

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR AKILLI TERSANE SAHASINDA MALZEME
TAŞIMA ARAÇLARI İÇİN BULANIK-TOPSIS
YÖNTEMİYLE ROTA ENİYİLEMESİ**

Oğuzcan EROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sinan YARDIM

Temmuz, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR AKILLI TERSANE SAHASINDA MALZEME TAŞIMA
ARAÇLARI İÇİN BULANIK-TOPSSIS YÖNTEMİYLE ROTA
ENİYİLEMESİ

Oğuzcan EROĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 31.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı, Akıllı Ulaşım Sistemleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sinan
YARDIM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sinan YARDIM, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Selim DÜNDAR, Üye
İstanbul Okan Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Mustafa Sinan YARDIM sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Bir Akıllı Tersane Sahasında Malzeme Taşıma Araçları İçin Bulanık-TOPSIS Yöntemiyle Rota Eniyilemesi” 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.

Oğuzcan EROĞLU

İmza

X X X X



Aileme
ve
eşime

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanması sürecinde manevi ve akademik olarak yanımda olan tüm kişi ve kurumlara gönülden teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca her zaman yanımda olan, sabrıyla, sevgisiyle ve desteğiyle bu zorlu yolculuğu benim için kolaylaştıran sevgili eşim Ceren'e en derin şükranlarımı sunarım. Varlığıyla bana güç vermiş, motivasyonumun en önemli kaynağı olmuştur.

Eğitim hayatım boyunca her koşulda arkamda duran, fedakârlıklarıyla bugünlere gelmemi sağlayan, sevgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim. Onların varlığı, bu sürecin en sağlam temeli olmuştur.

Akademik gelişimimde önemli katkıları bulunan, bu tez çalışmasının her aşamasında bilgi ve deneyimiyle bana rehberlik eden, yapıcı görüşleriyle çalışmanın yönünü belirlememe yardımcı olan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sinan YARDIM'a içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalışmada kullanılan saha verilerinin temininde ve uygulamaya dönük bilgi paylaşımında önemli destekler sunan Sedef Gemi İnşaatı A.Ş. Ar-Ge Merkezi'ne katkılarından dolayı teşekkür ederim. Sahadan elde edilen gerçek zamanlı veriler sayesinde çalışmanın sektörel uygulanabilirliği artırılmıştır.

Bu tez, sadece bireysel bir çabanın ürünü değil; aynı zamanda değerli insanların katkılarıyla şekillenmiş kolektif bir emeğin yansımasıdır.

Oğuzcan EROĞLU

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	3
1.2 Yöntem.....	3
1.3 Çalışmanın Hipotezi.....	4
2 LİTERATÜR TARAMASI VE DEĞERLENDİRME	5
3 AKILLI TERSANEDE BÜTÜNLEŞİK ROTALAMA VE ATAMA YÖNTEMİ	11
3.1 Uygulama Alanı ve Sistem Tanımı	11
3.2 Uygulama Alanı ve Sistem Tanımı.....	12
3.2.1 Endüstriyel Ağ Geçidi Cihazları.....	12
3.2.2 Konum Sensörleri	13
3.3 Nİ Platformu Arayüzü ve Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi	14
3.3.1 Arayüz Yapısı	14
3.3.2 Hareketli Araç Yönetimi ve Performans Raporları	15
3.3.3 Görev Planlama – Rezervasyon Takvimi	16
3.3.4 Canlı Harita ve Rota İzleme.....	16
3.3.5 Konum Esaslı Giriş-Çıkış Analizi	17
3.3.6 Araç Hareketlerini Gösteren Karmaşık Akış (Spagetti) Haritası ve Nİ Sistem Özeti.....	17
3.4 Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ile Rota Eniyilemesi	18
3.4.1 Yöntemin Tanımı.....	19
3.4.2 Tersane Uygulaması	19
3.4.3 Clarke-Wright Tasarruf Algoritması Hesaplama Örneği.....	20

3.5	Bulanık-TOPSIS Karar Modeli ve Uygulama Adımları.....	21
3.5.1	Problemin Tanımı	21
3.5.2	Karar Ölçütlerinin Belirlenmesi.....	22
3.5.3	Ağırlıkların Atanması	22
3.5.4	Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması	23
3.5.5	Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Vektörlerinin Belirlenmesi	24
3.5.6	Görelî Yakınlık Hesaplamaları	25
4	BİR AKILLI TERSANEDE ROTA ENİYİLEME UYGULAMASI	26
4.1	Clarke-Wright Tabanlı Rota Eniyileme Uygulaması.....	26
4.2	Bulanık-TOPSIS ile Araç ve Rota Eşleştirme Karar Modeli.....	31
4.2.1	Araç ve Rota Seçeneklerinin Tanımlanması.....	31
4.2.2	Bulanık-TOPSIS Karar Matrisi ve Ölçütler.....	42
4.2.3	Python Uygulaması ve Görelî Yakınlık Puanları	43
4.2.4	Araç-Rota Eşleşmelerine Ait Görelî Yakınlık Puanları.....	43
4.2.5	Araç-Rota Eşleştirmesi Üzerine Çok Ölçütlü Karar Destek Değerlendirmesi.....	45
5	TARTIŞMA	46
6	SONUÇ	48
	KAYNAKÇA	50
	A PYTHON KODLARI VE BULANIK-TOPSIS ÇÖZÜM ADIMLARI ÖRNEĞİ	54
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	60

SİMGE LİSTESİ

K_3	Araç ile malzeme arasındaki ilk mesafe (m)
K_5	Araç tipi ve kapasitesi (ton)
w_1	Ağırlık alt sınır
w_2	Ağırlık en olası değer
w_3	Ağırlık üst sınır
V_{ij}	Ağırlıklı karar matris değeri
d	Depoya olan mesafe veya i ile j arasındaki uzaklık (m)
C_i	Görelî yakınlık puanı
S_i^-	i seçeneğine ait negatif ideal çözüm vektörü
S_i^+	i seçeneğine ait pozitif ideal çözüm vektörü
d_i^-	i seçeneğinin negatif ideal çözüme uzaklığı
d_i^+	i seçeneğinin pozitif ideal çözüme uzaklığı
$S(i,j)$	i ve j noktalarının aynı rota üzerinde birleştirilmesiyle sağlanan tasarruf değeri
R_i	i. rotayı temsil eden seçenek
x_{ij}	i. seçeneğe ilişkin j. ölçütün bulanık değeri
x_{jmax}	j ölçütlerinin gözlemlenen en büyük değeri
x_{jmin}	j ölçütlerinin gözlemlenen en küçük değeri
r_j^-	j ölçütlerinin negatif ideal çözüm değeri
r_j^+	j ölçütlerinin pozitif ideal çözüm değeri
K_i	Kullanılan ölçütlerin genel temsili
K_4	Malzeme ile hedef konum arasındaki ikinci mesafe (m)
r_{ij}	Normalleştirilmiş karar matrisi değeri (seçenek i, ölçüt j için)
w_{ij}	Ölçüt ağırlıkları
K_2	Parça ağırlığı (kg/parça)
K_1	Parça sayısı (Görevde taşınacak toplam parça adedi)
S	Tasarruf değeri (Saving Value)
K_6	Yakıt tüketimi (Litre / 100 m)

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
BLE	Bluetooth Low Energy (Düşük Enerjili Bluetooth)
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité (Gerçekliği Yansıtan Eleme ve Seçim)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
MCDM	Multi-Criteria Decision Making (Çok Ölçütlü Karar Verme)
MILP	Mixed-Integer Linear Programming (Karışık-Tamsayılı Doğrusal Programlama)
NIS	Negative Ideal Solution (Negatif İdeal Çözüm)
Nİ	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
PIS	Positive Ideal Solution (Pozitif İdeal Çözüm)
RFID	Radio Frequency Identification (Radyo Frekanslı Tanımlama)
SDVN	Software Defined Vehicular Network (Yazılım Tanımlı Araç Ağları)
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği)
UWB	Ultra-Wideband (Ultra Geniş Bant)
VIKOR	VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje (Çok Ölçütlü Uzlaşmacı Sıralama Yöntemi)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 SADE.IO Ağ Geçidi Kurulumları – Kat 2 Tespit NoktasıHata! işaretini tanımlanmamış.	Yer
Şekil 3.2 Konum Sensörü – Gömülü ve Direk Üstü Uygulama	13
Şekil 3.3 Personel Tanımlama Kartı (TAG 5630)	14
Şekil 3.4 Nİ Platformu Ana Bileşen (Modül)Ekranı	15
Şekil 3.5 Nİ Platformu Kıymetli Envanter ve Makine Yönetimi Ekranı	15
Şekil 3.6 Hareketli Araç Yönetimi Kısımının Forklift Performans Raporu Ekranı	16
Şekil 3.7 Rezervasyon Planlama Ekranı.....	16
Şekil 3.8 Canlı Takip Haritası	17
Şekil 3.9 Hareketli Araç Takip Listesi	17
Şekil 3.10 Bir Günlük Spagetti Haritası	18
Şekil 3.11 Temel Clarke-Wright Algoritma Şeması	19
Şekil 3.12 Clarke-Wright Uygulama Akış Şeması	20
Şekil 4.1 Rota Eniyilemesi Yapılan Taşıtlar	27
Şekil 4.2 Rota 1 Haritası.....	33
Şekil 4.3 Rota 2 Haritası.....	35
Şekil 4.4 Rota 3 Haritası.....	37
Şekil 4.5 Rota 4 Haritası.....	39
Şekil 4.6 Rota 5 Haritası.....	41
Şekil 4.7 Araçlara Göre Seçilen En Uygun Rotaların C_i Puanları.....	44
Şekil 4.8 Python Arayüzünde C_i Puan Değerleri.....	44

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Örnek Ağırlık Atama Tablosu	23
Tablo 4.1 Geleneksel ve Clarke-Wright Algoritması Sonrası Rotalara Göre Araç Başarım Değerleri	28
Tablo 4.2 Taşıt Filosu İçin Araç Bazında İyileşmeler	29
Tablo 4.3 Araç Sınıflarına Göre Ortalama İyileşmeler	30
Tablo 4.4 Rota 1 Değerleri.....	32
Tablo 4.5 Rota 2 Değerleri.....	34
Tablo 4.6 Rota 3 Değerleri.....	36
Tablo 4.7 Rota 4 Değerleri.....	38
Tablo 4.8 Rota 5 Değerleri.....	40
Tablo 4.9 Görelî Yakınlık Puanı (C_i) Tablosu	43

Bir Akıllı Tersane Sahasında Malzeme Taşıma Araçları İçin Bulanık-TOPSIS Yöntemiyle Rota Eniyilemesi

Oğuzcan EROĞLU

Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sinan YARDIM

Bu çalışma, bir akıllı tersane sahasında gerçekleştirilen malzeme taşıma işlerinin daha verimli, sürdürülebilir ve planlı bir şekilde yönetilmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, Nesnelerin İnterneti (Nİ) destekli gerçek zamanlı izleme sistemi ile sahadan elde edilen veriler, rota eniyilemesi ve araç-görev eşleştirmesi için kullanılmaktadır. Tez kapsamında iki farklı yöntem bütünleştirilmiştir. Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ve Bulanık-TOPSIS çok ölçütlü karar verme yöntemi.

Clarke-Wright algoritması ile tersane sahasında görevli 4 forklift ve 2 traktörün görev noktaları arasındaki taşıma rotaları eniyilenmiştir. Bu algoritma, taşıma mesafesini ve yakıt tüketimini azaltmaya yönelik olarak uygulanmış; ortalama %15'e kadar mesafe tasarrufu ve %10'a kadar yakıt verimliliği sağlandığı tespit edilmiştir.

Bulanık-TOPSIS yöntemi ise, oluşturulan rota havuzu içinden her bir rota için en uygun aracı belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Karar sürecinde parça sayısı, parça ağırlığı, araç-malzeme ve malzeme-hedef mesafeleri, araç tipi ve yakıt tüketimi gibi altı ölçüt dikkate alınmıştır. Gerçek zamanlı verilerle geliştirilen Python tabanlı

uygulama sayesinde araç-rota eşleşmelerine ait göreceli yakınlık (C_i) puanları hesaplanmış ve en iyi eşleşmeler gerçekleştirilmiştir.

Bu tez, sadece rota eniyilemesi değil, aynı zamanda karar destek sistemlerinin sahada uygulanabilirliğini de göstermekte ve tersanelerde dijital dönüşümün önemli bir örneğini sunmaktadır. Ayrıca, elde edilen çıktıların sürdürülebilirlik, “Yeşil Lojistik, Yeşil Liman ve Akıllı Ulaşım Sistemleri” gibi çağdaş kavramlarla örtüştüğü, sektörel ve çevresel açıdan yüksek değer taşıdığı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Tersane, Rota Eniyilemesi, Nesnelerin İnterneti (Nİ), Bulanık-TOPSIS, Çok Ölçütlü Karar Verme, Clarke-Wright, Lojistik 4.0.



Route Optimization for Material Handling Vehicles Using the Fuzzy-TOPSIS Method in a Smart Shipyard Area

Oğuzcan EROĞLU

Department of Intelligent Transportation Systems

Master of Science Thesis

Supervisor: Dr. Mustafa Sinan YARDIM

This study aims to manage material handling operations in a smart shipyard environment in a more efficient, sustainable, and systematic manner. In this context, data obtained from the field through an IoT (Internet of Things)-based real-time monitoring system were utilized for route optimization and vehicle-task assignment. The thesis integrates two distinct methods: the Clarke-Wright Savings Algorithm and the Fuzzy-TOPSIS multi-criteria decision-making approach.

Using the Clarke-Wright algorithm, the transportation routes between the task points of 4 forklifts and 2 tractors operating within the shipyard were optimized. This algorithm was implemented with the goal of minimizing travel distance and fuel consumption. As a result, up to 15% reduction in travel distance and approximately 10% improvement in fuel efficiency were achieved.

The Fuzzy-TOPSIS method was employed to determine the most suitable vehicle for each route from the route pool generated. The decision-making process considered six criteria: number of pieces, weight of pieces, distance between vehicle and material, distance between material and destination, vehicle type, and fuel consumption. A Python-based application developed with real-time data calculated the relative closeness scores (C_i) for vehicle-route pairings and enabled optimal assignments.

This thesis not only demonstrates effective route optimization but also showcases the applicability of decision support systems in real operational environments, serving as a notable example of digital transformation in shipyards. Furthermore, the results align with contemporary concepts such as sustainability, “Green Logistics, Green Port, and Intelligent Transportation Systems,” offering significant value both environmentally and sectorally.

Keywords: Smart Shipyard, Route Optimization, IoT, Fuzzy-TOPSIS, Multi-Criteria Decision Making, Clarke-Wright, Logistics 4.0.



Sanayi ve üretim sektörlerinde teknolojik gelişmelerin etkisiyle süreçlerin daha verimli, izlenebilir ve sürdürülebilir hale getirilmesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Üretim sahalarında verimliliği artırmak, kaynak kullanımını eniyilemek ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla yeni nesil teknolojilerin bütünleştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi kavramlar, üretim ve lojistik faaliyetlerin otomasyon düzeyini yükseltmekte, karar alma süreçlerinin doğruluğunu artırmakta ve iş süreçlerinin şeffaflığını sağlamaktadır [1]. Bu dönüşüm, büyük alanlara yayılmış bulunan ve süreç yönetimi oldukça karmaşık olan tersane sektörünü de doğrudan etkilemektedir.

Tersane endüstrisi, doğası gereği yüksek hacimli malzeme hareketlerinin, geniş sahalarda birçok iş istasyonu arasında eşgüdümlü şekilde gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. Gemi inşa süreçleri; sac kesiminden, blok montajına, borulama işlerinden son donatım işlemlerine kadar pek çok farklı noktada taşımacılığın önemli bir rol oynadığı, zaman ve kaynak yönetiminin üretim kalitesine doğrudan tesir ettiği bir sistem bütünüdür [2]. Bu nedenle tersanelerde yapılan taşıma işleri, hem iş verimliliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından en uygun çözümlere kavuşturulmalıdır.

Dünya genelinde Güney Kore, Japonya, Çin ve Almanya gibi gelişmiş denizcilik sanayisine sahip ülkelerde, tersane içi lojistik akışların yönetimi giderek daha fazla şekilde dijital sistemlerle desteklenmektedir. Örneğin Güney Kore'deki Samsung Heavy Industries ve Daewoo Shipbuilding tersanelerinde araçların konumları, rotaları ve enerji tüketimleri nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT) tabanlı platformlarla izlenmekte ve yapay zekâ destekli karar sistemleriyle yönetilmektedir [3]. Almanya'daki Meyer Werft tersanesi, otonom taşıma sistemleri ile sahadaki malzeme akışını eniyilemekte, üretim gecikmelerini en aza indirmektedir [4].

Türkiye’deki tersaneler ise bu dijitalleşme sürecine son yıllarda daha fazla önem vermeye başlamıştır. İstanbul’da da Tuzla bölgesinde yer alan Sedef Tersanesi, bu dönüşüm sürecine 2022 yılında attığı adımlarla katkı sağlamış ve Nİ temelli bir altyapı oluşturarak forklift, traktör gibi mobil taşıma araçlarının konumlarını, kullanıcı bilgilerini, görevlerini ve yakıt tüketimlerini anlık olarak izleyebilen bir portal geliştirmiştir. Bu sistem sayesinde geçmişte tamamen kullanıcı (sürücü) inisiyatifiyle karar vermesiyle yapılan rota seçimleri, artık merkezi olarak izlenebilmekte ve daha verimli kararlar alınabilmektedir.

Nİ teknolojileri ile donatılan bu altyapıda ağ geçitleri (gateway), konum sensörleri, çalışan takip etiketleri ve kimlik doğrulama sistemleri aracılığıyla araçların tüm hareketleri kayıt altına alınmakta, araçların istasyonlar arası geçişleri analiz edilebilmektedir. Ancak bu verilerin yalnızca izlenebilir olması yeterli değildir. Verilerden anlamlı kararlar üretmek, taşıma faaliyetlerini eniyilemek ve kaynak kullanımını iyileştirmek için çok ölçütlü karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada Bulanık-TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi; zaman, mesafe, yakıt tüketimi, araç tipi ve görev önceliği gibi farklı ölçütleri aynı anda değerlendirerek en iyi rotanın seçilmesini sağlayan güçlü bir analiz aracıdır [5].

Literatürde, gemi inşa ve tersane sektörlerinde çok ölçütlü karar destek sistemlerine yönelik bazı çalışmalar bulunsa da, Nİ altyapısından elde edilen saha verilerinin doğrudan Bulanık-TOPSIS yöntemiyle rota eniyilemesine bütünleştirildiğinde örnek sayısı oldukça sınırlıdır. Bu durum, sektörde dijitalleşme ve akıllı karar destek sistemleri açısından önemli bir gelişim alanı olduğunu göstermektedir.

