



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



## YÜKSEK LİSANS TEZİ

YEŞİL TEDARİK ZİNCİRLERİNDE ARAÇ ROTALAMA  
PROBLEMİ İÇİN ÖBEKLEME VE METASEZGİSEL  
OPTİMİZASYON TABANLI YAKLAŞIM

BÜŞRA ÖZOĞLU

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 07.01.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ



Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Şükrü Alp BARAY  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Zeynep GERGİN  
İstanbul Kültür Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca gerek tez konumun belirlenmesinde gerekse çalışmanın tüm detaylarında bana her türlü desteği sağlayıp, çeşitli yöntemleri öğrenmem konusunda bana yol göstererek çalışmamı yönlendirdiğinden dolayı danışmanım Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ'e,

Tez çalışmam sürecinde benimle paylaştığı bilgi, tecrübe ve yardımlarından dolayı Prof. Dr. M. Oktay ALNIAK, Dr. Öğr. Üyesi Erkan KIYAK ve Dr. Öğr. Üyesi Emre ÇAKMAK hocalarıma,

Akademik hayatıma başladığım günden itibaren ihtiyaç duyduğum her anda desteğini esirgemediği için sevgili Bahadır EZİCİ'ye,

Eğitim hayatım boyunca bütün başarılarımın temelinde var olan sevgili aileme her zaman yanımda oldukları ve beni destekledikleri için,

çok teşekkür ederim.

Ocak, 2019

Büşra ÖZOĞLU

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ .....	x
SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiv
SUMMARY .....	xvi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>4</b>
2.1. TEDARİK ZİNCİRİ KAVRAMI .....	4
2.2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ .....	5
2.3. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ .....	5
2.4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ .....	7
2.4.1. Araç Rotalama Problemi Türleri .....	8
2.5. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRLERİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ .....	13
2.5.1. Yakıt Tüketimini ve Gaz Emisyonunu Etkileyen Faktörler .....	17
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>20</b>
3.1. ÖBEKLEME ANALİZİ ALGORİTMALARI .....	22
3.1.1. K-Ortalamlar .....	26
3.1.2. Bulanık C-Ortalamlar .....	27
3.1.3. Ağırlıklandırılmış Bulanık C-Ortalamlar .....	29
3.2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL MODELİN KURULUMU .....	31
3.2.1. Yük Faktörünün Matematiksel Model Üzerindeki Etkisi .....	31
3.2.2. Eğim Faktörünün Matematiksel Model Üzerindeki Etkisi .....	32
3.2.3. Modelin Formülasyonu .....	33
3.3. METASEZGİSEL ALGORİTMALAR .....	35

