR model: SCOR 4.0. Complex & Intelligent Systems, 7, 559-576.
3. Ayyildiz, E., Taskin Gumus, A. (2021) Pythagorean fuzzy AHP based risk assessment methodology for hazardous material transportation: an application in İstanbul. Environmental Science and Pollution Research, online published.

Konferans Bildirileri

1. Ayyildiz, E., Yildiz, A., Gumus, A. T., & Ozkan, C (2020). Deniz Kirliliği Riskini Gözetken Zamana Bağlı Petrol İstasyonu İkmal Problemi, 3. Uluslararası Su ve Sağlık Kongresi. pp. 507-512