Nİ sistemlerinden elde edilen gerçek zamanlı verilerle birlikte Bulanık-TOPSIS gibi çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kullanılması, tersanelerde malzeme taşıma süreçlerinin daha etkin yönetilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu tür yaklaşımların yaygınlaştırılması, tersanelerdeki iş verimliliğinin artmasına, maliyetlerin düşürülmesine ve sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkıda bulunacaktır. Bu bağlamda tersane sektöründe, dijitalleşme ve akıllı karar destek sistemlerine yönelik çalışmaların artması ve yenilikçi çözümlerin uygulanabilirliğinin araştırılması önem taşımaktadır.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın temel amacı, üretim faaliyetleri yoğun ve işletim karmaşıklığı yüksek bir saha (akıllı tersane) ortamında gerçekleştirilen malzeme taşıma işlemlerinin daha verimli, planlı ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşturulmasına yönelik bir taşıt rotalama ve atama süreci geliştirmektir. Bir akıllı tersane sahasında vaka analizi niteliği taşıyan bu çalışma aracılığıyla, taşıma sürecinde görev yapan taşıma araçlarının (forklift ve traktör) rota planlamalarının eniyilenmesi ve görev atamalarının sistematik bir karar destek yaklaşımıyla belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın bir diğer amacı, Nİ teknolojileri ile desteklenen gerçek zamanlı veri altyapısının, sadece izleme değil aynı zamanda karar alma süreçleriyle de birleştirilebileceğini uygulamalı olarak göstermektir. Bu kapsamda, karar destek sistemleri ile dijital altyapının birlikte çalıştığı bir model geliştirilmiş ve bu model Python ortamında uygulamaya aktarılmıştır.

Bu tez, saha gerçeklerine dayalı rota ve görev planlamasının matematiksel modelleme ile nasıl bütünleştirileceğini ortaya koyarken, aynı zamanda Lojistik 4.0, Akıllı Tersane, Çok Ölçütlü Karar Verme ve Veri Tabanlı İş Yönetimi gibi kavramların pratikteki karşılıklarını somutlaştırmayı amaçlamaktadır.

1.2 Yöntem

Çalışmada, yukarıdaki amaca ulaşmak için iki aşamalı bir yöntem önerilmiştir. İlk aşamada, taşıma rotalarının mesafe ve görev yoğunluğu gibi ölçütler temelinde eniyilenmesi için Clarke-Wright Tasarruf Algoritması uygulanmıştır. Bu algoritma ile görev noktaları arasında gerçekleştirilen taşımalarda toplam mesafenin azaltılması, araç kullanım süresinin kısaltılması ve görevlerin daha dengeli dağıtılması hedeflenmiştir.

İkinci aşamada ise, belirlenen rotalara en uygun araçların atanabilmesi amacıyla Bulanık-TOPSIS yöntemiyle çok ölçütlü karar analizi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte; parça sayısı, yük ağırlığı, mesafe, araç tipi ve tonajı ile yakıt tüketimi gibi altı temel karar ölçütü dikkate alınmış, göreceli yakınlık (C_i) puanlarına göre araç-rota eşleşmeleri yapılmıştır. Ölçüt verileri, saha içi Nİ altyapısı üzerinden gerçek zamanlı olarak elde edilen sensör ve kullanıcı bilgilerine dayanmaktadır.

Bu çalışma, dijitalleşme sürecine girmiş büyük ölçekli bir üretim sahasında, sahadaki hareketli taşıma araçlarının rota ve görev planlamasının eniyilenmesine yönelik olarak yürütülmüştür. Vaka analizi olarak ele alınan bu üretim sahasında, forklift ve traktör gibi farklı kapasitelerde görev yapan altı hareketli taşıma aracı üzerinden, malzeme aktarma süreçlerinin iş verimliliği, yakıt tüketimi ve zaman yönetimi bakımından değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma, yalnızca algoritmik çözüm geliştirmeyi değil; aynı zamanda bu çözümlerin sahada uygulamalı olarak test edilmesini de içerdiğinden, Python programlama dili ile geliştirilen algoritmalar, Nİ platformu verileriyle bütünleşik olarak çalışacak şekilde yapılandırılmıştır.

Bu bağlamda, sadece teorik bir modelleme değil, aynı zamanda gerçek saha verisiyle doğrulanmış pratik bir uygulama da çalışmada sunulmuştur.

Bu yönüyle tez, yalnızca bir rota eniyilemesi çözüm önerisi değil; aynı zamanda Akıllı Ulaşım Sistemleri, Lojistik 4.0 ve çok ölçütlü karar destek sistemleri gibi kavramların üretim sahalarında nasıl bütüncül olarak uygulanabileceğini gösteren kapsamlı bir analiz niteliği taşımaktadır.

1.3 Çalışmanın Hipotezi

Literatürde çoğunlukla, üretim etkinlikleri yoğun ve işletim karmaşıklığı yüksek çalışma sahalarında yapılan yer değiştirmeler ve taşımaların rotalama problemleri mesafe veya zaman gibi geleneksel ölçütler üzerinden değerlendirilmektedir. Tersane gibi yoğun ve karmaşık iş süreçlerine sahip alanlardaki malzeme taşıma işlemlerinin daha verimli hale getirilmesi için, sadece kısa mesafeli ve süreli değil, bunun yanı sıra, en az yakıt tüketimi ve en uygun taşıt türünü seçen bütünsel bir eniyileme yaklaşımı kaçınılmazdır.

Bu çerçevede, Nİ araçları ve sensörlerle donatılmış bir tersane sahasında, mesafe, süre, yakıt tüketimi değişkenlerine göre Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ile Bulanık-TOPSIS çok ölçütlü karar verme sürecinin bütünleştirildiği bir yöntemle bir rota eniyilemesi ve atama karar destek sistemi, geleneksel yöntemlere göre daha verimli ve ekonomik rota seçimi ve taşıt atamalarına yol açmaktadır. Çalışmada bütünlük bir sistem önerilerek, ekonomik çözümler gösterilecektir.

2

LİTERATÜR TARAMASI VE DEĞERLENDİRME

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler, üretim ve lojistik sektörlerinde köklü değişimlerin yaşanmasına neden olmuştur. Özellikle sanayi 4.0 kavramının yaygınlaşması ve IoT teknolojilerinin olgunlaşması ile birlikte, üretim sahalarının dijitalleşmesi, verimliliğin artırılması, kaynak kullanımının eniyilenmesi ve iş süreçlerinin daha izlenebilir hale gelmesi mümkün olmuştur [6]. Bu değişim, büyük ve karmaşık sahalara sahip tersane gibi endüstriyel ortamlarda daha da önemli bir hâle gelmiştir. Tersane endüstrisi doğası gereği, çok sayıda iş istasyonunun eş zamanlı çalıştığı, malzeme hareketlerinin yoğun olduğu ve üretim sürekliliğinin kesintisiz şekilde sağlanmasının hayati önem taşıdığı bir iş koludur. Bu nedenle, tersanelerde malzeme taşıma işlerinin planlı ve en uygun şekilde yürütülmesi, hem üretim kalitesinin korunması hem de zaman ve maliyet verimliliğinin sağlanması açısından temel bir gereklilik olmuştur.

Bu bağlamda, taşıma sistemlerinin dijitalleştirilmesi ve izlenebilir hâle getirilmesi amacıyla Nİ tabanlı çözümler ön plana çıkmaktadır. Nİ teknolojileri sayesinde forklift, traktör gibi taşıma araçlarının konum, hız, yön, duraklama süresi ve görev atamaları gibi parametreleri anlık olarak takip edilebilmekte, bu veriler merkezi platformlarda incelenerek iş karar destek mekanizmalarına eklenebilmektedir. [7]. Bununla birlikte, sadece verilerin toplanması değil, bu verilerin çok ölçütlü değerlendirme yöntemleriyle işlenerek en uygun kararların üretilmesi de büyük önem taşımaktadır. Bu noktada Bulanık-TOPSIS gibi çok ölçütlü karar verme yöntemleri, taşıma araçlarının rota seçiminde sezgisel olmayan, nesnel ve matematiksel temelli kararlar alınmasını mümkün kılmaktadır [5].

Literatürde, taşıma eniyilemesi ve rota planlaması konularında çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte, özellikle tersane sahası gibi hareketli ve karmaşık ortamlar için geliştirilen uygulamaların sınırlı olduğu görülmektedir. Zhao ve diğerleri (2022), Yazılım Tanımlı Araç Ağları (SDVN) üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, bulanık mantık tabanlı çok nitelikli yönlendirme algoritmaları geliştirmiş ve

hareketli ortam koşullarına uyabilen karar mekanizmaları sunmuşlardır [8]. Bu tür çalışmalar, taşıma sistemlerinde anlık değişimlere esnek yanıt verebilecek karar destek sistemlerinin geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Björk ve Mezei (2014) tarafından geliştirilen bulanık MILP modeli de, taşıma süreleri ve maliyetler gibi belirsiz parametrelerin bulanık kümelerle ifade edilerek rota planlamalarının daha esnek bir yapıya kavuşturulabileceğini göstermiştir [9].

Öte yandan, IoT destekli veri toplama altyapıları yalnızca rota planlaması için değil, aynı zamanda iş verimliliğinin artırılması ve kaynak kullanımının eniyilenmesi için de fırsatlar sunmaktadır. Tordecilla ve diğerlerinin (2021) geliştirdiği sezgisel benzeşim (simheuristic) modelleri, belirsizlik altında çalışan taşıma sistemlerinde rota planlamalarının nasıl iyileştirilebileceğini göstermiştir [10]. Bu modellerde, Nİ verileri ile desteklenen taşıma işlerinin, hem maliyet hem zaman açısından daha verimli hale getirilebileceği vurgulanmaktadır. Özellikle geniş sahalara yayılan iş istasyonları arasında yoğun malzeme akışının olduğu tersanelerde, bu tür veri destekli eniyileme yaklaşımları işletim başarısı açısından önemli bir rol oynamaktadır.

Dünyada tersane sektörü özelinde dijitalleşme çalışmaları da hız kazanmıştır. Güney Kore’de Samsung Heavy Industries ve Daewoo Shipbuilding gibi büyük tersaneler, taşıma araçlarının konum ve enerji verilerini IoT platformları üzerinden anlık olarak izlemekte ve bu verileri yapay zekâ destekli sistemler ile analiz ederek taşıma işlerini eniyilemektedirler [11]. Almanya’da Meyer Werft tersanesi, otonom taşıma sistemlerini devreye alarak sahadaki malzeme akışını eniyilemiş ve üretim gecikmelerini en aza indirmiştir [4]. Japonya’da Mitsubishi Heavy Industries, dijital ikiz teknolojisi ile gemi inşa süreçlerini eş zamanlı izleyerek üretim verimliliğini artırma çalışmaları yürütmektedir. Türkiye’de ise Sedef Tersanesi, 2022 yılında başlattığı Nİ tabanlı altyapı yatırımı ile sahadaki forklift ve traktörlerin hareketlerini anlık olarak izleyebilen ve analiz edebilen bir sistem geliştirmiştir [12]. Bu sistem sayesinde, geçmişte tamamen sürücü inisiyatifine bağlı olarak yapılan rota seçimleri, veri destekli ve en uygun bir yapıya kavuşturulmuştur.

Nİ sistemlerinde kullanılan veri toplama teknolojileri de literatürde detaylı olarak incelenmiştir. RFID (Radio-Frequency Identification-Radyo Frekanslı Tanımlama), BLE (Bluetooth Low Energy - Düşük Enerjili Bluetooth) ve UWB

(Ultra Wideband - Ultra Geniş Bant) gibi teknolojiler sayesinde araçların konumları ve hareket verileri yüksek hassasiyetle elde edilebilmekte, bu veriler ağ geçitleri aracılığıyla merkezi veri tabanlarına aktarılmaktadır [13]. Özellikle UWB teknolojisi, tersane gibi metal yoğun ortamlarda dahi yüksek doğrulukla konum belirleme imkânı sunması nedeniyle öne çıkmaktadır. İlgili tersanede kullanılan sistemde de bu teknolojiler eklenerek, forklift ve traktörlerin istasyonlar arası geçişleri hassas şekilde izlenmekte ve kayıt altına alınmaktadır.

Ancak veri toplamanın yeterli olmadığı, bu verilerin anlamlı kararlara dönüştürülmesi gerektiği literatürde sıkça vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, Bulanık-TOPSIS yöntemi gibi çok ölçütlü karar verme yöntemleri, hem nicel hem nitel ölçütleri aynı anda değerlendirebilmesi sayesinde taşıma işlerinde büyük kolaylık sağlamaktadır [14]. Literatürde, AHP, VIKOR, ELECTRE gibi diğer çok ölçütlü karar verme yöntemleri de kullanılmakla birlikte, Bulanık-TOPSIS'in belirsizlikleri modelleme ve farklı ölçütler arasındaki dengeyi sağlama konusunda üstünlük sağladığı gösterilmiştir [5], [15], [16].

Park ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada, Nİ verilerinin yapay zekâ sistemleri ile birlikte işlenerek gerçek zamanlı rota eniyilemesi yapılabileceği gösterilmiştir [17]. Bu tür çalışmalar, sadece geçmiş verilere dayanarak değil, sahadaki anlık duruma göre en uygun rotaların seçilmesini mümkün kılmakta ve taşıma işlerinde esnekliği artırmaktadır. Tezin vaka incelemesi yapılan tersanede, Nİ sisteminden gelen anlık verilerin Bulanık-TOPSIS yöntemiyle işleyerek taşıma araçlarının rotaları çok ölçütlü bir değerlendirme sonucu belirlenmiştir.

Veri güvenilirliği ise Nİ sistemlerinin başarısı için önemli bir etkidir. Duymaz ve diğerlerinin (2017) eş zamanlı konum belirleme ve haritalama problemi üzerine yaptığı çalışmayla, Parçacık Akış Filtresi (Particle Flow Filter) yöntemi kullanılarak sahadaki sensör verilerinin doğruluğu artırılmıştır [18]. Tersane gibi geniş ve hareketli alanlarda, veri doğruluğunun artırılması, rota planlamalarının doğruluğunu ve işletim başarısını doğrudan etkilemektedir. Uygulama yapılan tersanede de Nİ veri akışı, yedekli veri toplama ve doğrulama süreçleri ile desteklenerek karar destek sisteminin güvenilirliği sağlanmıştır.

Lojistik 4.0 kavramı, üretim ve lojistik süreçlerinde dijital dönüşümün bir üst aşamasını ifade etmektedir. Bu kavram, izlenebilirlik, veri analitiği, otomasyon ve karar destek sistemleri gibi unsurların bütünleşik şekilde kullanıldığı bir yapıyı tarif etmektedir [19]. Literatürde yapılan çalışmalar, Lojistik 4.0 uygulamaları sayesinde taşıma sürelerinde azalma, yakıt tüketiminde tasarruf ve iş gücü verimliliğinde artış sağlandığını göstermektedir. Bu tez çalışması da, ilgili tersanede geliştirilen Nİ destekli taşıma yönetim sistemi ile Lojistik 4.0 prensiplerinin sahaya yansımaları sağlamış ve iş verimliliğinde önemli kazanımlar elde edilmesini mümkün kılmıştır.

Literatürde Nİ destekli taşıma eniyilemesi ve Bulanık-TOPSIS yönteminin bütünleşik kullanıldığı bazı uygulamalar bulunsa da, tersane gibi geniş ve karmaşık alanlarda bu eklemelerin doğrudan saha uygulamasıyla gerçekleştirildiği örnekler oldukça sınırlıdır. Bu tez çalışması, gerçek bir tersane sahasında Nİ verilerinden elde edilen çoklu parametrelerin bulanık mantık destekli çok ölçütlü analiz yöntemi ile işlenerek rota eniyilemesi yapılması bakımından, hem akademik literatüre hem de sektörel uygulamalara önemli bir katkı sunmaktadır.

Nİ destekli lojistik sistemleri ve çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarının birleşimi üzerine yapılan çalışmalar önemli bir ivme kazanmış olmakla birlikte, literatürde özellikle tersane sahası gibi karmaşık ve hareketli üretim ortamlarında bu sistemlerin bütünleştirilmesi üzerine gerçekleştirilen uygulamalı araştırmalar oldukça sınırlıdır. Literatürde yer alan çoğu çalışma, teorik modellemeler veya benzetim tabanlı doğrulamalar üzerine odaklanmış olup, gerçek zamanlı sahadan toplanan Nİ verilerinin çok ölçütlü karar destek sistemlerine doğrudan bütünleştirilmesi ise daha az ele alınmıştır [20]. Bu durum, özellikle tersane gibi geniş alanlara yayılmış, iş istasyonlarının değişken yoğunlukta çalıştığı ve taşıma işlemlerinin oldukça hareketli olduğu sahalar için ciddi bir boşluk oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmaların büyük bir kısmında, rota eniyilemesi problemleri klasik ölçütler üzerinden değerlendirilmiş, sadece mesafe veya zaman gibi tekil ölçütlere dayalı kararlar ön planda tutulmuştur [21]. Oysa üretim sahalarında taşıma performansını etkileyen çok sayıda değişken söz konusudur. Taşımanın süresi, taşımanın yapılacağı saat dilimi, malzeme türü ve hassasiyeti, taşıma aracının geçmiş performansı, yakıt tüketimi ve saha üzerindeki anlık yoğunluk gibi birçok etken, alınacak kararların doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle,

sadece kısa mesafeyi değil, en az yakıt harcayan, en az zaman kaybına uğrayan ve en uygun taşıma aracını seçen bütünsel bir eniyileme yaklaşım kaçınılmazdır.

Bu çerçevede Toklu (2022), insani yardım dağıtımını gibi belirsiz ve acil karar ortamlarında, Clarke-Wright algoritmasını aralık tanımlı (interval) tip-2 Bulanık-TOPSIS yaklaşımıyla bütünleştirerek, taşıma kararlarının çoklu ölçütlere göre modellenmesini sağlamıştır. Bu tür aralık tanımlı tip-2 yöntemleri, genellikle tedarikçi seçimi, risk değerlendirme, stratejik karar verme, proje önceliklendirme, enerji kaynaklarının seçimi, AUS'da sürücü davranışlarının modellenme gibi problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Ancak çalışmanın odak noktası, değişken dış çevre koşullarına duyarlı bir karar yapısı kurmak olduğundan; önerilen model saha bütünleşmesi açısından daha karmaşık, hesaplama yükü açısından ise daha maliyetlidir [22]. Buna karşılık bu tez çalışmasında önerilen model, sabit bir üretim sahasına eklenebilir, gerçek zamanlı Nİ verileriyle uyumlu ve üçgen bulanık sayılarla daha sade biçimde uygulanabilir bir yapı sunmaktadır. Böylece, literatürde genellikle teorik veya benzetim tabanlı kalmış çok ölçütlü karar modellerinin, gerçek bir tersane sahasında saha verileriyle doğrulanmış ve uygulamaya dönük bir örneği sunulmuştur.