3.3.1. Genetik Algoritma .....	35
3.3.2. Karınca Kolonisi Algoritması .....	39
3.3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu .....	40
3.3.4. Tavlama Benzetimi .....	42
3.4. ÖRNEK UYGULAMA .....	43
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>51</b>
4.1. KULLANILAN VERİ SETİ .....	52
4.2. ÖBEKLEME ANALİZİ SONUÇLARI .....	53
4.2.1. K-Ortalamlar Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları .....	55
4.2.2. Bulanık C-Ortalamlar Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları .....	59
4.2.3. Ağırlıklandırılmış Bulanık C-Ortalamlar Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları .....	62
4.3. ARAÇ ROTALAMA SONUÇLARI .....	67
4.3.1. Genetik Algoritma Sonuçları .....	68
4.3.2. Tavlama Benzetimi Algoritması Sonuçları .....	70
4.3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu Sonuçları .....	72
4.3.4. Karınca Kolonisi Algoritması Sonuçları .....	74
4.4. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI .....	77
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>81</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>83</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>90</b>
<b>EK 1. ASYA VERİLERİ .....</b>	<b>91</b>
<b>EK 2. AVRUPA VERİLERİ .....</b>	<b>94</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>99</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Şekil 1.1:</b> Karayolu Yük Taşımacılığının Yıllara Göre Değişimi .....	2
<b>Şekil 2.1:</b> Tedarik Zinciri Genel Yapısı[4] .....	4
<b>Şekil 2.2:</b> Yeşil Tedarik Zinciri Genel Yapısı [12] .....	6
<b>Şekil 3.1:</b> Problemin Akış Şeması .....	21
<b>Şekil 3.2:</b> Taşınan Toplam Yük Miktarının Yakıt Tüketimi Üzerindeki Etkisi[26].....	32
<b>Şekil 3.3:</b> Genetik Algoritma Genel Yapısı [76].....	36
<b>Şekil 3.4:</b> Karınca Kolonisi Algoritması Genel Yapısı[82].....	40
<b>Şekil 3.5:</b> Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Genel Yapısı[86] .....	41
<b>Şekil 3.6:</b> Tavlama Benzetimi Algoritması Genel Yapısı[90] .....	43
<b>Şekil 3.7:</b> Müşterilerin Koordinat İzdüşümleri.....	44
<b>Şekil 3.8:</b> Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği.....	46
<b>Şekil 3.9:</b> Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği.....	46
<b>Şekil 3.10:</b> Yükseklikli ABCO Algoritması Öbek Grafiği .....	47
<b>Şekil 3.11:</b> Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği.....	47
<b>Şekil 3.12:</b> Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği .....	48
<b>Şekil 3.13:</b> Yükseklikli ABCO Algoritması Öbek Grafiği .....	49
<b>Şekil 4.1:</b> Asya Kıtası Verileri Koordinat İzdüşümleri .....	54
<b>Şekil 4.2:</b> Avrupa Kıtası Verileri Koordinat İzdüşümleri .....	54
<b>Şekil 4.3:</b> Asya Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği.....	56
<b>Şekil 4.4:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği .....	57
<b>Şekil 4.5:</b> Asya Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği.....	58
<b>Şekil 4.6:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği .....	58
<b>Şekil 4.7:</b> Asya Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği.....	60
<b>Şekil 4.8:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği.....	61

<b>Şekil 4.9:</b> Asya Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği.....	62
<b>Şekil 4.10:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği.....	63
<b>Şekil 4.11:</b> Asya Kıtası Yüksekliksiz ABCO Algoritması Öbek Grafiği .....	64
<b>Şekil 4.12:</b> Avrupa Kıtası Yüksekliksiz ABCO Algoritması Öbek Grafiği .....	65
<b>Şekil 4.13:</b> Asya Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbek Grafiği .....	66
<b>Şekil 4.14:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbek Grafiği .....	66





## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 3.1:</b> Örnek Uygulama Veri Seti .....	44
<b>Tablo 3.2:</b> Yükseklikli KO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	45
<b>Tablo 3.3:</b> Yükseklikli BCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	45
<b>Tablo 3.4:</b> Yükseklikli ABCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	46
<b>Tablo 3.5:</b> Yükseklikli KO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	48
<b>Tablo 3.6:</b> Yükseklikli BCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	48
<b>Tablo 3.7:</b> Yükseklikli ABCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	49
<b>Tablo 3.8:</b> Metasezgisel Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	50
<b>Tablo 4.1:</b> Asya Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbeleme Analizi Sonuçları .....	56
<b>Tablo 4.2:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbeleme Analizi Sonuçları .....	56
<b>Tablo 4.3:</b> Asya Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbeleme Analizi Sonuçları .....	57
<b>Tablo 4.4:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbeleme Analizi Sonuçları .....	59
<b>Tablo 4.5:</b> Asya Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbeleme Analizi Sonuçları .....	60
<b>Tablo 4.6:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbeleme Analizi Sonuçları .....	60
<b>Tablo 4.7:</b> Asya Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	62
<b>Tablo 4.8:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	62
<b>Tablo 4.9:</b> Asya Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	64
<b>Tablo 4.10:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	64
<b>Tablo 4.11:</b> Asya Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	65
<b>Tablo 4.12:</b> Avrupa Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbeleme Sonuçları .....	67
<b>Tablo 4.13:</b> Asya Yakası için Genetik Algoritma Sonuçları .....	69
<b>Tablo 4.14:</b> Avrupa Yakası için Genetik Algoritma Sonuçları .....	70
<b>Tablo 4.15:</b> Asya Yakası için Tavlama Benzetimi Algoritması Sonuçları .....	71
<b>Tablo 4.16:</b> Avrupa Yakası için Tavlama Benzetimi Algoritması Sonuçları .....	72