Bu tez çalışması, bütünsel ve çok ölçütlü eniyileme modellerinin geliştirilmesi bağlamında literatürde önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Bu bağlamda, vaka çalışması olarak da büyük ölçekli bir tersane sahasında, forklift ve traktör gibi mobil taşıma araçlarının konum, hız, görev ve kullanıcı verileri Nİ tabanlı altyapı üzerinden gerçek zamanlı toplanmış ve bu veriler, Bulanık-TOPSIS yöntemi ile çok ölçütlü karar destek sistemine eklenerek, sahada uygulanabilir bir rota eniyilemesi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle literatürde genellikle teorik modellemelerde kalan Nİ-MCDM bütünleştirmesi, gerçek saha verileri kullanılarak pratikte doğrulanmıştır.

Çalışmada özellikle Bulanık-TOPSIS yönteminin tercih edilmesi; belirsizlik altında karar verme kabiliyeti ve hem nicel hem de nitel verileri aynı anda değerlendirme üstünlüğü sayesinde sahadaki karmaşık değişkenlerin yönetilmesini mümkün kılmıştır [23]. Literatürde önerilen AHP, VIKOR, ELECTRE vb. gibi diğer yöntemler, çoğunlukla sabit önceliklere veya net veri kümelerine dayanırken, Bulanık-TOPSIS yaklaşımı kullanıcı deneyimi, saha yoğunluğu, anlık trafik gibi

değişken faktörleri de bulanık mantık prensipleri çerçevesinde değerlendirebilmiş ve daha esnek bir rota planlaması yapılmasını sağlamıştır.

Nİ sensör sistemlerinde yaşanan gecikmeler, sinyal kayıpları veya doğruluk sapmaları, taşıma eniyilemesinin başarısını doğrudan etkileyebilecek unsurlar olduğundan, saha verilerinin yedeklenmesi, veri filtreleme ve güvenlik protokolleri bu çalışmanın kritik bileşenleri arasında yer almıştır [24]. Özellikle UWB ve BLE gibi teknolojilerin doğru kullanımı ile forklift ve traktörlerin hareketleri birkaç metrelik hata payı ile izlenebilmiş, bu da rota seçimlerinde yüksek doğruluk elde edilmesine imkân sağlamıştır.



AKILLI TERSANEDE BÜTÜNLEŞİK ROTALAMA VE ATAMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada benimsenen yöntem yaklaşımı, tersane sahasında yürütülen taşıma işlerinin hem rota planlaması hem de araç-görev eşleştirmesi açısından bütünleşik bir karar destek modeli ile yönetilmesine dayanmaktadır. Temel yapı, sahadan toplanan iş verilerinin dijital sistemler aracılığıyla değerlendirilmesi ve bu verilerin algoritmik modellere doğrudan bütünleştirilmesidir. Yöntemsel bütünlük, bir yandan taşıma rotalarının eniyilemesini sağlayan Clarke-Wright Tasarruf Algoritması, diğer yandan da bu rotalara uygun araçların çok ölçütlü olarak belirlenmesini sağlayan Bulanık-TOPSIS karar analiz tekniği ile sağlanmıştır.

Söz konusu analiz süreçleri, sahaya kurulu olan Nİ tabanlı donanım altyapısı ile desteklenmektedir. Çalışma kapsamında, mobil taşıma araçlarına ait konum, görev ve kullanıcı verilerinin toplanması amacıyla endüstriyel ağ geçitleri (gatewayler), yüksek hassasiyetli konum sensörleri ve BLE (Düşük Enerjili Bluetooth) tabanlı personel tanımlama kartları kullanılmıştır. Bu donanımlar aracılığıyla araçların istasyonlar arası hareketleri, görev süreleri ve rota geçmişleri merkezi sisteme aktarılmıştır. Elde edilen bu veriler, Python ile geliştirilen algoritmaların temel girdilerini oluşturmuş; karar destek süreci dijital platform arayüzü ile izlenebilir ve yorumlanabilir hale getirilmiştir. Böylece yöntem yalnızca kuramsal değil, aynı zamanda teknik altyapısı güçlü, sahaya bütünleşmiş, kullanılabilir bir model olarak kurgulanmıştır.

3.1 Uygulama Alanı ve Sistem Tanımı

Bu çalışma, bir akıllı tersane sahasında forklift ve traktör tipi araçların rotalarının eniyilenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Projenin temel amacı, mevcut Nİ altyapısı üzerinden elde edilen saha verilerinin analiziyle, taşıma süreçlerinde verimliliği artırmak ve çok ölçütlü karar verme yöntemi olan Bulanık-TOPSIS algoritması aracılığıyla daha etkin rota planlaması yapmaktır. Çalışma kapsamında, karar mekanizmasının belirsizlikleri en aza indirmek, tekrarlanabilir ve

öngörülebilir sonuçlar üretmek amacıyla tüm karar süreçleri deterministik tipte algoritmik modelleme ile gerçekleştirilmiştir.

İzleme sistemi, tersane sahasında konuşlandırılmış donanımsal Nİ bileşenlerinden gelen veriler üzerine kuruludur. Bu donanımların başlıcaları, endüstriyel ağ geçidi cihazları, yüksek doğruluklu konum sensörleri ve BLE tabanlı personel tanımlama kartlarıdır. Bu sistem, taşıma araçlarının konumlarının, görev atamalarının ve kullanıcı bilgilerinin gerçek zamanlı olarak merkezî sunuculara aktarılmasını sağlamaktadır.

3.2 Uygulama Alanı ve Sistem Tanımı

3.2.1 Endüstriyel Ağ Geçidi Cihazları (SADE.IO Industrial Gateway)

Ağ geçidi cihazları, Nİ ağının veri iletim altyapısını oluşturmaktadır. Cihazlar, IEEE 802.15.1 (Bluetooth) ve IEEE 802.11 (Wi-Fi) standartlarına uygun olarak, düşük enerji tüketimi ve uzun menzil bağlantı destekleri ile tasarlanmıştır (Şekil 3.1). Sahadan gelen BLE sinyallerini yakalayıp LoRa/2.4 GHz Wi-Fi üzerinden merkezî veri sunucusuna yönlendirirler. Cihaz gövdesi:

- IP66 koruma sınıfında olup dış ortam koşullarına karşı toz ve su sızdırmazdır,
- OBO T160 serisi panolara gömülü olarak monte edilmiştir,
- Cihaz üzerinde durum LED'leri (Örneğin; güç, iletişim, hata durumu) bulunmaktadır.

Kurulum noktaları genellikle üretim alanı duvarları ya da yüksek tavanlı kapalı alanlardır. Her cihaz, RS485 ya da ethernet ile data ağlarına bağlıdır.



Şekil 3.1 SADE.IO Ağ Geçidi Kurulumları – Kat 2 Tespit Noktası

3.2.2 Konum Sensörleri

Forklift ve traktörlerin konumlarının 1-2 metre hassasiyetle belirlenmesi için konum sensör cihazları kullanılmıştır (Şekil 3.2). Bu sensörler, UWB ya da BLE sinyalleri üzerinden alıcı-verici mantığıyla çalışmakta ve üçgenleme yöntemi ile araçların konumlarını tespit etmektedir.

Kurulum yöntemleri:

- Yüzey altı montaj: Bazı sensörler sahada beton zemine gömülmüş olarak yerleştirilmiştir (Örnek: döküm alanı, yükleme hattı).
- Yüksek direk montajı: Görüş alanı avantajı nedeniyle bazı sensörler 3-4 metrelik direklerin üzerine sabitlenmiştir.

Cihazlar kendi ID numaralarına sahiptir ve her biri ağ geçitleriyle eşlenmiş şekilde çalışır.



Şekil 3.2 Konum Sensörü – Gömülü ve Direk Üstü Uygulama

3.2.3 BLE Personel Takip Kartları

Kullanıcıların taşıma araçlarını kullanırken sistemde tanımlı kalmaları için özel olarak tanımlanmış BLE personel takip kartları kullanılmıştır (Şekil 3.3). Bu kartlar:

- BLE sinyali üretir,
- Ağ geçitleri aracılığıyla konumlandırılır,
- Her karta bir TAG ID atanmıştır (Örneğin: TAG 5630).

Kartlar, kullanıcının göreve başladığı an ile aracı teslim ettiği an arasında kesintisiz tanımlama sağlar. Bu sayede her hareketli aracın görev süresi ve kullanıcı geçmişi güvenli biçimde kayda geçirilmektedir.



Şekil 3.3 Personel Tanımlama Kartı (TAG 5630)

3.3 Nİ Platformu Arayüzü ve Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi

Bu çalışma kapsamında kullanılan Nİ tabanlı dijital izleme ve yönetim platformu, tersane sahasındaki forklift ve traktör gibi taşıtların iş verilerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve analiz edilmesini sağlamaktadır. Sistem, RFID ve Nİ altyapısı üzerinde çalışmakta olup, ağ geçidi cihazları, konum sensörleri, personel tanımlama kartları ve dijital harita bütünleştirmesi ile donatılmıştır.

Platform, kullanıcıya hem görsel hem de sayısal veri sunan arayüz modülleri aracılığıyla, taşıma araçlarının rota bilgileri, kullanım süreleri, yakıt tüketimi ve görev eşleştirmeleri gibi iş parametreleri değerlendirme imkânı sunmaktadır.

3.3.1 Arayüz Yapısı

Sisteme giriş yapıldığında kullanıcıyı karşılayan ana panelde, çeşitli modüllere ait yönetim sekmeleri yer almaktadır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Bu modüller; “Personel ve Alt Yüklenici Yönetimi”, “Kıymetli Envanter ve Makine Yönetimi”, “Akıllı Üretim ve Planlama” ve “Hareketli Araç Yönetimi” gibi başlıklar altında gruplanmıştır.



Şekil 3.4 Nİ Platformu Ana Bileşen (Modül)Ekranı

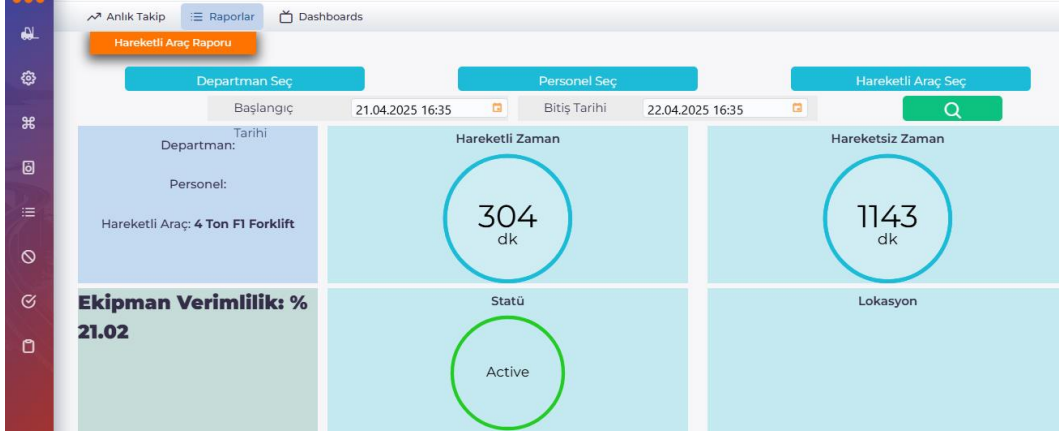


Şekil 3.5 Nİ Platformu Kıymetli Envanter ve Makine Yönetimi Ekranı

3.3.2 Hareketli Araç Yönetimi ve Performans Raporları

“Hareketli Araç Yönetimi” modülü altında yer alan raporlama ekranları, her araç için belirlenen tarih aralıklarında aktif çalışma süresi, hareketsiz kalma süresi ve bu değerlerden türetilen verimlilik puanlarını sunmaktadır. Örneğin; bir forkliftin günlük performansına ilişkin 304 dakika hareketli, 1143 dakika hareketsiz süre ve

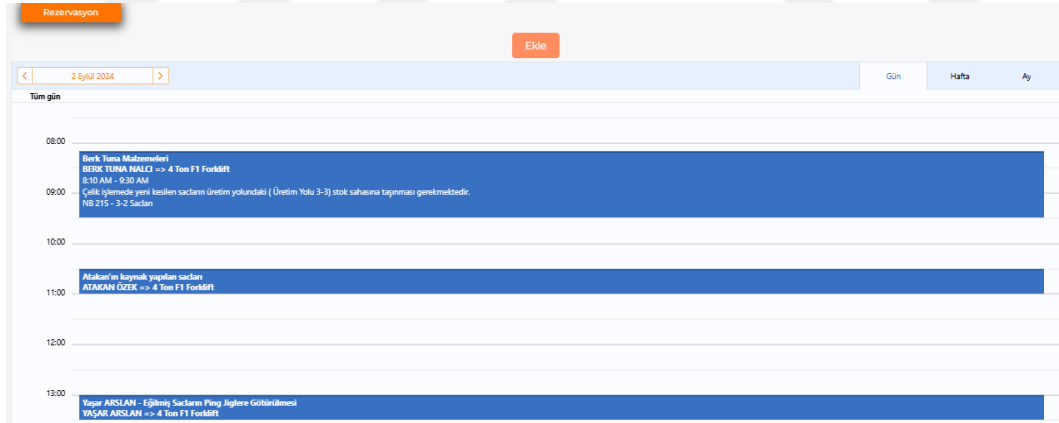
%21,02 verimlilik oranı hesaplanabilmektedir (Şekil 3.6). Bu şekilde araçların günlük durumları gerçek sayısal verilere bağlı olarak takip edilebilmektedir.



Şekil 3.6 Hareketli Araç Yönetimi Kısımının Forklift Performans Raporu Ekranı

3.3.3 Görev Planlama – Rezervasyon Takvimi

Sistemde yer alan rezervasyon takvimi modülü ile taşıma görevleri önceden tanımlanabilmekte ve her görev için araç, personel, görev saati ve rota bilgileri atanabilmektedir (Şekil 3.7). Bu yapı sayesinde taşıma işleri, işlem öncesinde planlanmakta, görev çakışmaları ve kaynak israfı önlenmektedir.

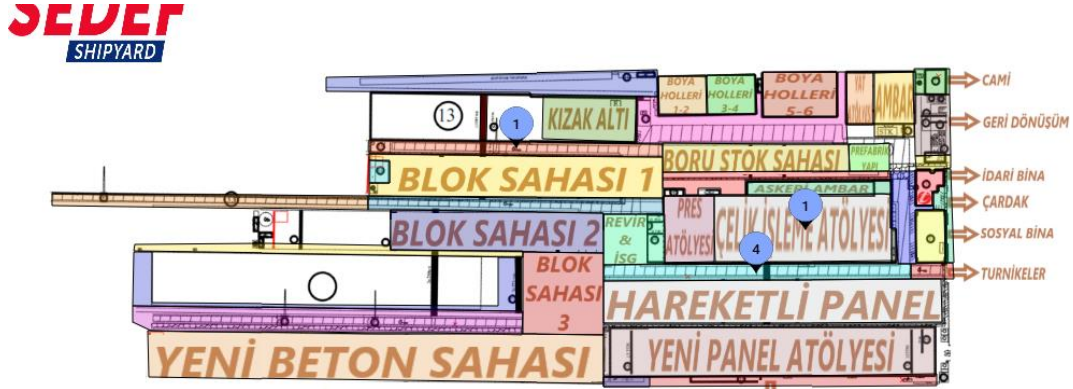


Şekil 3.7 Rezervasyon Planlama Ekranı

3.3.4 Canlı Harita ve Rota İzleme

Platformun en önemli bileşenlerinden biri olan “Canlı Takip” arayüzü ile araçların anlık konumları, geçmiş rotaları ve istasyonlar arası geçişleri vaziyet planı şeklindeki tersane haritası üzerinde izlenebilmektedir (Şekil 3.8). Sistem, Google Maps tabanlı dijital bir harita üzerinde istasyonları, görev alanlarını ve araç

hareketlerini detaylı biçimde görselleştirmektedir. Bu ise sistemin mekânsal görünürlüğünü arttırmaktadır.



Şekil 3.8 Canlı Takip Haritası

3.3.5 Konum Esaslı Giriş-Çıkış Analizi

Platform, belirli üretim noktalarına (örneğin: döküm hattı, kızak, iskele vs.) yapılan giriş ve çıkışları analiz eden bir modül de içermektedir (Şekil 3.9). Bu modül, ekipmanların hangi bölgelere hangi zamanlarda giriş yaptığı, ne kadar süre kaldığı gibi ayrıntıları raporlayarak süreç yoğunluğunu ölçmeye yardımcı olmaktadır.

ÜRETİM YOL 3 (ÇELİK İŞLEME YANI)

0

4

Mahale Git

Çıkış

Bu sütuna göre gruplamak için bir sütun başlığını buraya sürükleyin

Ara

Ekipman Adı	Lokasyon Adı	Süre	Giriş Zamanı	Çıkış Zamanı	Son Sinyal Zamanı
7 Ton F5 Forklift	ÜRETİM YOL 3 - 3	43dk 2sn	06.09.2024 04:16	06.09.2024 04:59	24.04.2025 16:07
4 Ton F1 Forklift	ÜRETİM YOL 3 - 3	8sa 59dk 11sn	05.09.2024 20:00	06.09.2024 04:59	24.04.2025 16:40
4 Tonluk Forklift F4	ÜRETİM YOL 3 - 3	11sa 28dk 41sn	05.09.2024 17:31	06.09.2024 04:59	24.04.2025 16:37
NewHolland Mavi Traktör	ÜRETİM YOL 3 - 3	32dk 36sn	06.09.2024 04:27	06.09.2024 04:59	24.04.2025 16:29

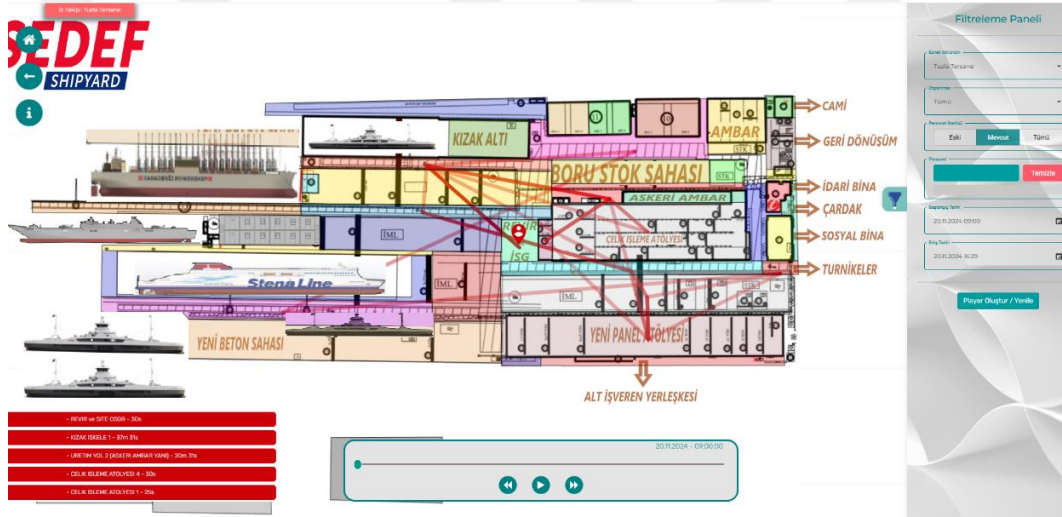
Şekil 3.9 Hareketli Araç Takip Listesi

3.3.6 Araç Hareketlerini Gösteren Karmaşık Akış (Spagetti) Haritası ve Nİ Sistem Özeti

Yukarıdaki tüm bu modüller, sahadan toplanan verilerin görsel olarak temsil edilmesini ve karar destek mekanizmaları için kullanılmasını sağlamaktadır. Platformun çok katmanlı filtreleme özelliği sayesinde; zaman aralıkları, kullanıcı bilgisi, araç tipi veya görev türü gibi ölçütlerle ayrıntılı veri analizi yapılabilmektedir. Elde edilen bu veriler, tez kapsamında önerilen Bulanık-TOPSIS karar modelinin yapılandırılması için temel girdi olarak kullanılmıştır.