<b>Tablo 4.17:</b> Asya Yakası için Parçacık Sürü Optimizasyonu Sonuçları .....	73
<b>Tablo 4.18:</b> Avrupa Yakası için Parçacık Sürü Optimizasyonu Sonuçları .....	74
<b>Tablo 4.19:</b> Asya Yakası için Karınca Kolonisi Algoritması Sonuçları .....	76
<b>Tablo 4.20:</b> Avrupa Yakası için Karınca Kolonisi Algoritması Sonuçları .....	77
<b>Tablo 4.21:</b> Asya Kıtası için Metasezgisel Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	77
<b>Tablo 4.22:</b> Avrupa Kıtası için Metasezgisel Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	78
<b>Tablo 4.23:</b> Asya Kıtası için Belirlenen Öbeklere ait Hastaneler .....	79
<b>Tablo 4.24:</b> Avrupa Kıtası için Belirlenen Öbeklere ait Hastaneler .....	80



## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$G = \{N, A\}$	: Küme verisi
$N = \{0, 1, \dots, n\}$	: Düğüm indisleri
$A = \{0, 1, \dots, n\}$	: Her düğüm çifti arasında tanımlanan bağlantılar kümesi
$d_{ij}$	: $i$ ve $j$ müşterileri arasındaki uzaklık
$S_{ij}$	: $i$ ve $j$ noktaları arasındaki eğim katsayısı
$x_{ij}$	: $i$ müşterisinde $j$ müşterisine gidiliyorsa 1, aksi halde 0
$f_{ij}$	: $i$ ve $j$ noktaları arasındaki taşınan yük miktarı
$q_i$	: $i$ noktasının yükü/ talebi
$M$	: Araç tarafından gidilebilecek en uzun mesafe
$t_{ij}$	: $i$ . müşteriden $j$ . müşteriye olan zaman
$s_{ik}$	: $i$ . müşterinin servis süresi
$k$	: $i$ ve $j$ noktaları arasında kullanılan araç
$Q$	: Aracın kapasitesi
$K$	: Toplam araç rotası sayısı
$u_i$	: Rasgele gerçek değişken
$k$	: Karınca kolonisi algoritmasında kullanılan karınca sayısı
$\tau_{ij}$	: Yol( $i, j$ )'deki feromon yoğunluğunu
$\eta_{ij}$	: Yol( $i, j$ )'deki sezgisel faktörün oranı
$\alpha$	: Feromon şiddetinin ( $\tau$ ) görelî önemini kontrol eden parametre
$\beta$	: Sezgisel faktörün ( $\eta$ ) görelî önemini kontrol eden parametre
$p$	: Feromon değerinin buharlaşma katsayısı
$c_1$	: Parçacığın kendi geçmişinden öğrendiği bilginin ağırlığı
$c_2$	: Komşuların geçmişinden öğrenilen bilginin ağırlığı
$W$	: Eylemsizlik ağırlığı
$t$	: Sıcaklık parametresi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b><i>TZ</i></b>	: Tedarik Zinciri
<b><i>TZY</i></b>	: Tedarik Zinciri Yönetimi
<b><i>YTZ</i></b>	: Yeşil Tedarik Zinciri
<b><i>YTZY</i></b>	: Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi
<b><i>ARP</i></b>	: Araç Rotalama Problemi
<b><i>KKARP</i></b>	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
<b><i>MKARP</i></b>	: Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
<b><i>ZPARP</i></b>	: Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi
<b><i>TDARP</i></b>	: Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
<b><i>BCO</i></b>	: Bulanık C-Ortalamlar
<b><i>KO</i></b>	: K-Ortalamlar
<b><i>ABCO</i></b>	: Ağırlıklandırılmış Bulanık C-Ortalamlar
<b><i>GA</i></b>	: Genetik Algoritma
<b><i>TB</i></b>	: Tavlama Benzetimi
<b><i>KKA</i></b>	: Karınca Kolonisi Algoritması
<b><i>PSO</i></b>	: Parçacık Sürü Optimizasyonu

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### YEŞİL TEDARİK ZİNCİRLERİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN ÖBEKLEME VE METASEZGİSEL OPTİMİZASYON TABANLI YAKLAŞIM

**Büşra ÖZOĞLU**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ**

Dünya ticaretinin küreselleşmesi öncelikle ekonominin daha sonra ise üretim ve tüketim faaliyetlerinin küreselleşmesiyle başlamıştır. Küresel ticaretin hızla artmasının yanı sıra, küresel üretimin yaygınlaşması ve gittikçe artan küresel rekabet sonucunda, lojistik faaliyetleri önemli bir araç haline gelmiştir. Lojistik sektörü, ekonomik büyümeden etkilenen en önemli bileşenlerden biridir. Artan ulaşım talebini karşılamak için, ekonomik büyümeye paralel olarak hızla büyümektedir. Artan ulaşım aktiviteleri daha fazla enerji tüketimine neden olduğundan doğaya salınan karbondioksit emisyonunu da ciddi oranda arttırmaktadır. Bu sonuçlar ekolojik çevre açısından ciddi bir problem haline gelmiştir. Çevresel problemlere karşı farkındalığın artması sonucunda ortaya çıkan “Sürdürülebilirlik” kavramına gösterilen önemin artması sosyal, ekonomik ve kültürel boyutlarıyla birtakım değişiklikler yapmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu değişiklikler içerisinde en önemlisi sürdürülebilirlik kavramının tedarik zincirine entegre edilmesidir. Tedarik zincirinde yaşanan bu değişimler ile birlikte “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi” yaklaşımı önem kazanmıştır. Bu çalışmada yeşil tedarik zincirlerindeki araç rotalama problemi için öbekleme ve metasezgisel optimizasyon yöntemlerinin birlikte kullanılmasına dayalı hibrit bir yaklaşım önerilmiştir. Araç rotalama problemi bir veya birkaç depodan müşterilere ürün ya da hizmet sağlayacak araçlar için en uygun rotaları belirlemeyi amaçlayan kombinatoriyal optimizasyon problemidir. Yeşil tedarik zincirlerindeki araç rotalama problemlerinde, mevcut mesafenin ve maliyetin optimizasyonuna ek olarak yakıt tüketiminin ve karbondioksit emisyonunun da azaltılması amaçlanır. Problem çözümü için kullanılan öbekleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir ağ oluşturulması amaçlanmış olup,

aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesi sağlanmıştır. Bu çalışma ile birlikte ilk defa yükseklik faktörü kullanılarak öbekleme analizi yapılmıştır. Belirlenen öbeklerdeki araç rotaları metasezgisel algoritmalar ile çözülmüştür. Doğaya salınan karbon emisyonu yakıt tüketimi ile ilişkilendirilmiştir. Önerilen yaklaşım ile optimum araç rotaları belirlenirken, kullanılan toplam yakıt tüketimi miktarı azaltılarak doğaya salınan emisyon değerinin düşürülmesi sağlanmıştır.

Ocak 2019, 114 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, Araç Rotalama Problemi, Öbekleme Analizi, Metasezgisel Algoritmalar



## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **CLUSTERING AND METAHEURISTIC OPTIMIZATION BASED APPROACH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM IN GREEN SUPPLY CHAINS**

**Büşra ÖZOĞLU**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ**

Trade globalization primarily started with the globalization of the economic activities, and then globalization of the production and consumption. Besides the dramatic increase of trade globalization, increasing of global production and progressively increasing of global competition have made essential for countries to improve their logistic sector. Logistic sector is the main part which is affected significantly by the economic growth. Utilization is required on logistic sector to meet increasing demand on transportation against economic growth. Proliferation of the using logistic activities resulted with more energy consumption. Accordingly, releasing of greenhouse gases have significantly increase. These results are very crucial in terms of ecological environment. Taking all the detrimental circumstances into consideration, the awareness on sustainability have been increasing which results some changes required as must on social, economic and cultural areas. One of the significant difference is the integration of sustainability concepts into the supply chain. Therefore, the importance of the “Green Supply Chain Management” approach has become more popular with the recent changes on concept of the supply chain. In this study, clustering and metaheuristics optimization based approach for vehicle routing problem in green supply chains was proposed. The vehicle routing problem is a combinatorial optimization problem calls for the determination of the optimal set of routes to be performed by one or more vehicles to serve a given set of customers. In addition to optimizing the existing distance and cost, the current fuel consumption and carbon dioxide emissions is intended to be reduced in vehicle routing problems in green supply chains. It is aimed to create a network that will cover the same route for places with approximate value of altitude by using the clustering

analysis, and reduction of the emission rate caused by up and hill movements of the vehicle is also provided. For the first time, clustering analysis was performed using the elevation of customers. Determined clusters are solved by meta heuristic algorithms. With the proposed approach, the carbon emission released to the nature has been reduced while determining the optimum vehicle routes.