Karmaşık akış haritaları (Spagetti haritaları) arasında günlük araç hareket yoğunlukları yer almaktadır (Şekil 3.10). Tüm bu harita türleri, tersane sahasındaki iş akışının görsel temsili yoluyla analiz edilmesine imkân tanımakta; darboğazların, fazla kullanılan rotaların ve düşük verimlilik gösteren bölgelerin saptanması için önemli karar destek araçları olarak kullanılmaktadır. Haritalar, hem anlık izleme hem de geçmişe dönük performans analizleri için kullanılabilir şekilde sistem tarafından dinamik ve canlı olarak üretilmektedir.

Ayrıca, bu görseller saha araçlarının konumlandırılmasını ve veri erişim bölgelerini değerlendirme açısından da kullanılmakta; saha içi sensör yerleşimlerinin etkinliğini görsel olarak doğrulamaktadır. Böylece hem işletme düzeyindeki hem altyapıya dair kararlar nesnel verilere dayandırılabilir.



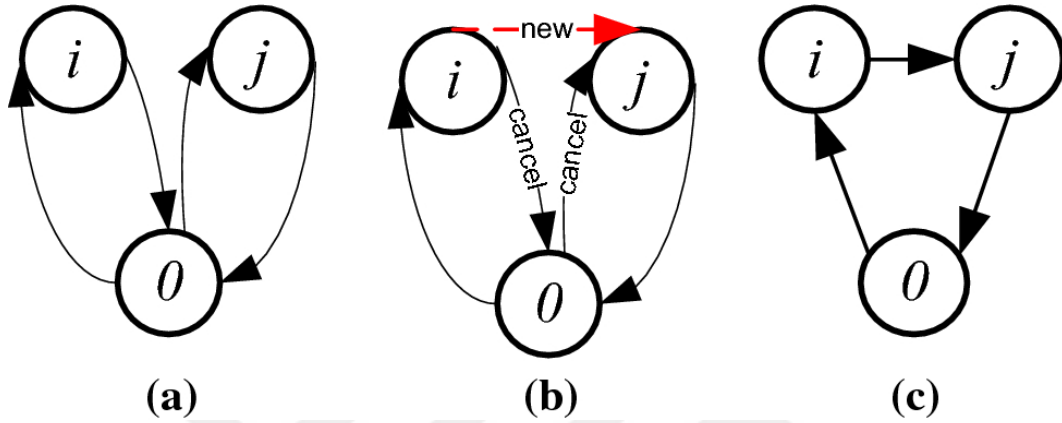
Şekil 3.10 Bir Günlük Spagetti Haritası

3.4 Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ile Rota Eniyilemesi

Clarke-Wright Tasarruf Algoritması, dağıtım ve toplama problemlerinde çok sayıda teslimat noktasını en az maliyetle dolaşmayı hedefleyen klasik bir araç rotalama algoritmasıdır [25], [26]. Bu sezgisel yöntem, özellikle büyük ölçekli taşıma ağlarında yakıt tüketimi, zaman kullanımı ve araç sayısının azaltılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, tersane sahasında görev yapan forklift ve traktör gibi araçların malzeme taşıma görevleri için bu algoritma kullanılmıştır.

3.4.1 Yöntemin Tanımı

Clarke-Wright algoritması Şekil 3.11 de görüldüğü üzere, her bir teslimat noktasının başlangıç noktası (depo) ile ayrı ayrı ziyaret edildiği bir başlangıç çözümünden yola çıkar. Daha sonra, iki farklı teslimat noktasının tek bir rotada birleştirilmesi durumunda sağlanacak tasarruf miktarlarını hesaplayarak, en fazla tasarruf sağlayan kombinasyonları öncelikli olarak birleştirir [27], [28].



Şekil 3.11 Temel Clarke-Wright Algoritma Şeması

Temel tasarruf formülü aşağıdaki gibidir:

$$S(i, j) = d(i, 0) + d(j, 0) - d(i, j) \quad (1)$$

Burada:

- $S(i, j)$: i ve j noktalarının aynı rota üzerinde birleştirilmesiyle sağlanacak tasarruf mesafesi (m)
- $d(i, 0)$: i noktasının depoya olan uzaklığı (m)
- $d(j, 0)$: j noktasının depoya olan uzaklığı (m)
- $d(i, j)$: i ve j arasındaki mesafe (m)

Elde edilen tüm $S(i, j)$ değerleri büyükten küçüğe sıralanır ve en yüksek tasarruf sağlayan eşleşmelerden başlayarak rotalar oluşturulur [29], [30].

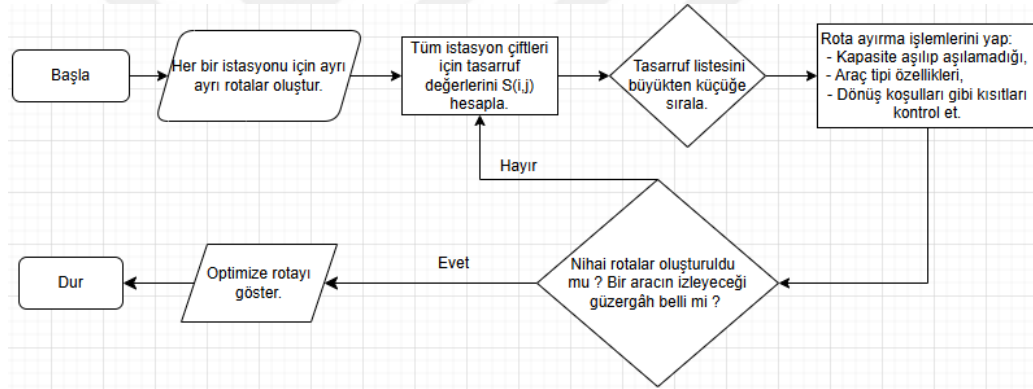
3.4.2 Tersane Uygulaması

Sedef Tersanesi sahası içerisinde tanımlı 107 istasyon ve bu istasyonlara bağlı görevli araçlar (4 forklift, 2 traktör) göz önüne alınarak algoritma uyarlanmıştır (Şekil 3.12). Başlangıç noktası olarak “Ambar” belirlenmiş, diğer istasyonlar malzeme taşıma noktaları olarak tanımlanmıştır.

Her istasyon çifti arasındaki mesafeler, sahadan toplanan gerçek değerlerle oluşturulmuş komşuluk matrisi üzerinden alınmıştır. Aynı zamanda, her aracın kapasite, yakıt tüketimi ve görev süresi gibi kısıtları algoritmaya dâhil edilmiştir.

Uygulamanın adımları aşağıda sıralanmıştır (Şekil 3.12):

1. Her bir istasyon için ayrı ayrı rotalar oluşturulur (örneğin: Ambar $\rightarrow$ Nokta $i \rightarrow$ Ambar).
2. Tüm istasyon çiftleri için tasarruf değerleri $S(i, j)$ hesaplanır.
3. Tasarruf listesi büyükten küçüğe sıralanır.
4. Rota birleştirme işlemleri yapılır:
 - Kapasite aşıp aşılmadığı,
 - Araç tipi uygunluğu,
 - Dönüş zorunluluğu gibi kısıtlar kontrol edilir.
5. Nihai rotalar oluşturulur ve her bir aracın izleyeceği rota belirlenir.



Şekil 3.12 Clarke-Wright Uygulama Akış Şeması

3.4.3 Clarke-Wright Tasarruf Algoritması Hesaplama Örneği

Bir forklift, Sedef Tersanesi'nde yer alan iki farklı istasyondan (1 ve 2) malzeme alımı gerçekleştirecek ve her seferde başlangıç noktası olan depo (0) konumuna dönmektedir.

Verilen mesafeler:

- $d(1,0) = 50\text{m}$, $d(2,0) = 60\text{m}$, $d(1,2) = 40\text{m}$

Bu durumda:

$$S(1,2) = 50 + 60 - 40 = 70\text{m}$$

Yani, 1 ve 2 noktalarını ayrı ayrı ziyaret etmek yerine, aynı rotaya alarak 70 birimlik mesafe tasarrufu sağlanır. Bu işlem, tüm istasyon çiftleri için yapılır ve en yüksek tasarrufu sağlayan çiftlerle rotalar oluşturulur.

3.5 Bulanık-TOPSIS Karar Modeli ve Uygulama Adımları

Bulanık-TOPSIS yöntemi, çok ölçütlü karar verme (ÇKKV) problemlerinde yaygın olarak kullanılan matematiksel temelli bir sıralama ve seçim yöntemidir. Klasik TOPSIS yaklaşımı, her bir seçeneğin pozitif ideal çözüme olan yakınlığını ve negatif ideal çözüme olan uzaklığını temel alarak bir tercih sıralaması oluşturur. Ancak bu yöntem, tüm ölçüt değerlerinin ve ağırlıklarının kesin ve sayısal biçimde ifade edilebildiği durumlarda etkili sonuçlar verir. Gerçek hayatta karşılaşılan birçok karar probleminde ise belirsizlik, öznel yargılar ve sözel ifadeler (örneğin “yüksek”, “orta”, “az”) karar sürecine dâhildir [23], [31]. Bu tür durumlarda klasik TOPSIS yöntemi karar verici yargılarındaki bulanıklığı yeterince temsil edemez.

Bulanık-TOPSIS yaklaşımı, klasik TOPSIS’in karar yapısına bulanık mantık sistemini ekleyerek belirsizlik ve belirsiz dilsel değerlendirmelerin modellenmesini mümkün kılar. Karar vericiler tarafından tanımlanan kavramsal yargılar, bulanık sayılar (üçgen veya yamuk bulanık sayılar) aracılığıyla matematiksel olarak ifade edilir. Böylece, nitel ve nicel ölçütlerin birlikte değerlendirilebildiği daha esnek ve gerçekçi bir karar süreci oluşturulur.

Bulanık-TOPSIS yöntemi özellikle çok sayıda ve farklı yapıda ölçütün dikkate alındığı durumlarda tercih edilir. Mesafe, maliyet, süre gibi ölçülebilir ölçütlerin yanı sıra “uygunluk”, “öncelik” veya “risk seviyesi” gibi değerlendirmelerin de bulunduğu problemlerde, klasik yöntemlerin ötesine geçerek daha güçlü bir analiz sağlar. Bu bağlamda, Bulanık-TOPSIS yalnızca bir seçenek yöntem değil; belirsizlik içeren, çok ölçütlü karar problemleri için bir gereklilik haline gelmektedir.

3.5.1 Problemin Tanımı

Tez kapsamında çözülmek istenen problem; tersane içerisinde, başlangıç ve hedef noktalar arasındaki rotalardan hangisinin taşıma aracı için en uygun olduğunun bulunmasıdır. Her bir rota, bir seçenek olarak tanımlanmış ve bu seçeneklerin

değerlendirilmesinde çok sayıda nicel ve nitel ölçüt dikkate alınmıştır. Problem, çok ölçütlü bir seçim ve sıralama problemi olarak modellenmiştir.

3.5.2 Karar Ölçütlerinin Belirlenmesi

Karar sürecinde kullanılan ölçütler, saha gözlemleri, geçmiş taşıma verileri ve sistem gereksinimleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu ölçütler aşağıda verilmiştir:

- Parça Adedi (K1): Taşınan yükün parça sayısı (adet)
- Parça Ağırlığı (K2): Yükün toplam ağırlığı (kg)
- Mesafe 1 (K3): Forklift ile malzeme arasındaki mesafe (m)
- Mesafe 2 (K4): Malzemeden hedef noktaya olan mesafe (m)
- Araç Tipi ve Tonaj (K5): Taşıma yapan aracın tipi (forklift/traktör) ve kapasitesi (ton)
- Yakıt Tüketimi (Litre/100m) (K6): Rota boyunca tüketilen ortalama yakıt (Litre/100m)

Bu ölçütler bazıları için maliyet (en aza indirilmek istenen kısım), bazıları için yarar (en büyük hale getirilmek istenen kısım) özelliği taşır. Örneğin yakıt tüketimi, zaman ve mesafe ölçütleri maliyet ölçütüdür; parça adedi ve tonaj gibi özellikler yarar ölçütüdür [32], [33].

3.5.3 Ağırlıkların Atanması

Her bir ölçütün karar üzerindeki etkisi eşit değildir. Bu nedenle ölçütler, uzman görüşleri ve geçmiş saha verileri doğrultusunda ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklar bulanık sayılar (örneğin üçgen bulanık sayılar) ile tanımlanmıştır [23]. Bu tez kapsamında kullanılan ölçütlerin ağırlıklandırılmasına yönelik olarak, tersane bünyesindeki farklı birimlerden uzman ekiplerle bir araya gelinmiş; üretim planlaması, projelerin öncelik durumu ve saha operasyonlarının gerçek ihtiyaçları dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Ağırlıklandırma toplantılarına Üretim Müdürlüğü, Planlama Müdürlüğü, Dizayn Müdürlüğü, Sistem Süreç Müdürlüğü, İş Geliştirme Müdürlüğü, Ar-Ge Müdürlüğü ve Depo Şefliği temsilcileri aktif olarak katılmıştır. Ağırlık belirleme süreci yalnızca bu amaçla düzenlenen toplantılar yoluyla yürütülmüş; toplantılarda, tez döneminde üretimi devam eden projelerin özgün ihtiyaçları ve iş yoğunlukları göz önünde bulundurularak karar verilmiştir.

Katılımcı grubu, farklı mühendislik disiplinlerinden ve sahadaki kıdemli uzmanlardan oluşmuştur: 6 adet kıdemli gemi inşa mühendisi, 3 adet kıdemli elektrik-elektronik mühendisi, 5 adet kıdemli endüstri mühendisi, 1 adet makina mühendisi ve 1 adet depo şefi bu süreçte görev almıştır. Toplantılar sonucunda belirlenen ağırlık değerleri üzerinde fikir birliğine varılmış ve sonuç ağırlıkları bu uzman grubunun ortak kararı (konsensüs sağlanması) ile oluşturulmuştur. Ayrıca başka bir teknik ağırlıklandırma yöntemine başvurulmamıştır.

Aşağıda (Tablo 3.1) örnek bir ağırlık atama tablosu verilmiştir [23]. (w_1 : alt sınır, w_2 : en olası değer, w_3 : üst sınır) :

Tablo 3.1 Örnek Ağırlık Atama Tablosu

Ölçüt	Ağırlık (w_1 ; w_2 ; w_3)
Parça Adedi (adet)	(0,3; 0,5; 0,7)
Parça Ağırlığı (kg)	(0,4; 0,6; 0,8)
Mesafe 1 (m)	(0,2; 0,4; 0,6)
Mesafe 2 (m)	(0,3; 0,5; 0,7)
Araç Tipine Göre Kapasite (ton)	(0,4; 0,6; 0,8)
Yakıt Tüketimi (Litre/100 m)	(0,5; 0,7; 0,9)

$$V_{ij} = R_{ij} w_{ij} \quad (2)$$

Formül (2), normalize edilmiş değerlerin (R_{ij}) ilgili ölçüt ağırlıkları (w_{ij}) ile çarpılmasıyla ağırlıklı karar matrisinin (V_{ij}) elde edilmesini göstermektedir.

Böylece her ölçütün karar sürecine etkisi, belirlenen önem derecelerine göre yansıtılmış olmaktadır.

3.5.4 Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Rotaların ölçütlere göre aldığı değerler, önce normalize edilir. Normalize etme işlemi, ölçütlerin farklı birim ve ölçeklerde olmasından kaynaklanan karşılaştırma

sorununu ortadan kaldırır [34]. Bulanık-TOPSIS'te normalize işlemi, bulanık sayılar üzerinden yapılır ve genellikle aşağıdaki formüller kullanılır. Buna göre seçenek i , ölçüt j için normalleştirilmiş karar matrisi değeri:

- Yarar ölçütleri için:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{maks}} \quad (3)$$

- Maliyet ölçütleri için:

$$r_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}} \quad (4)$$

Burada, x_{ij} , i . seçeneğine ilişkin j . ölçütün bulanık değeridir [23], [35].

3.5.5 Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Vektörlerinin Belirlenmesi

Bu adımda, her bir karar ölçütü için en iyi ve en kötü seçenek değerlerini içeren iki ayrı vektör tanımlanır. Burada geçen “vektör” terimi, çok ölçütlü karar matrisinde her bir ölçüt için ideal (en iyi) ve anti-ideal (en kötü) değerleri bir arada tutan dizi yapısını ifade etmektedir. Yani, karar matrisindeki seçeneklerin her biri bir noktayı temsil ederken, pozitif ve negatif ideal çözüm vektörleri bu noktaların referans alınacağı uç değerleri barındırır. Bu vektörler üzerinden seçeneklerin ideal çözümlere olan uzaklıkları hesaplanır ve nihai sıralama elde edilir.

Her ölçüt için pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözüm (NIS) belirlenir [35], [36], [37]:

- **PIS:** Her bir ölçüt için en büyük yarar veya en az maliyet olmak üzere, en iyi değeri temsil eder.
- **NIS:** Her bir ölçüt için en az yarar veya en büyük maliyet olmak üzere, en kötü değeri temsil eder.

Bu ideal çözümler, karar matrisindeki normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış bulanık değerler üzerinden belirlenir. Devamında, her seçeneğin bu iki vektöre olan uzaklığı hesaplanarak göreceli yakınlık değeri (C_i) elde edilir ve seçeneklerin sıralaması yapılır.

3.5.6 Göreli Yakınlık Hesaplamaları

Her seçenek için:

- Pozitif Uzaklık:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_j (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad (5)$$

- Negatif Uzaklık:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_j (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad (6)$$

Göreli yakınlık endeksi:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (7)$$

Burada C_i değeri 1'e ne kadar yakınsa, ilgili seçenek (rota) o kadar uygundur [23], [31], [34].