January 2019, 114 pages.

**Keywords:** Green Supply Chain Management, Vehicle Routing Problem, Clustering Analysis, Metaheuristic Algorithm





## 1. GİRİŞ

Tedarik zinciri kavramı ürün, hizmet ya da para akışının tedarikçiden müşteriye doğru olan hareketine ve bu süreç dahilindeki faaliyetlere verilen genel isimdir. 1990'lı yılların ortalarından itibaren üretim pazarının uluslararası düzeyde gelişmesi ile birlikte tedarik zinciri kavramının kullanım oranı artmıştır. Bu dönemde üretim pazarındaki değişikliğe adapte olmak ve daha karmaşık lojistik ağlarını yönetmek için iyi bir lojistik stratejisi gerekmiştir. Tedarik zinciri yönetimi bu ihtiyaçlara cevap vermek ve üretimdeki stratejik konulara odaklanmak üzere ortaya çıkmıştır. Tedarik zinciri yönetimi müşteriye; doğru ürünün, doğru zamanda, doğru yerde, doğru fiyatla tüm tedarik zinciri için mümkün olan en düşük maliyetle ulaşmasını sağlayan malzeme, bilgi ve para akışının entegre yönetimidir.

Uluslararası düzeydeki ticari aktiviteler ile karbon ayak izinde önemli bir artış yaşanmıştır. Bununla birlikte sürdürülebilirlik yaklaşımını benimseyen tedarik zinciri yönetimine yönelik ciddi bir eğilim görülmüştür. Tedarik zinciri yönetimine sürdürülebilirlik kavramının eklenmesiyle kapsam genişletilmiş, organizasyonun malzeme yönetimi ile lojistik fonksiyonlarından son müşteri atığına kadar olan her bir basamağının çevre duyarlılığını içerecek şekilde yapılandırılması gündeme gelmiştir.

Ulaşım sektörü ekonomik büyümeden etkilenen en önemli bileşenlerden biridir. Artan ulaştırma talebini karşılamak için, ekonomik büyümeye paralel olarak hızla gelişmektedir. Artan ulaştırma aktiviteleri daha fazla enerji tüketimi ve sera gazı salınımına neden olmaktadır. 2009 yılında EEA tarafından yayınlanan rapora göre[1], 1990-2007 yılları arasında ulaştırma aktivitelerinden kaynaklanan emisyon salınımı %28 oranında artış göstermiştir. Özen ve Yaman makalelerinde[2], ulaşım sektöründeki emisyon oranının %70'inden fazlasının karayolu ulaşımından kaynaklandığını ve karayolu taşımacılığının emisyon salınımındaki payının bu kadar yüksek olmasındaki nedenlerden birinin de yük taşımacılığı olduğunu vurgulamışlardır. Bu etki karayolu yük taşımacılığının çevresel etkilerinin araştırılması konusunu önemli bir hale getirmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumundan elde edilen verilerle[3], karayolu yük taşımacılığının yıllara göre değişimi hakkında çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışma ile elde edilen, karayolu yük

taşımacılığının yıllar içerisindeki değişimini gösteren grafik Şekil 1.1’ de görülmektedir. Şekil 1.1’de görüldüğü üzere karayolunun yük taşımacılığında kullanımının artması bu



**Şekil 1.1:** Karayolu Yük Taşımacılığının Yıllara Göre Değişimi

alanda çalışma yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu çalışmada, karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesinin sağlanması amacıyla tedarik zincirlerinin önemli konularından biri olan araç rotalama problemi konu edilmiştir. Yeşil tedarik zinciri perspektifiyle ele alınan araç rotalama problemi için öbekleme analizi yöntemlerinin ve metasezgisel algoritmaların kullanıldığı hibrit bir yaklaşım geliştirilmesi planlanmaktadır. K-ortalamlar, bulanık c-ortalamlar, ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar, yükseklikli k-ortalamlar, yükseklikli bulanık c-ortalamlar ve yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmaları olmak üzere 6 farklı öbekleme analizi yöntemi kullanılacaktır. Belirlenen öbeklerdeki araç rotalarının tavlama benzetimi, karınca kolonisi algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma olmak üzere 4 farklı metasezgisel algoritma ile çözülmesi planlanmaktadır.

Öbekleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak öbekler oluşturularak, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesi amaçlanmaktadır. Öbekleme analizi sonucunda araç rotalarının belirlenmesi için kullanılacak matematiksel model ile gidilecek yolun eğimine ve aracın taşıdığı toplam yüke bağlı olarak kullanılan yakıt tüketimi miktarının azaltılarak, doğaya salınan emisyon değerinin düşürülmesi planlanmıştır. Metasezgisel algoritmaların kullanılması ile karşılaştırmalı optimum maliyeti veren hibrit çözüm yöntemi belirlenecektir.

Bu tez ile birlikte; öbekleme analizinin tedarik zincirinin en önemli konularından biri olan araç rotalama problemine uygulanarak, yakıt tüketiminin minimum düzeyde tutulması

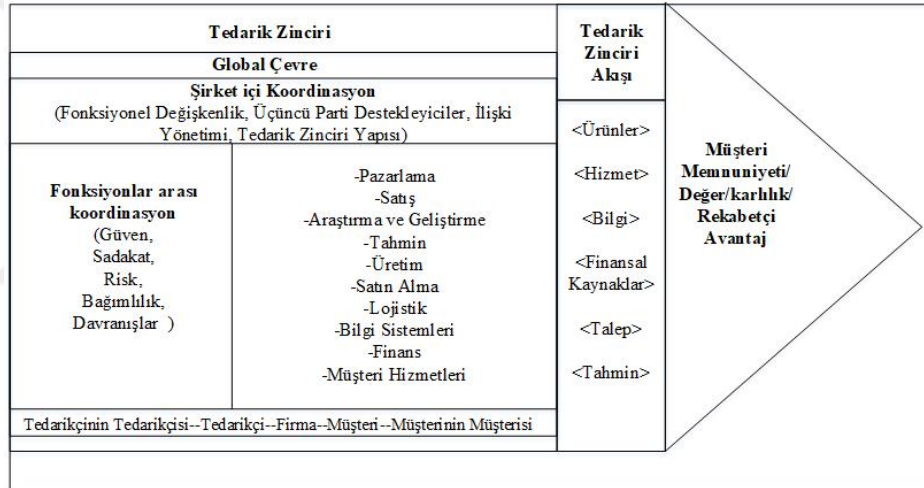
ve dolayısıyla doğaya salınan karbon emisyonu değerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Literatürde ilk defa yükseklik faktörü öbekleme analizinde kullanılacaktır. Öbekler belirlenirken yükseklik faktörünün kullanıldığı, yükseklik faktörünün kullanılmadığı ve hem yükseklik hem de yük faktörünün kullanıldığı çalışmaların karşılaştırmasını yapmak için literatürdeki önemli öbekleme analizi yöntemlerinin kullanılması ve uygulanan yöntemler arasında karşılaştırma yapılması planlanmaktadır.

İlk bölümde tedarik zinciri kavramı, tedarik zinciri yönetimi, yeşil tedarik zinciri yönetimi, araç rotalama problemi ve yeşil tedarik zincirlerindeki araç rotalama problemleri hakkında bilgi verilecektir. İkinci bölümde problem çözümünde kullanılan modelin tasarlanması, kullanılan öbekleme analizlerinin ve metasezgisel algoritmaların metodolojisi anlatılacaktır. Ayrıca araç rotalama problemi için kurulan matematiksel model ayrıntılarıyla ele alınacaktır. Üçüncü bölümde kullanılan veri seti hakkında bilgi verilecek olup, bu veri setine bağlı kalınarak elde edilen sayısal verilerin analiz edilmesi ve kullanılan yöntemlerin birbirleriyle karşılaştırmalı olarak ele alınması planlanmaktadır.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. TEDARİK ZİNCİRİ KAVRAMI

Tedarik zinciri, ürün veya hizmetin tedarikçiden müşteriye doğru olan hareketine ve bu süreç dâhilindeki faaliyetlerden oluşan bütüne verilen addır. Genel olarak müşteriye doğru ürünün, doğru zamanda, doğru yerde ve düşük maliyetle ulaşmasını sağlayan malzeme, bilgi ve para akışının entegre yönetimi şeklinde tanımlanmaktadır. Mentzer ve arkadaşları[4] tarafından belirlenen tedarik zinciri modeli Şekil 2.1’de görülmektedir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi



Şekil 2.1: Tedarik Zinciri Genel Yapısı[4]

tedarik zinciri pazarlama, satış, tahmin, üretim, satın alma, lojistik, bilgi sistemleri, finans ve müşteri hizmetleri gibi birçok süreci içinde barındırmaktadır. Tedarik zinciri akış süreci; ürün, hizmet, bilgi, finansal kaynaklar, talep ve tahmin olmak üzere çeşitli faaliyetlerden oluşmaktadır. Fakat tedarik zinciri akış sürecinde yer alan talep ve tahminler birçok kaynaktan oluşmaktadır. Genel olarak akışın ürünler, hizmet, bilgi ve finansal kaynaklardan oluştuğunu söylemek daha doğru bir tanım olacaktır.

## 2.2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Tedarik zinciri yönetimi(TZY), yeni bir kavram olmamasına rağmen sürekli bir değişim halindedir. Bu kavram ilk olarak 1982 yılında Keith Oliver'in Financial Times ile yaptığı mülakatta kullanılmıştır. Bundan sonra öncelikli olarak imalat sektöründe olmak üzere çeşitli sektörlerde kullanılmıştır. TZY, ihtiyaç duyulduğunda büyüyen zorluklar, tehditler ve olanaklar karşısında değişen bir konsept olarak ortaya çıkmıştır[5]. TZY'nin temel amacı iş süreçlerini daha etkili ve verimli yapmak, maliyet ve stok durumunu azaltmak, kaliteyi arttırmak, sürdürülebilir ve rekabetçi bir tedarik zinciri avantajı yaratmak[6], yüksek müşteri gereksinimleri, düşük stok yönetimi ve düşük birim maliyeti arasındaki tutarsız hedefleri belirlemek amacıyla tedarikçilerden müşterilere doğru olan bilgi ve hizmet akışındaki gerekliliklerin eş zamanlı olarak ayarlanmasıdır[7]. Mentzer ve arkadaşları[4], tedarik zinciri yönetimini şirketlerin ve tedarik zincirlerinin uzun dönem performanslarını geliştirmek amacıyla geleneksel iş fonksiyonlarının ve taktiklerinin tedarik zincirlerini kapsayacak şekilde sistematik ve stratejik olarak birleştirilmesi olarak açıklamaktadır.

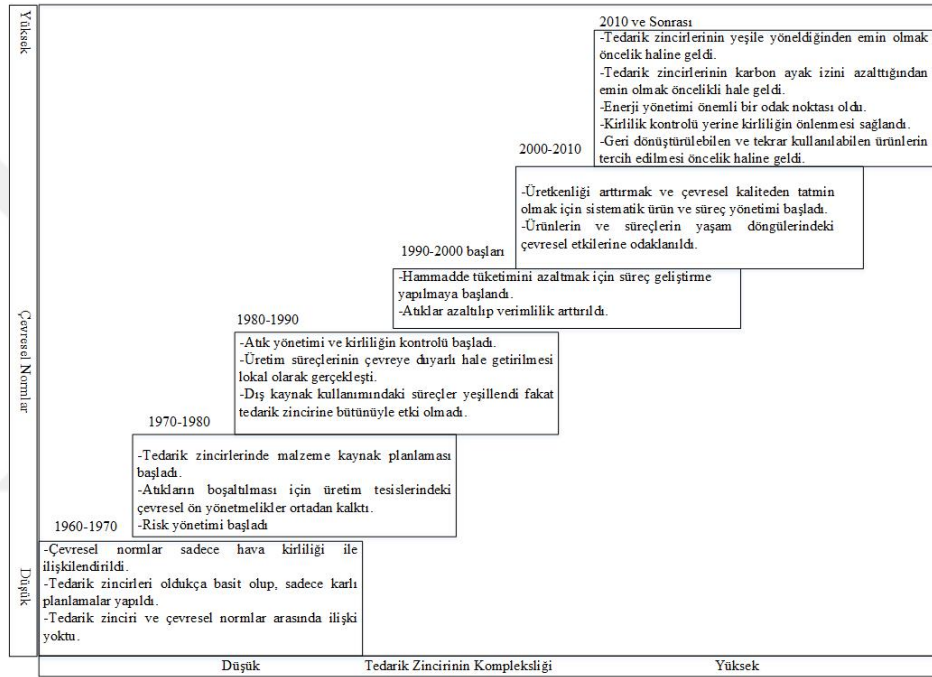
Karbon ayak izi doğrudan ve dolaylı olarak bir firma, bir ürün, bir faaliyet veya kişinin neden olduğu toplam sera gazı emisyonlarının ölçüsüdür[8]. Son zamanlarda küreselleşme ve beraberinde getirdiği artan ticari aktiviteler ile karbon ayak izinde ciddi artışlar yaşanmıştır. Bununla birlikte sürdürülebilirlik yaklaşımını benimseyen tedarik zinciri yönetimine yönelik ciddi bir eğilim görülmüştür. Artan bu eğilim ile birlikte, klasik tedarik zinciri yönetiminden yeşil tedarik zinciri yönetimine geçiş zorunlu hale gelmiştir. Tedarik zinciri yönetimi kavramına yeşil sıfatı eklenmesiyle kapsam genişletilmiş ve organizasyonun malzeme yönetimi ile lojistik fonksiyonlarından son müşteri atığına kadar her bir basamağının çevre duyarlılığını içerecek şekilde yapılandırılması gündeme gelmiştir[9].