Her seçenek rota için hesaplanan C_i puanları, ilgili rotanın uygunluk seviyesini göstermektedir. En yüksek C_i puanına sahip rota, mesafe ve yakıt tüketimi gibi ölçütler açısından en uygun seçenek olarak belirlenmektedir. Bu yöntemin gerçekçi sonuçlar üretmesinin temel nedeni; yalnızca tek bir ölçüte değil, birden fazla ölçütü aynı anda dikkate alabilmesi ve belirsiz/veriye dayalı olmayan nitelikleri de modele katabilmesidir. Böylece, kararlar sadece sayısal mesafeye göre değil, sahada karşılaşılan karmaşık ve çok boyutlu koşullara göre verilebilmektedir. Sürdürülebilirlik açısından ise, yakıt tüketimi ve toplam taşıma mesafesinin eniyilenebilmesi sayesinde enerji verimliliği sağlanmakta; iş süresi ve araç kullanım yoğunluğu düşürülerek çevresel etkiler azaltılmaktadır. Bu yönüyle yöntem, çevresel ve işletim sürdürülebilirliği hedeflerine katkı sunmaktadır.

BİR AKILLI TERSANEDE ROTA ENİYİLEME UYGULAMASI

Bu bölümde, örnek uygulama olarak İstanbul'un Tuzla ilçesinde bulunan Sedef Tersanesindeki görev yapan taşıma araçlarının rota planlaması için hazırlanan algoritmaların çıktıları sunulmakta; araçlara ait performans verileri üzerinden analizler yapılmaktadır. Sedef Tersanesi yarım asrı aşkın geçmişiyle, bölgenin kıdemli gemi inşaatı firmalarından olup, aynı zamanda bünyesinde bir Ar-Ge Merkezi bulundurmaktadır. Geçen yıllarda Türk Silahlı Kuvvetleri envanterine kazandırılan TCG Anadolu gemisi de bu tersanede inşa edilerek denizle buluşturulmuştur.

Uygulamada öncelikle Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ile rota eniyilemesi gerçekleştirilmiş, ardından birçok ölçütlü karar verme yöntemi olan Bulanık-TOPSIS yöntemiyle saha işlerinin verimliliği değerlendirilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen çıktılar, yakıt tüketimi, mesafe, görev süresi ve görev verimliliği gibi ölçütler açısından karşılaştırılmıştır.

4.1 Clarke-Wright Tabanlı Rota Eniyileme Uygulaması

Sedef Tersanesi'nde görev yapan forklift ve traktör araçlarının rota eniyilemesi için Clarke-Wright Tasarruf Algoritması uygulanmıştır. Clarke-Wright algoritması, toplam mesafeyi azaltarak yakıt tüketimi ve iş süresini en aza indirmeyi hedefleyen sezgisel bir yöntemdir [25].

Tersane sahası içerisinde merkezi bir depo bulunmadığından, taşıma işlemleri sabit bir başlangıç noktasından değil, sahadaki çeşitli düğüm noktaları adı verilen yerler arasında gerçekleştirilmektedir. Bu durum, algoritmanın çok merkezli ve değişken görev atamaları içerecek şekilde uyarlanmasını gerektirmiştir. Her taşıma aracı için rota, araç kapasitesi, görev önceliği ve mesafe gibi değişkenler dikkate alınarak eniyilenmiştir.

Eniyileme sürecinde, Şekil 4.1’de sunulan ve aşağıda sıralanan 4 adet forklift ve 2 adet traktör değerlendirmeye alınmıştır:

- Forklift 1, 2 ve 4; 4 ton taşıma kapasiteli
- Forklift 5; 7 ton taşıma kapasiteli

Mavi ve Kırmızı Traktör; 15 ton taşıma kapasiteli araçlardır.



Şekil 4.1 Rota Eniyilemesi Yapılan Taşıtlar

Algoritmanın uygulanmasında başlangıç noktası olarak Ambar belirlenmiş ve toplam 12 görev noktası tanımlanmıştır. Her bir görev noktası için Ambar → Nokta → Ambar şeklinde başlangıç rotaları oluşturulmuş ve ardından yüksek tasarruf sağlayan eşleşmelere göre bu rotalar birleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, tersanede belirli günlerde elde edilen iş verileri esas alınarak görev noktaları, ortalama mesafeler ve yakıt katsayıları doğrultusunda Python programlama dili kullanılarak algoritma hazırlanmıştır [28]. İki düğüm arasındaki tasarruf değerini hesaplamak için denklem 1’in uyarlandığı, aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$S(i, j) = d(i, Ambar) + d(j, Ambar) - d(i, j) \quad (8)$$

Bu değerler sıralanarak uygun rotalar birleştirilmiş ve nihai rotalar oluşturulmuştur. Her araç için oluşan rota, ilgili noktaların Ambar’dan başlayıp yine Ambar’da sonlandığı (dönüş yapıldığı) şekilde eniyilenmiştir.

Eklerde algoritmanın Python dili ile geliştirilen uygulamasına ait örnek kod ve çıktı görseli sunulmuştur. Bunlar, Tablo 4.1’de gösterilen mesafe, yakıt ve görev sayısı bilgilerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Gerçek saha mesafelerine dayalı olarak oluşturulan ve Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ile eniyilenen rotalara ait araç başarımlar değeri Tablo 4.1’de sunulmaktadır. Ayrıca, aynı araçlara ait geleneksel yöntemle belirlenmiş rotalara ait değeri de tabloya eklenerek kıyaslamalı olanağı sunulmuştur.

Tablo 4.1 Geleneksel ve Clarke-Wright Algoritması Sonrası Rotalara Göre Araç Başarımlar Değeri

Araç	Yöntem	Toplam Mesafe (m)	Toplam Süre (dk)	Tahmini Yakıt (lt)	Tamamlanan Görev Sayısı
Forklift 1	Geleneksel	2215,4	42,7	18,45	9
Forklift 1	Eniyilenen	1850	36	15,2	
Forklift 2	Geleneksel	2093,2	39,8	17,15	8
Forklift 2	Eniyilenen	1730	33	14,1	
Forklift 4	Geleneksel	2412,6	45,2	19,85	10
Forklift 4	Eniyilenen	1925	37	16,3	
Forklift 5	Geleneksel	2587,9	47,6	22,9	11
Forklift 5	Eniyilenen	2100	40	19,0	
Mavi Trak	Geleneksel	3124,3	59,7	26,73	13
Mavi Trak	Eniyilenen	2650	52	22,5	
Kırmızı Trak	Geleneksel	3041,6	57,9	25,86	12
Kırmızı Trak	Eniyilenen	2580	49	21,7	

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, Clarke-Wright algoritması ile eniyilenen rotalar için, tüm araçlarda iyileşmeler sağlandığı anlaşılmaktadır. Geleneksel eniyileme yöntemi sonuçları araç türü ve ölçüt bazında kıyaslandığında önemli iyileşmede oranları bulunmuştur (Tablo 4.2). En büyük iyileşme Forklift4’de ortalama %18,7

olarak elde edilmiştir. Bu araçtaki iyileşme mesafe, süre ve yakıt tüketimi alanlarında da sırayla %20,2, %18,1, %17,9 olmak üzere ilk sıradadır. %15'in üzerinde olmakla beraber Forklift1'deki iyileşme en düşük düzeydedir. Bu değer ortalama %16,6'dır. Bu farkın temel nedeni, Forklift 1'in görev bölgelerinin dağınık olması ve rotalar arasında güçlü bağlantıların bulunmamasıdır. Özellikle Rıhtım Yolu 2, Ambar ve Boru Stok Sahası gibi kısa mesafeli ancak yön değişiminin fazla olduğu alanlarda, algoritma sınırlı tasarruf sağlayabilmiştir.

Buna karşılık, Forklift 4'ün görevleri birbirine yakın ve açık rotalarda yoğunlaştığı için, algoritma yüksek tasarruflu rota kümeleri oluşturabilmiştir. Bu da tüm ölçütlerde Forklift 4'ü en yüksek iyileşmenin sağlandığı araç hâline getirmiştir.

Traktörlerde ise, geniş görev alanları ve yüksek taşıma kapasiteleri sayesinde eniyilenen rotalar kayda değer yakıt ve mesafe tasarrufu sağlamıştır. Özellikle uzun mesafeli taşımalar yapan bu araçlarda, algoritmanın verimliliği daha belirgin şekilde ortaya çıkmıştır.

Bu iyileşmelerin sayısal karşılıkları ise aşağıda Tablo 4.2'de araç bazında yüzdesel oranlarla özetlenmiştir. Tablo, önceki değerlendirmeleri somut verilerle desteklemektedir.

Tablo 4.2 Taşıt Filosu İçin Araç Bazında İyileşmeler

Araç	Toplam Mesafe (m)	Toplam Süre (dk)	Tahmini Yakıt (lt)
Forklift 1	16,5%	15,7%	17,6%
Forklift 2	17,4%	17,1%	17,8%
Forklift 4	20,2%	18,1%	17,9%
Forklift 5	18,9%	16,0%	17,0%
Mavi Trak	15,2%	12,9%	15,8%
Kırmızı Trak	15,2%	15,4%	16,1%
Ortalama	17,1%	15,7%	16,9%

Taşıt gruplarının iyileşme düzeyleri yapılarına ve yaptıkları görevlere göre değişmektedir. Forkliftlerde iyileşme traktörlere göre daha fazla olup (Tablo 4.3) sırasıyla %17,5 ve %15,1 olarak gerçekleşmiştir. Bu farkın nedeni, forkliftlerin daha kısa mesafeli, tekrar eden ve birbirine yakın görevlerde kullanılmasıdır. Bu yapı, algoritmanın görevleri tek rotada birleştirme potansiyelini artmıştır. Traktörler ise genellikle geniş alana yayılmış, uzun mesafeli ve yüksek tonajlı görevlerde kullanıldığından, rota bütünleştirilmesi daha sınırlı kalmış; iyileşme oranı da buna bağlı olarak düşük gerçekleşmiştir. Ayrıca forkliftlerin yüksek manevra kabiliyeti, algoritmanın sunduğu rota seçeneklerini sahada daha verimli kullanmalarına imkân sağlamıştır.

Tablo 4.3 Araç Sınıflarına Göre Ortalama İyileşmeler

Araç	Toplam Mesafe (m)	Toplam Süre (dk)	Tahmini Yakıt (lt)
Forklift	18,3%	16,7%	17,6%
Traktör	15,2%	14,1%	16,0%

Özellikle forkliftler açısından bakıldığında geleneksel yöntemle 50-55 dakika olan görev süreleri, eniyilenen rotalar sayesinde ortalama 35–40 dakika aralığına kadar gerilediği ve %16'yı aşan mesafe tasarrufları sağlandığı tespit edilmiştir. Yakıt tüketiminde ise araçlara bağlı olarak %16–18 arasında değişen oranda verimlilik elde edilmiştir. Görev alanı daha uzun olan 7 ton kapasiteli Forklift 5'in, bu koşullara rağmen yaklaşık %17'lik yakıt tasarrufu sağlaması, algoritmanın yüksek tonajlı araçlarda da etkili olduğunu göstermektedir. Traktörler ise daha uzun ve ağır taşıma görevleri nedeniyle daha fazla mesafe kat etmiş olsalar da, eniyileme sayesinde toplam görev süresi ve yakıt tüketiminde %15'e varan azalmalar elde edilmiştir. Bu durum, Clarke-Wright algoritmasının hem kısa mesafeli forklift görevlerinde hem de geniş çaplı traktör işlerinde fayda sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, bir sonraki aşamada Bulanık-TOPSIS yöntemiyle yapılacak çok ölçütlü karar analizi için sayısal bir temel oluşturmakta; aynı zamanda saha işlerindeki verimliliğin iyileştirilmesi ve sürdürülebilirlik hedeflerinin desteklenmesi açısından önemli çıktılar sunmaktadır. Mesafe, süre ve

yakıt tüketimi alanlarında elde edilen iyileşme bulguları doğrultusunda, bu tez çalışmasının temel hipotezinin doğrulanmış olduğu söylenebilir.

4.2 Bulanık-TOPSIS ile Araç ve Rota Eşleştirme Karar Modeli

Bu bölümde, Sedef Tersanesi sahasında görev yapan mobil taşıma araçları için sadece rotaların değil, aynı zamanda görevlendirme yapılacak araçların da çok ölçütlü analizle seçilmesi hedeflenmiştir. Clarke-Wright algoritması ile rota havuzu oluşturulduktan sonra [25], bu rotaların hangi araçlar tarafından yürütülmesinin daha uygun olacağı Bulanık-TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiştir [23]. Böylece, sistem sadece “hangi rota daha verimli” değil, aynı zamanda “hangi araç o rotada görev almalı” sorularına da yanıt verecek şekilde yapılandırılmıştır.

Bu karar modeli, her bir aracın her bir rota üzerindeki performans potansiyelini değerlendirmekte ve tüm araç-rota eşleşmeleri için göreceli yakınlık puanları (C_i) üretmektedir. En yüksek puana sahip eşleşmeler, en uygun atamalar olarak belirlenmiştir.

4.2.1 Araç ve Rota Seçeneklerinin Tanımlanması

Bulanık-TOPSIS yönteminin uygulanmasında ilk adım, değerlendirmeye alınacak seçeneklerin doğru bir şekilde belirlenmesidir. Bu kapsamda, hem farklı özelliklere sahip araçlar hem de bu araçların görev alabileceği çeşitli rotalar inceleme kapsamına dâhil edilmiştir. Seçeneklerin çeşitliliği, karar sürecinde çok sayıda parametrenin birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmakta ve yöntemin uygulanabilirliğini artırmaktadır.

Toplamda 5 rota ve 6 araç dikkate alınmış olup, bunlar

- Forklift 1, 2 ve 4: 4 ton taşıma kapasiteli
- Forklift 5: 7 ton taşıma kapasiteli
- Mavi ve Kırmızı Traktör: 15 ton taşıma kapasiteli

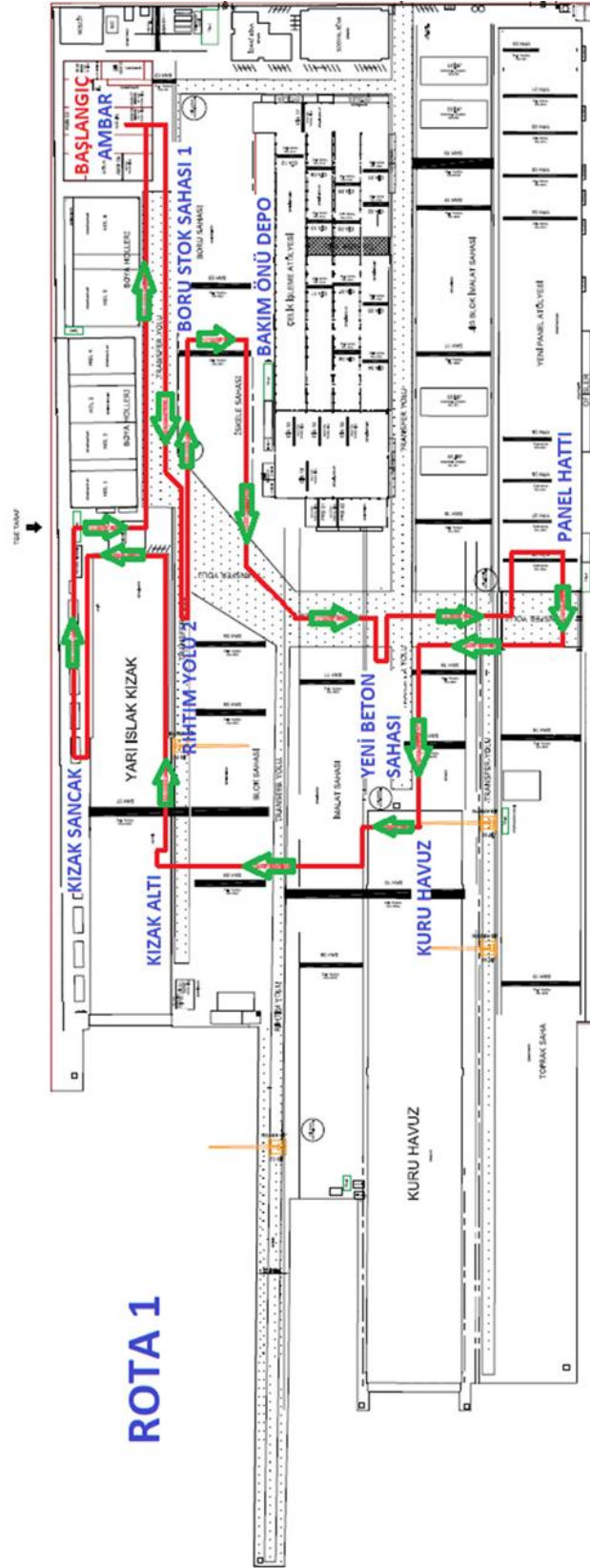
Bu tez çalışmasında Forklift 3 (F3) değerlendirme dışında bırakılmıştır. Bunun nedeni, F3’ün Sedef Tersanesi’ne bağlı Orhanlı Atölyesi sahasında görev yapıyor olmasıdır. Fakat bu çalışma, yalnızca Tuzla yerleşkesinde bulunan tersane sahasını esas almakta ve rota seçenekleri bu sınırlar içinde tanımlanmaktadır. Dolayısıyla

F3'ün görev sahası bu tezin uygulama alanına dâhil edilmemektedir ve bu nedenle inceleme kapsamı dışında tutulmuştur.

Her bir araç için aşağıdaki 5 rota seçeneği değerlendirilmiştir (Tablo 4.4 – Tablo 4.8). Ayrıca bulunan bu rotalar başlangıç noktasından itibaren yönlendirilmiş oklarla çizilmiştir (Şekil 4.2-Şekil 4.6). Her rota ilk başladığı görev yerinde bitecek biçimde tasarlanmıştır.

Tablo 4.4 Rota 1 Değerleri

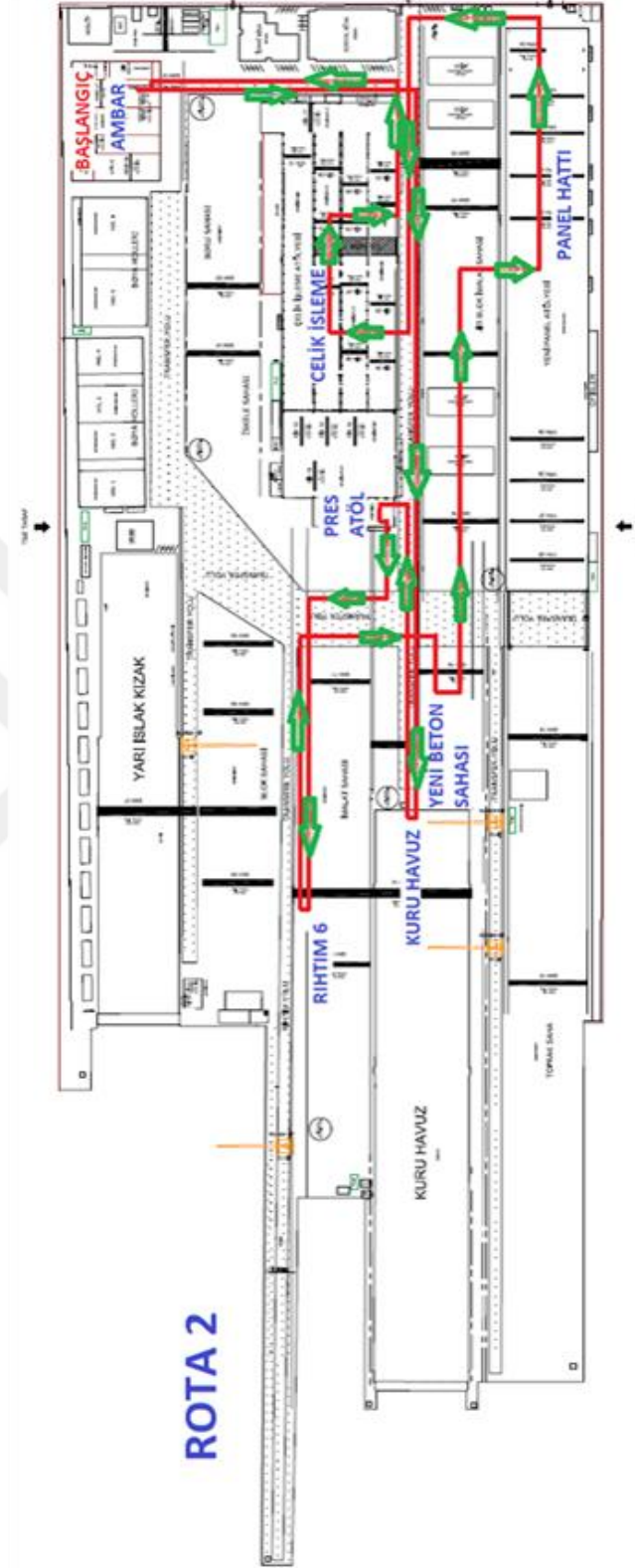
ROTA 1			
GÖREV ADI	Mesafe (m)	Süre (dk)	Tahmini Yakıt (lt)
Ambar → Rıhtım Yolu 2	578,8	11,6	4,91
Rıhtım Yolu 2 → Boru Stok Sahası	72,7	1,43	0,62
Boru Stok Sahası → Bakım Önü Depo	8,2	0,16	0,07
Bakım Önü Depo → Üretim Yolu 3-1	200	2,97	1,85
Üretim Yolu 3-1 → Yeni Beton Sahası 1	394	7,73	3,34
Yeni Beton Sahası 1 → Panel Hattı	186,6	2,7	1,74
Panel Hattı → Kuru Havuz	270,8	5,31	2,3
Kuru Havuz → Kızak Altı	360,8	9,00	2,76
Kızak Altı → Kızak Sancak	36,3	0,71	0,31
Kızak Sancak → Ambar	542	10,64	4,6



Şekil 4.2 Rota 1 Haritası

Tablo 4.5 Rota 2 Değerleri

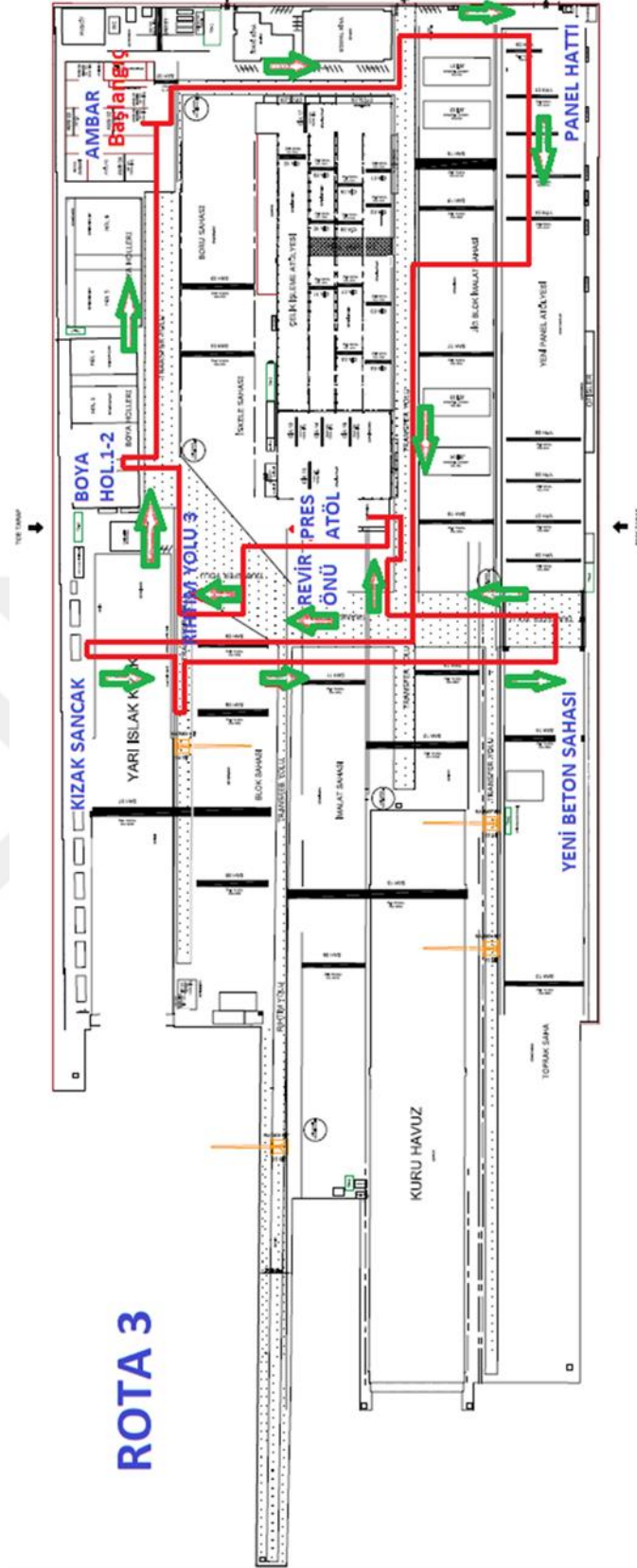
ROTA 2			
GÖREV ADI	Mesafe (m)	Süre (dk)	Tahmini Yakıt (lt)
Ambar → Kuru Havuz	354,57	6,76	2,89
Kuru Havuz → Pres Atölyesi	117,17	2,23	0,95
Pres Atölyesi → Rıhtım 6	189,14	3,61	1,54
Rıhtım 6 → Üretim Yolu 3-3	14,84	0,28	0,12
Üretim Yolu 3-3 → Yeni Beton Sahası	240,68	4,59	1,96
Yeni Beton Sahası → Panel Hattı	249,25	4,75	2,03
Panel Hattı → Çelik İşleme	249,63	4,76	2,03
Çelik İşleme → Ambar	314,71	6,01	2,57



Şekil 4.3 Rota 2 Haritası

Tablo 4.6 Rota 3 Değerleri

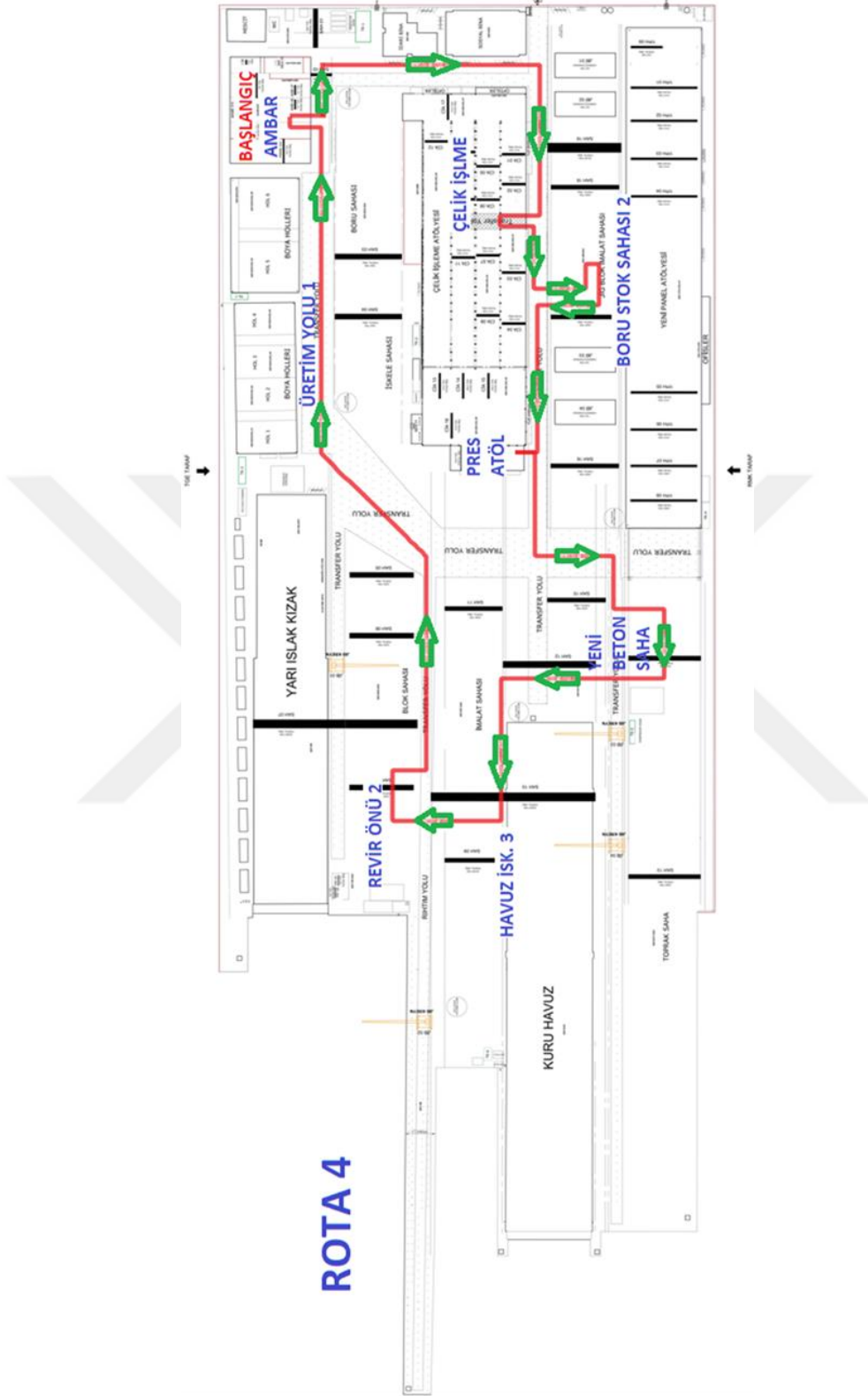
ROTA 3			
GÖREV ADI	Mesafe (m)	Süre (dk)	Tahmini Yakıt (lt)
Ambar → Panel Hattı	321,74	6,18	2,72
Panel Hattı → Kızak Sancak	182,07	3,5	1,54
Kızak Sancak → Rıhtım 6	323,62	6,22	2,74
Rıhtım 6 → Yeni Beton Sahası	237,82	4,57	2,01
Yeni Beton Sahası → Revir Önü	232,14	4,46	1,97
Revir Önü → Pres Atölyesi	71,89	1,38	0,61
Pres Atölyesi → Üretim Yolu 1-3	324,81	6,24	2,75
Üretim Yolu 1-3 → Rıhtım Yolu 3	2,07	0,04	0,02
Rıhtım Yolu 3 → Boya Holleri 1-2	84,17	1,62	0,71
Boya Holleri 1-2 → Ambar	144,67	2,79	1,23



Şekil 4.4 Rota 3 Haritası

Tablo 4.7 Rota 4 Değerleri

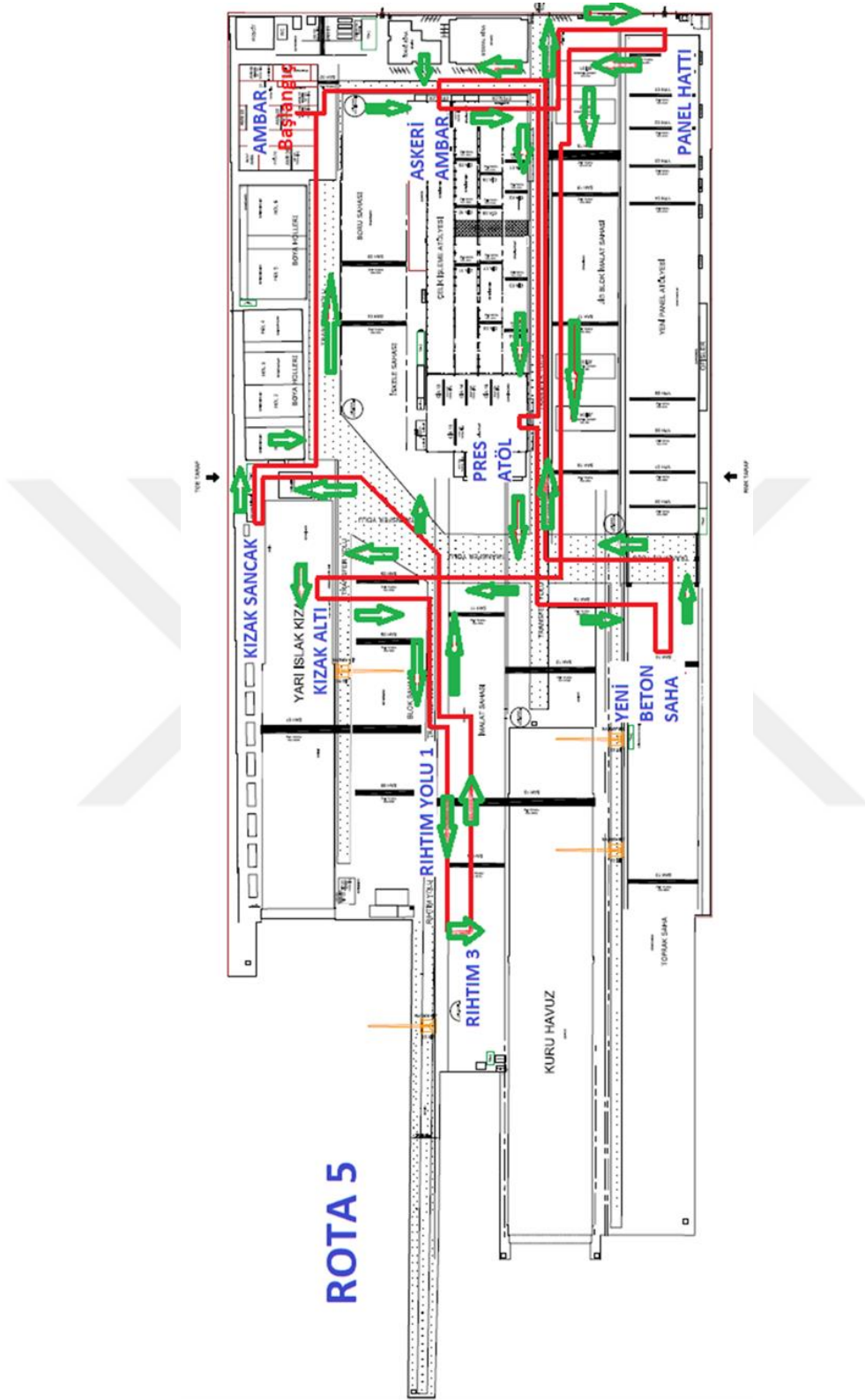
ROTA 4			
GÖREV ADI	Mesafe (m)	Süre (dk)	Tahmini Yakıt (lt)
Ambar → Çelik İşleme	197,88	3,61	1,88
Çelik İşleme → Boru Stok Sahası 2	199,61	4,47	1,67
Boru Stok Sahası 2 → Üretim Yolu 2-1	195,66	3,51	1,56
Üretim Yolu 2-1 → Pres Atölyesi	212,24	4,9	1,7
Pres Atölyesi → Yeni Beton Sahası 2-1	181,8	3,41	1,77
Yeni Beton Sahası 2-1 → Havuz İskele 3	104,41	2,69	0,64
Havuz İskele 3 → Revir Önü 2	106,34	3,18	0,74
Revir Önü 2 → Üretim Yolu 1	336,79	5,51	2,61
Üretim Yolu 1 → Ambar	315,27	4,93	2,63



Şekil 4.5 Rota 4 Haritası

Tablo 4.8 Rota 5 Değerleri

ROTA 5			
GÖREV ADI	Mesafe (m)	Süre (dk)	Tahmini Yakıt (lt)
Ambar → Pres Atölyesi	379,8	7,21	3,19
Pres Atölyesi → Üretim Yolu 1-3	158,5	2,11	1,49
Üretim Yolu 1-3 → Yeni Beton Sahası	295,5	4,71	2,64
Yeni Beton Sahası → Askeri Ambar	196,6	3,73	1,65
Askeri Ambar → Panel Hattı	160,4	3,05	1,35
Panel Hattı → Kızak Altı	459,8	9,63	3,71
Kızak Altı → Rıhtım Yolu 1	183,1	3,48	1,54
Rıhtım Yolu 1 → Rıhtım 3	105,8	1,11	1,05
Rıhtım 3 → Kızak Sancak	103,8	1,08	1,04
Kızak Sancak → Ambar	536,8	12,89	4,04



Şekil 4.6 Rota 5 Haritası

4.2.2 Bulanık-TOPSIS Karar Matrisi ve Ölçütler

Bulanık-TOPSIS yöntemi, seçeneklerin çok ölçütlü bir yapıda değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, karar matrisinin oluşturulabilmesi için her araç ve rota eşleşmesine ait çeşitli ölçütlerin sistematik olarak tanımlanması ve sayısal hale getirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, saha verileri ve iş geçmişi dikkate alınarak belirlenen ölçütler hem performans hem de uygunluk düzeyini çok yönlü olarak yansıtacak şekilde seçilmiştir.

Her bir araç-rota birleşimi için aşağıdaki ölçütler kullanılmıştır:

- K1: Parça Sayısı
- K2: Ortalama Ağırlık
- K3: Araç → Malzeme arası mesafe
- K4: Malzeme → Hedef arası mesafe
- K5: Araç Tipi ve Tonaj
- K6: Yakıt Tüketimi (Litre / 100 m)

Bu ölçütler, saha üzerinde yapılan ölçümler, sistem kayıtları ve kullanıcı geri bildirimleri ile birlikte değerlendirilmiş. Elde edilen veriler, Bulanık-TOPSIS yönteminin gereklilikleri doğrultusunda normalleştirilmiş; böylece ölçütlerin farklı ölçeklerdeki etkileri karşılaştırılabilir hâle getirilmiştir. Her bir ölçüt, karar vericilerin teknik tecrübelerini, saha yönetimini ve üretim planlama bakışını temsil edebilecek biçimde bulanık sayılar ile modellenmiştir. Bu modelleme sürecinde, ölçütlerin seçimi ve göreceli önem düzeylerinin belirlenmesi yalnızca bireysel sezgilere değil; tersane içerisindeki çok disiplinli uzman kadroların katılımıyla düzenlenen teknik toplantılara dayandırılmıştır. Bu kapsamda yürütülen ağırlıklandırma süreci ve uzman değerlendirmeleri, detaylı biçimde Bölüm 3.5.3'te Ağırlıkların Atanması başlığı altında açıklanmıştır. Söz konusu bölümde de belirtildiği üzere, üretimden planlamaya, tasarımdan iş geliştirmeye kadar farklı birimlerden uzman mühendislerin katılımıyla, sadece bu amaçla gerçekleştirilen toplantılarda ölçütler saha gereklilikleri, proje öncelikleri ve iş ihtiyaçları çerçevesinde değerlendirilmiş; belirlenen ağırlıklar bu teknik kadronun ortak kararıyla şekillendirilmiştir. Böylece sonuç karar matrisinde kullanılan bulanık

ağırlık değerleri, hem teknik geçerliliği hem de kurumsal gerçekliği yansıtan, sahaya özgü güçlü bir karar altyapısı oluşturmuştur.

4.2.3 Python Uygulaması ve Görelî Yakınlık Puanları

Python ile geliştirilen Bulanık-TOPSIS algoritması, her araç-rota ikilisi için görelî yakınlık puanlarını hesaplamıştır. EK 2’de Bulanık-TOPSIS kod uygulaması ile araç-rota karar puanlarının hesaplanması görseli verilmiştir.

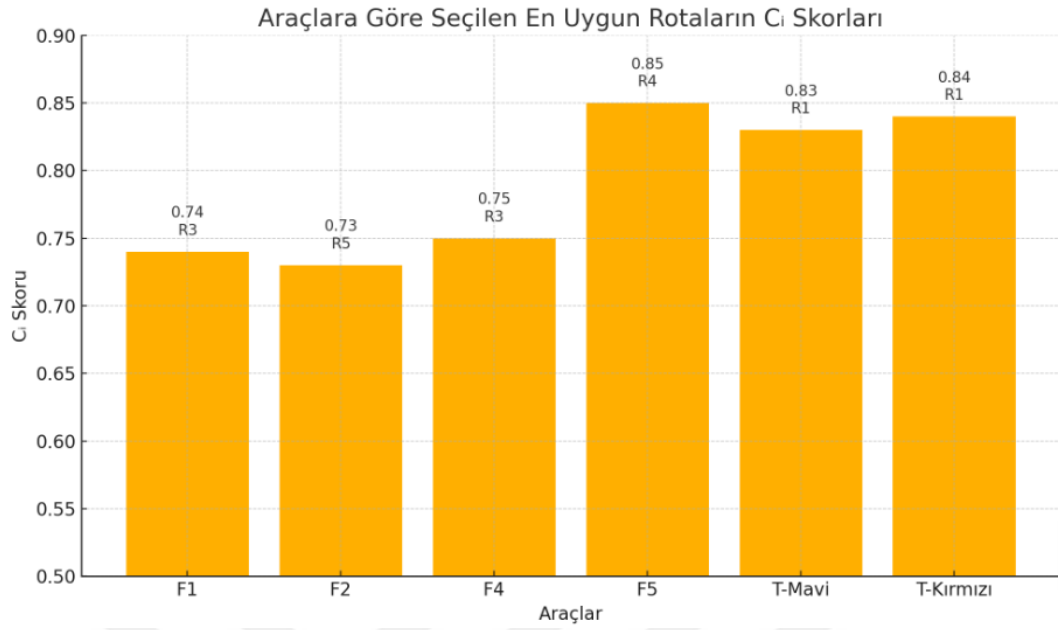
4.2.4 Araç-Rota Eşleşmelerine Ait Görelî Yakınlık Puanları

Bulanık-TOPSIS yöntemiyle yapılan değerlendirmeler sonucunda, her araç için tanımlanan beş rota seçeneğine ait görelî yakınlık (C_i) skorları hesaplanmıştır (Tablo 4.9, Şekil 4.7-Şekil 4.8). Bu puanlar, her seçeneğin pozitif ideal çözüme olan yakınlığını ve negatif ideal çözüme olan uzaklığını dikkate alarak elde edilmiştir. Puanlar 0 ile 1 arasında değer almakta olup, 1’e yaklaştıkça ilgili araç-rota eşleşmesinin tercih edilebilirliği artmaktadır. Her araç için en yüksek puana sahip en uygun rota eşleşmesi de Tablo 4.9’de verilmiştir.

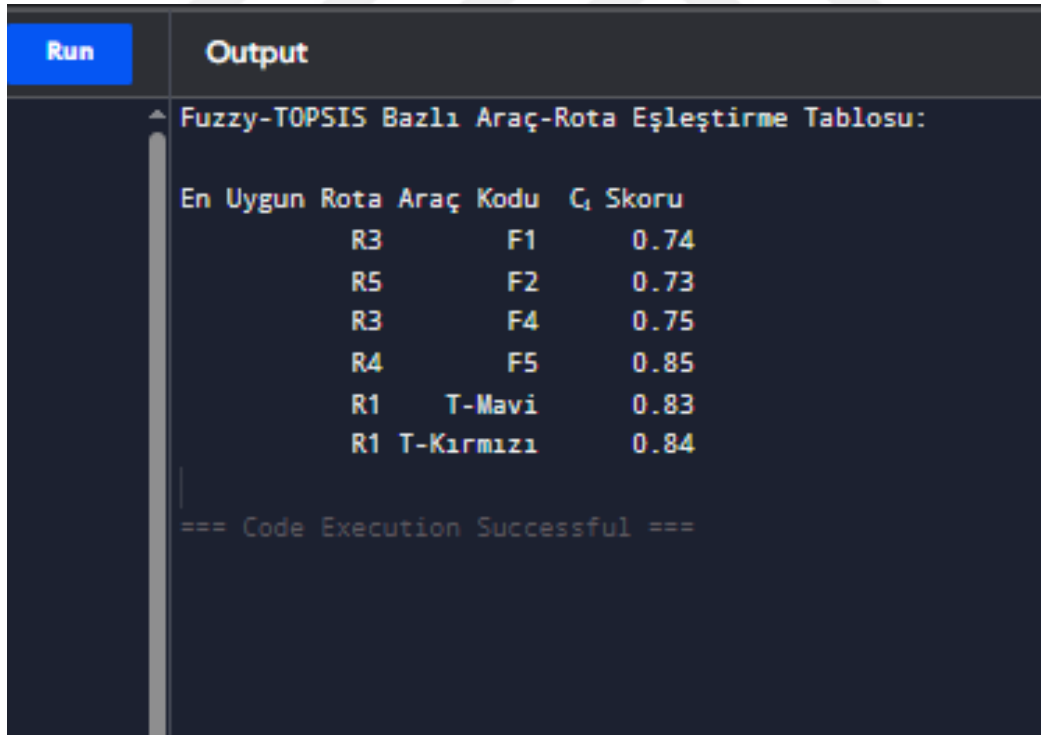
Tablo 4.9’de verilen, her bir araç için beş rota seçeneğine ait görelî yakınlık (C_i) sonuçları, normalleştirilmiş karar matrisine ve ölçüt ağırlıklarına (Bkz. Bölüm 3.5.3 – Tablo 3.5.3) dayalı olarak Python ortamında geliştirilen algoritma ile elde edilmiştir (Ek 2).

Tablo 4.9 Görelî Yakınlık Puanı (C_i) Tablosu

Araç/Rota	R1	R2	R3	R4	R5	En Yüksek C_i
F1	0,58	0,66	0,74	0,72	0,69	R3
F2	0,61	0,64	0,71	0,68	0,73	R5
F4	0,60	0,67	0,75	0,70	0,68	R3
F5	0,72	0,81	0,74	0,85	0,77	R4
T-Mavi	0,83	0,79	0,78	0,82	0,80	R1
T-Kırmızı	0,84	0,82	0,79	0,83	0,81	R1



Şekil 4.7 Araçlara Göre Seçilen En Uygun Rotaların C_i Puanları



Şekil 4.8 Python Arayüzünde C_i Puan Değerleri

4.2.5 Araç-Rota Eşleştirmesi Üzerine Çok Ölçütlü Karar Destek Değerlendirmesi

Bu çalışmada Clarke-Wright algoritması kullanılarak tersane içi görev noktaları arasındaki toplam taşıma mesafesi minimize edilmiş ve buna bağlı olarak ilk rota kümeleri oluşturulmuştur. Ardından Bulanık-TOPSIS yöntemi ile her bir rota için en uygun taşıma aracı; parça sayısı, parça ağırlığı, mesafe, yakıt tüketimi ve araç kapasitesi gibi ölçütler dikkate alınarak çok ölçütlü biçimde atanmıştır.

Uygulama sonucunda; örneğin R4 rotası için 7 tonluk forklift (Forklift 5) en yüksek C_i puanını (0,85) alarak en uygun taşıma aracı olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, yüksek hacimli görevler içeren rotalarda traktör tipi araçlar daha verimli eşleşmeler sunmuş, küçük görev kümelerinde ise düşük tonajlı forkliftler ön plana çıkmıştır.

Bu eşleştirmeler, saha içi iş verileriyle örtüşen anlamlı sonuçlar vermiş; hem rota hem de araç seçimi açısından karar sürecinin sayısallaştırılmasını sağlamıştır. Böylece sadece rota değil, görev-arac ilişkisi de eniyileme süreciyle bütünleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen modelin en dikkat çekici yönlerinden biri, Clarke-Wright algoritmasının klasik uygulamalarının ötesine geçerek sahaya özgü çok ölçütlü karar destek verileriyle bütünleştirilmesidir. Literatürde Clarke-Wright algoritması genellikle tek kriterli (çoğunlukla mesafe) eniyileme problemlerinde uygulanmış, taşıma süresi veya yük tipi gibi diğer işletim değişkenleri çoğu zaman göz ardı edilmiştir [25], [38]. Oysa bu tezde, özellikle karmaşık üretim ve taşıma ağlarına sahip bir sahada (Sedef Tersanesi gibi) algoritmanın çok ölçütlü karar yapısıyla bütünleştirilmesi özgün bir katkı sunmuştur.

Bulanık-TOPSIS yöntemi de benzer şekilde özgün biçimde modellenmiştir. Literatürdeki birçok çalışmada Bulanık-TOPSIS genellikle tedarik zinciri, malzeme tedarikçisi seçimi ya da üretim planlama gibi daha makro düzeyde karar destek sistemlerinde kullanılmıştır [23]. Bu tezde ise yöntem, mikro düzeyde, sahadaki mobil araçların (forklift ve traktörlerin) görev tabanlı rota eşleşmelerine uygulanmış ve bu yönüyle hem literatürdeki hem de sektördeki uygulamalardan ayrılmıştır. Ayrıca, ölçüt seti yalnızca teorik parametrelerle sınırlı kalmamış; yakıt tüketimi, görev uzunluğu, taşıma tipi ve saha içi konum verileri gibi Nİ tabanlı gerçek zamanlı değişkenleri de kapsayacak şekilde genişletilmiştir.

Bu bağlamda, yapılan çok ölçütlü değerlendirmelerde sadece rotaların değil, aynı zamanda taşıyıcı araç tiplerinin de karar sürecine eklenmesi, klasik Bulanık-TOPSIS uygulamalarına göre sahaya daha bütünlük ve uygulama odaklı bir model sunmaktadır. Bu durum, karar vericilerin sadece rotayı değil, aynı zamanda göreve en uygun aracı da seçebilmesine olanak tanımıştır. Örneğin, aynı görev kümesine ait farklı ağırlık ve uzaklıktaki yüklerin, 4 tonluk forklift yerine 7 tonluk forklift ya da traktör ile taşınmasının C_i puanlarına etkisi doğrudan analiz edilmiştir.

Tez kapsamında önerilen modelin güçlü yönleri arasında şu noktalar öne çıkmaktadır:

- **Gerçek zamanlı veri kullanımı:** Nİ tabanlı konum verileri, görev süresi ölçümleri ve yakıt tüketim analizleri, karar sistemini gerçek saha koşullarına duyarlı hale gelmiştir.
- **Görev-araç eşleştirmesinin sayısallaştırılması:** Literatürde çoğu zaman sezgisel yapılan bu eşleştirme, burada çok ölçütlü ve bulanık mantık tabanlı karar modeliyle yapılandırılmıştır.
- **Geleneksel yöntemlerle karşılaştırma:** Hem geleneksel rota planlaması hem de Bulanık-TOPSIS çıktıları beraberce değerlendirilerek modelin sağladığı iyileştirme oranları açık bir şekilde ortaya konmuştur.

Bu kapsamda literatürde öne çıkan çalışmalardan biri Toklu (2022) tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu araştırmada, insani yardım dağıtımı bağlamında interval type-2 Bulanık TOPSIS tabanlı Clarke-Wright algoritmasını kullanılarak, trafik, güvenlik ve yol durumu gibi dışsal risk unsurlarını modellenmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem, “yüksek belirsizlik modelleme kabiliyeti” nedeniyle yüksek hesaplama karmaşıklığı taşımakta ve saha entegrasyonu açısından sınırlı kalabilmektedir. Bu tez çalışmasında ise, üçgen bulanık sayılar kullanılarak daha sade ve hızlı işlenebilir bir yapı geliştirilmiş; Nİ tabanlı sensörlerden elde edilen gerçek zamanlı verilerle beslenen, anlık saha koşullarına duyarlı ve uygulamaya dönük bir karar destek modeli ortaya konmuştur. Bunun yanında, görev–araç eşleştirmesi literatürde yaygın olduğu üzere sezgisel biçimde değil, çok ölçütlü bulanık mantık tabanlı yapı ile sayısallaştırılmış; böylece karar süreci nesnel, tekrarlanabilir ve şeffaf hale getirilmiştir. Ayrıca, bu tezde önerilen model hem geleneksel rota planlama yöntemleri hem de Bulanık-TOPSIS çıktılarıyla karşılaştırılarak, sağladığı iyileştirme oranları nicel olarak ortaya konmuş; bu yönüyle modelin pratik üstünlüğü doğrudan kanıtlanmıştır. Dolayısıyla çalışma, Toklu (2022)’nin teorik açıdan güçlü yaklaşımını saha gerçekleriyle bütünleştirerek literatüre özgün, uygulanabilir ve esnek bir seçenek sunmaktadır.

Bu çalışma, endüstriyel lojistik sahalarında karşılaşılan çok değişkenli taşıma ve görev planlama sorunlarına yönelik sistematik ve veri temelli bir çözüm önermektedir. Özellikle rota belirleme ve araç-görev eşleştirme süreçlerinde eniyileme ve çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarının bir arada değerlendirilmesi, iş süreçlerinin daha verimli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına imkân olanak tanımaktadır. Kullanılan yöntemler, geleneksel deneyim esaslı planlamaların ötesine geçerek daha nesnel, ölçülebilir ve yeniden üretilebilir sonuçlar sunmuştur.

Çalışma kapsamında, rota planlamasında Clarke-Wright Tasarruf Algoritması kullanılmış; sonrasında Bulanık-TOPSIS yöntemi ile araç ve rota eşleşmeleri, yakıt tüketimi, taşıma mesafesi, parça sayısı, ortalama yük ağırlığı ve araç tonajı gibi ölçütler doğrultusunda eniyilenmiştir. Bu iki yöntemin bütünlük biçimde uygulanması, benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında literatürde yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Araç tipine ve görev niteliğine özel çözümler üretilmiş; böylece aynı rotanın farklı araçlarla nasıl değişen verimler sunduğu ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, incelenen bütün taşıt filosu dikkate alındığında, taşıma mesafelerinde ortalama %17,1 kısalma; toplam sürelerde ortalama %15,7 azalma; yakıt tüketiminde ortalama %16,9 oranında tasarruf sağlandığını ortaya koymaktadır. Araç türü özelinde ise forkliftlerdeki iyileşme oranları ortalama olarak traktörlere göre daha ileri (sırayla %17,5'a karşılık %15,1) seviyededir. Mesafe, süre ve yakıt tüketimi alanlarında elde edilen iyileşme bulgularıyla, bu tezin temel hipotezinin doğrulanmış olduğu söylenebilir.

Bu kazanımlar sadece tersanedeki iş süreçleriyle ilgili değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemlidir. Daha kısa mesafeler ve daha uygun araç eşleşmeleri, karbon salımını doğrudan etkileyen faktörleri iyileştirmiştir. Bu yönüyle geliştirilen model, sadece performans artışı değil, aynı zamanda iklim dostu üretim süreçlerine katkı sağlayan stratejik bir araç haline gelmiştir.

Çalışmada kullanılan Nİ tabanlı altyapı sayesinde, karar süreçleri gerçek zamanlı verilere dayandırılmış, böylece saha koşullarına uyum sağlayan dinamik ve canlı bir planlama sistemi elde edilmiştir. Söz konusu yapı, gelecekte yapay zekâ destekli tahmin algoritmaları, dijital ikiz sistemleri ve merkezi iş yönetim platformları ile bütünleştirilebilecek potansiyele sahiptir. Bu açıdan bakıldığında çalışma, sadece belirli bir probleme çözüm üretmenin ötesine geçmiş, genişletilebilir bir karar destek sistemi sunmuştur.

Bu modelin uygulandığı saha örneği olarak Sedef Tersanesi, çalışmanın teoriden uygulamaya dönüşen en güçlü yönünü temsil etmektedir. Gerçek iş süreci verileriyle beslenen sistem, sahadaki taşıma performansını artırmakla kalmamış, aynı zamanda iş gücü planlaması, kaynak tahsisi ve zaman yönetimi gibi önemli başlıklarda da faydalar sağlamıştır. Geliştirilen yapının, tersane gibi geniş ve çok düğümlü üretim alanlarında yaygınlaştırılması mümkün olup, benzer sektörlerde de örnek teşkil edebilecek niteliktedir.

Gelecek çalışmalarda, bu modelin farklı tersane sahalarına veya üretim tesislerine uyarlanarak genişletilmesi, kullanıcı etkileşimli arayüzlerle desteklenerek görsel karar panelleri haline getirilmesi ve makine öğrenmesi algoritmalarıyla desteklenerek iş örüntülerini tanıyan ve bu doğrultuda öngörüye dayalı kararlar alabilen bir yapıya dönüşmesi mümkündür.

- [1] Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233–2243.
- [2] Y. Okubo and T. Mitsuyuki, “Ship Production Planning Using Shipbuilding System Modeling and Discrete Time Process Simulation,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, no. 2, p. 176, 2022, doi: 10.3390/jmse10020176.
- [3] M. Wingrove, “Samsung unveils AI IoT technology for ships,” *Riviera Maritime Media*, 15 Jan. 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/samsung-unveils-ai-iot-technology-for-ships-83519>.
- [4] Meyer Werft, “Meyer Werft setzt auf Industrie 4.0,” Meyer Werft Resmi Sitesi, 14 Aralık 2015. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.meyerwerft.de/de/presse/presse_detail/meyer_werft_setzt_auf_industrie_4.0.jsp.
- [5] C. Kahraman, U. Cebeci, and Z. Ulukan, “Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP,” *Logistics Information Management*, vol. 16, no. 6, pp. 382–394, 2003, doi: 10.1108/09576050310503367.
- [6] Y. Lu, “Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues,” *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 6, pp. 1–10, 2017, doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005.
- [7] J. Lee, H. Kao, and S. Yang, “Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment,” *Procedia CIRP*, vol. 16, pp. 3–8, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.02.001.
- [8] L. Zhao, Z. Yin, K. Yu, X. Tang, L. Xu, Z. Guo, and P. Nehra, “A fuzzy logic-based intelligent multiattribute routing scheme for two-layered SDVNs,” *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 19, no. 4, pp. 4189–4200, Dec. 2022, doi: 10.1109/TNSM.2022.3202741.
- [9] K.-M. Björk and J. Mezei, “A fuzzy MILP-model for the optimization of vehicle routing problem,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 3, pp. 1349–1361, 2014, doi: 10.3233/IFS-130821.
- [10] R. D. Tordecilla, L. do C. Martins, J. Panadero, P. J. Copado, E. Pérez Bernabeu, and Á. A. Juan, “Fuzzy simheuristics for optimizing transportation systems: Dealing with stochastic and fuzzy uncertainty,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 17, p. 7950, Aug. 2021, doi: 10.3390/app11177950.
- [11] DNV and Samsung Heavy Industries, “DNV and Samsung Heavy Industries collaborate on Remote Operation Centre for autonomous ships project,” Oct. 27, 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.dnv.com/news/dnv-and-samsung-heavy-industries-collaborate-on-remote-operation-centre-for-autonomous-ships-project-248867>.

- [12] İ. Çil, F. Arısoy, E. Özgürbüz, A. Y. Çil, and H. Kılınç, "Indoor positioning technology selection using a combined AHP and PROMETHEE method at SEDEF Shipyard," *Journal of ETA Maritime Science*, vol. 10, no. 2, pp. 108–123, 2022, doi: 10.4274/jems.2022.47550.
- [13] B. Baker, J. Woods, M. J. Reed, and M. Afford, "A survey of short-range wireless communication for ultra-low-power embedded systems," *J. Low Power Electron. Appl.*, vol. 14, no. 2, p. 27, May 2024, doi: 10.3390/jlpea14020027.
- [14] M. Palaniappan, P. Senthil, and A. Noorul Haq, "Multi-criteria group decision making for the third party reverse logistics service provider in the supply chain model using Fuzzy TOPSIS for transportation services," *Int. J. Serv. Technol. Manag.*, vol. 11, no. 2, pp. 162–181, 2009, doi: 10.1504/IJSTM.2009.022523.
- [15] S. Büyüközkan and G. Çifçi, "A novel fuzzy multi criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information," *Computers in Industry*, vol. 62, no. 2, pp. 164–174, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.compind.2010.10.009.
- [16] H. M. Lotfi, M. R. Fellahnejad, and N. Nouri, "Integrated VIKOR–AHP–Fuzzy model for supplier selection in supply chain management," *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, vol. 13, pp. 81–90, 2013.
- [17] J. Park, S. Kim, and K. Lee, "Real-time adaptive routing for logistics vehicles using IoT and machine learning," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 2345–2356, Mar. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2961234.
- [18] E. Duymaz, A. E. Oğuz, and H. Temeltaş, "Exact flow of particles using for state estimations in unmanned aerial systems' navigation," *PLoS ONE*, vol. 15, no. 4, p. e0231412, Apr. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0231412.
- [19] H. Paksoy, G. Kochan, and S. Ali, *Logistics 4.0: Digital Transformation of Supply Chain Management*. CRC Press, 2020.
- [20] S. Mejjaoui, "Internet of Things based Decision Support System for Green Logistics," *Sustainability*, vol. 14, no. 22, p. 14756, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142214756.
- [21] S. Wang, X. Wang, X. Liu, and J. Yu, "A bi-objective vehicle-routing problem with soft time windows and multiple depots to minimize the total energy consumption and customer dissatisfaction," *Sustainability*, vol. 10, no. 11, p. 4257, Nov. 2018, doi: 10.3390/su10114257.
- [22] M. C. Toklu, "A fuzzy multi-criteria approach based on Clarke and Wright savings algorithm for vehicle routing problem in humanitarian aid distribution," *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10845-022-01987-1>.
- [23] C.-T. Chen, "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 114, no. 1, pp. 1–9, Aug. 2000, doi: 10.1016/S0165-0114(97)00377-1.
- [24] N. Özkurt, H. Kılınç, E. Özgürbüz, and H. H. Erkan, "A real-time accurate positioning system using BLE and wireless mesh network in a shipyard

- environment,” *Int. Adv. Res. Eng. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 154–160, Aug. 2022, doi: 10.35860/iarej.1018524.
- [25] G. Clarke and J. W. Wright, “Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points,” *Operations Research*, vol. 12, no. 4, pp. 568–581, 1964.
- [26] M. Solomon, “Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints,” *Operations Research*, vol. 35, no. 2, pp. 254–265, Mar.–Apr. 1987, doi: 10.1287/opre.35.2.254.
- [27] P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia, PA, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2002, pp. 45–70.
- [28] G. Laporte, “The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms,” *European Journal of Operational Research*, vol. 59, no. 3, pp. 345–358, Jun. 1992, doi: 10.1016/0377-2217(92)90192-C.
- [29] B. L. Golden, S. Raghavan, and E. A. Wasil, *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Boston, MA, USA: Springer, 2008, doi: 10.1007/978-0-387-77778-8.
- [30] T. Vidal, T. G. Crainic, M. Gendreau, and C. Prins, “A Unified Solution Framework for Multi-Attribute Vehicle Routing Problems,” *European Journal of Operational Research*, vol. 234, no. 3, pp. 658–673, May 2014, doi: 10.1016/j.ejor.2013.09.045.
- [31] C.-L. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1981.
- [32] S. Opricovic and G.-H. Tzeng, “Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS,” *European Journal of Operational Research*, vol. 156, no. 2, pp. 445–455, Jul. 2004, doi: 10.1016/S0377-2217(03)00020-1.
- [33] C. Kahraman, N. Y. Ateş, S. Çevik, and M. Gülbay, “Fuzzy multi-attribute cost–benefit analysis of e-services,” *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 22, no. 5, pp. 547–565, May 2007, doi: 10.1002/int.20235.
- [34] D. Kacprzak, “Fuzzy TOPSIS method for group decision making,” *Multiple Criteria Decision Making*, vol. 13, pp. 109–123, May 2019, doi: 10.22367/mcdm.2018.13.07.
- [35] I. Mahdavi, N. Mahdavi-Amiri, A. Heidarzadeh, and R. Nourifar, “Designing a model of fuzzy TOPSIS in multiple criteria decision making,” *Appl. Math. Comput.*, vol. 206, no. 2, pp. 607–617, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.amc.2008.08.003.
- [36] K. M. Yoon and C.-L. Hwang, *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*, Sage Publications, 1995.
- [37] H. Z. Matin, M. R. Fathi, M. K. Zarchi, and S. Azizollahi, “The application of fuzzy TOPSIS approach to personnel selection for Padir Company, Iran,” *J. Manag. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–13, 2011, doi: 10.5296/jmr.v3i2.682.

- [38] W. Ho and G. T. S. Ho, “The integration of AHP and GPS in a route optimization system for large-scale delivery operations,” *Expert Systems with Applications*, vol. 34, no. 4, pp. 2432–2441, 2008, doi: 10.1016/j.eswa.2007.04.019.



A

PYHTON KODLARI VE BULANIK-TOPSIS ÇÖZÜM ADIMLARI ÖRNEĞİ

```
import numpy as np
import pandas as pd
from itertools import combinations

points = [
    'Ambar',
    'LS X1',
    'LS X2',
    'LS X3',
    'LS X4',
    'LS X5',
    'LS X6',
    'LS X7',
    'LS X8',
    'LS X9',
    'LS X10',
    'LS X11',
    'LS X12'
]

n_points = len(points)
np.random.seed(42)
dist_matrix = np.random.randint(10, 100, size=(n_points, n_points))
np.fill_diagonal(dist_matrix, 0)
dist_matrix = (dist_matrix + dist_matrix.T) // 2

savings = []
for i, j in combinations(range(1, n_points), 2):
    d_0i = dist_matrix[0, i]
    d_0j = dist_matrix[0, j]
    d_ij = dist_matrix[i, j]
    save = d_0i + d_0j - d_ij
    savings.append((points[i], points[j], save))

routes = {pt: ['Ambar', pt, 'Ambar'] for pt in points[1:]}

for a, b, _ in sorted(savings, key=lambda x: -x[2]):
    route_a = routes.get(a)
    route_b = routes.get(b)
    if route_a and route_b and route_a != route_b:
        if route_a[-2] == a and route_b[1] == b:
            new_route = route_a[:-1] + route_b[1:]
            if len(set(new_route)) == len(new_route):
                for pt in new_route[1:-1]:
                    routes[pt] = new_route
        s

final_routes = []
seen = set()
for r in routes.values():
    key = tuple(r)
    if key not in seen:
        seen.add(key)
        final_routes.append(r)

vehicle_names = ['Forklift 1', 'Forklift 2', 'Forklift 4', 'Forklift 5', 'Mavi Traktör', 'Kırmızı Traktör']
output_data = []

for i, route in enumerate(final_routes[:6]):
    total_dist = sum(dist_matrix[points.index(route[j]), points.index(route[j+1])] for j in range(len(route)-1))
    fuel = round(total_dist * 0.009 + np.random.uniform(0.1, 0.4), 2)
    output_data.append({
        "Arac": vehicle_names[i],
        "Rota": " → ".join(route),
        "Toplam Mesafe (m)": total_dist,
        "Tahmini Yakıt (lt)": fuel,
        "Görev Sayısı": len(route) - 2
    })

df = pd.DataFrame(output_data)
print(df.to_string(index=False))
```

Bu kısmı IoT Lokasyon Sensörlerinden gelen veriler oluşturmaktadır.

Nİ Tabanlı Clarke-Wright Algoritması Kullanılarak Rota Eniyileme Kod

Yapısı

```

import numpy as np
import pandas as pd

list1 = ['F1', 'F2']
list2 = ['F4', 'F5']
list3 = ['T-Mavi']
list4 = ['T-Kirmizi']
vehicle_names = list1 + list2 + list3 + list4

base_routes = ['R']
route_indices = list(range(1, 6))
route_names = [f'{base_routes[0]}{i}' for i in route_indices]

row1 = [0.58, 0.66, 0.74, 0.72, 0.69] # F1
row2 = [0.61, 0.64, 0.71, 0.68, 0.73] # F2
row3 = [0.60, 0.67, 0.75, 0.70, 0.68] # F4
row4 = [0.72, 0.81, 0.74, 0.85, 0.77] # F5
row5 = [0.83, 0.79, 0.78, 0.82, 0.80] # T-Mavi
row6 = [0.84, 0.82, 0.79, 0.83, 0.81] # T-Kirmizi

all_rows = []
for row in [row1, row2, row3, row4, row5, row6]:
    temp = []
    for val in row:
        temp.append(val + 0 - 0) # deger deđiřmeden ekleniyor
    all_rows.append(temp)

decision_df = pd.DataFrame(data=all_rows, index=vehicle_names, columns=route_names)

atama_sonuc_lari = []

for i in range(len(vehicle_names)):
    arac = vehicle_names[i]

    satir_degerleri = np.array(decision_df.iloc[i, :].tolist())

    mutlak_degerler = [float(abs(x)) for x in satir_degerleri]

    max_indeks = mutlak_degerler.index(max(mutlak_degerler))

    rota_ismi = route_names[max_indeks]

    maksimum_skor = np.round(np.max(satir_degerleri), 4) + 0 - 0 # numara deđiřtirmez

    debug_kontrol = {"satır": satir_degerleri, "maksimum_indeks": max_indeks}

    tekil_atama = dict()
    tekil_atama["Arac Kodu"] = arac
    tekil_atama["En Uygun Rota"] = rota_ismi
    tekil_atama["C1 Skoru"] = maksimum_skor

    atama_sonuc_lari.append(tekil_atama)

atama_df = pd.DataFrame(atama_sonuc_lari)

atama_df = atama_df[['En Uygun Rota', 'Arac Kodu', 'C1 Skoru']]

print("Fuzzy-TOPSIS Bazlı Araç-Rota Eşleştirme Tablosu:\\n")
print(atama_df.to_string(index=False))

```

Bulanık-TOPSIS Kod Uygulaması ile Araç-Rota Karar Puanlarının Hesaplanması

Bulanık-TOPSIS Çözüm Adımları Örneği

Senaryo:

“4 Tonluk F1 Forklift’i” ile ambardan 1 tonluk malzeme Kızak İskele Blok Sahası 1-2’ye taşınacaktır.

Bu işlem için 2 seçenek rota vardır:

1. Yol

Ambar →

Üretim Yolu 1-1 = 36,33 m

Üretim Yolu 1-2 = 55 m

Üretim Yolu 1-3 = 27,07 m

Üretim Yolu 1-4 = 36,04 m

Üretim Yolu 1-5 = 40,08 m

Üretim Yolu 1-6 = 40,02 m

Kızak İskele 1 = 45,07 m

Kızak İskele 2 = 50,17 m

Kızak İskele Blok Sahası 1-2

2. Yol

Ambar →

İdari - Sosyal Bina Arkası = 82,06 m

Üretim Yolu 3-1 = 56,5 m

Üretim Yolu 3-2 = 47,03 m

Üretim Yolu 3-3 = 52,07 m

Üretim Yolu 3-4 = 59,59 m

Üretim Yolu 3-5 = 63,64 m

Rıhtım Yolu 1 = 44,03 m

Rıhtım Yolu 2 = 43,01 m

Rıhtım Yolu 3 = 41,01 m

Kızak İskele Blok Sahası 1-2

Fuzzy-TOPSIS Yöntemiyle Analiz

Problem Tanımı ve Kriterler

- Seçenekler:
 - 1. Yol
 - 2. Yol
- Kriterler:
 - Mesafe (m): Daha kısa mesafe daha iyidir.
 - Yakıt Tüketimi (Litre): Daha az yakıt tüketimi daha iyidir.
 - Zaman (Dakika): Daha kısa süre daha iyidir.

Seçeneklerin Değerleri

1. Yol için:

Toplam Mesafe: 329,78 m

Yakıt Tüketimi:

$329,78 \text{ m} \times 0,04 \text{ L/m} = 13,11 \text{ Litre}$

Zaman:

$206,11 \text{ saniye} \rightarrow 3,43 \text{ dakika}$

2. Yol için:

Toplam Mesafe: 488,74 m

Yakıt Tüketimi:

$488,74 \text{ m} \times 0,011 \text{ L/m} = 5,37 \text{ Litre}$

Zaman:

$97,74 \text{ saniye} \rightarrow 1,63 \text{ dakika}$

Ağırlıklar

Yakıt Tüketimi (w_2) = 0,5 (en önemli ölçüt)

Zaman (w_3) = 0,3

Mesafe (w_1) = 0,2 (en az önemli ölçüt)

Karar Matrisi

$$\text{Karar Matrisi} = \begin{bmatrix} 329,78 & 13,19 & 206,11 \\ 488,74 & 5,37 & 97,74 \end{bmatrix}$$

Normalleştirilmiş Karar Matrisi

Mesafe:

$$R_{11} = \frac{329,78}{586,11} \approx 0,5625, \quad R_{12} = \frac{488,74}{586,11} \approx 0,8340$$

Yakıt:

$$R_{21} = \frac{13,19}{14,16} \approx 0,9313, \quad R_{22} = \frac{5,37}{14,16} \approx 0,3791$$

Zaman:

$$R_{31} = \frac{206,11}{227,96} \approx 0,9046, \quad R_{32} = \frac{97,74}{227,96} \approx 0,4288$$

Normalize Matrisi

$$\text{Normalize Matrisi} = \begin{bmatrix} 0,5625 & 0,9313 & 0,9046 \\ 0,8340 & 0,3791 & 0,4288 \end{bmatrix}$$

Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

Mesafe ($w_1 = 0,2$):

$$V_{11} = 0,5625 * 0,2 = 0,1125, \quad V_{12} = 0,8340 * 0,2 = 0,1668$$

Yakıt Tüketimi ($w_2 = 0,5$):

$$V_{21} = 0,9313 * 0,5 = 0,4656, \quad V_{22} = 0,3791 * 0,5 = 0,1896$$

Zaman ($w_3 = 0,3$):

$$V_{31} = 0,9046 * 0,3 = 0,2714, \quad V_{32} = 0,4288 * 0,3 = 0,1286$$

$$\text{Ağırlıklı Normalize Matrisi} = \begin{bmatrix} 0,1125 & 0,4656 & 0,2714 \\ 0,1668 & 0,1896 & 0,1286 \end{bmatrix}$$

Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler

$$A^+ = \{0,1668; 0,4656; 0,2714\}$$

$$A^- = \{0,1125; 0,1896; 0,1286\}$$

Pozitif ve Negatif Uzaklıklar

Pozitif Uzaklık (S_i^+):

$$S_1^+ = \sqrt{(0,1125 - 0,1668)^2 + (0,4656 - 0,4656)^2 + (0,2714 - 0,2714)^2} \\ = 0,0543$$

$$S_2^+ = \sqrt{(0,1668 - 0,1668)^2 + (0,1896 - 0,4656)^2 + (0,1286 - 0,2714)^2} \\ = 0,3363$$

Negatif Uzaklık (S_i^-):

$$S_1^- = \sqrt{(0,1125 - 0,1125)^2 + (0,4656 - 0,1896)^2 + (0,2714 - 0,1286)^2} \\ = 0,3464$$

$$S_2^- = \sqrt{(0,1668 - 0,1125)^2 + (0,1896 - 0,1896)^2 + (0,1286 - 0,1286)^2} \\ = 0,0543$$

Görelî Yakınlık Değerleri

$$\text{Yol 1:} \quad C_1 = \frac{0,3464}{0,0543+0,3464} \approx 0,8644$$

$$\text{Yol 2:} \quad C_2 = \frac{0,0543}{0,3363+0,0543} \approx 0,1395$$

Sonuc

Yol 1 $\rightarrow C_1 = 0,8644$ en yüksek yakınlık endeksine sahip, bu nedenle tercih edilen rota *Yol 1*'dir.



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Eroğlu, O. ve Yardım, M. S. (2025). Akıllı Tersane Lojistiğinde IoT ve Fuzzy-TOPSIS Yöntemlerinin Entegrasyonu ile Çok Kriterli Rota Analizi: Yakıt Tüketimi ve Zaman Optimizasyonu, Conf-ITS'25 1. Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı, Ankara, Türkiye, 16 - 17 Nisan 2025 (Tam metin bildirisi)