## 2.3. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Sürdürülebilirlik, gelecek kuşakların gereksinimlerinin karşılanması yeteneğinden ödün vermeden bugünün gereksinimlerini karşılamak anlamına gelir[8]. Bu kavram ilk olarak 1987 yılında yayınlanan Brundtland raporunda yer almaktadır. Bu rapor eş zamanlı olarak insanın daha iyi bir yaşam standartına olan istekleri ile doğanın sınırları arasındaki kısıtlar ile ilgilidir[10]. Sürdürülebilirlik kavramına verilen önemin artması sosyal, ekonomik ve kültürel boyutlarıyla birtakım değişiklikler yapmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu değişiklikler

içerisinde en önemlisi sürdürülebilirlik kavramının tedarik zincirine entegre edilmesidir.

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi; tedarik zincirindeki malzeme, bilgi ve para akışının; müşteri ve yatırımcı gereksinimlerinde meydana gelen, tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliğin boyutlarından olan sosyal, ekonomik ve çevresel amaçlarla birlikte yönetilmesidir[11]. Bu kavramı benimseyen yaklaşımların artması ile yeşil tedarik zinciri(YTZ) kavramı önem kazanmıştır. Wang ve Gupta' nın yeşil tedarik zincirine geçiş şeması Şekil 2.2'de belirtildiği gibidir[12].



Şekil 2.2: Yeşil Tedarik Zinciri Genel Yapısı [12]

Şirketler sürdürülebilirlik yaklaşımını tedarik zincirlerinde kullanırken; tüketiciler, çalışanlar, toplum ve hükümet gibi paydaşlar bu yeşil tedarik zincirindeki gelişmelerden çeşitli faydalar sağlayabilmektedir. Bu faydalar YTZ'nin çevresel faydaları ve işle ilgili sağladığı faydalar olarak kategorize edilebilir. Jaggernet[12] tarafından ele alınan YTZ'nin çevresel faydaları ve işte sağladığı faydalar sırasıyla ifade edilmiştir.

YTZ'nin çevresel faydaları, kullanılan enerji miktarının azaltılmasında iyileştirme; atıkların, sera gazı emisyonlarının ve çevre kirliliğinin azalması; dağıtım faaliyetlerinde daha az ambalaj kullanılması; kullanılan su miktarında tasarruf; enerji verimliliğinde artış ve suya

karişan zehirli kimyasalların azaltılmasıdır.

YTZ'nin iş ile ilgili sağladığı faydalar ise elde edilen kârın artması; rekabet avantajı; üretim, operasyon ve dağıtım maliyetlerinin azalması; operasyonların değerinin artması; ürün ve hizmet akışının çevre duyarlılığını içerecek şekilde yapılması; ürün ve hizmetlerin farklılaşması; dış pazarlara erişim olanağı; müşteri hizmetlerinin gelişmesi; çevresel, sosyal ve piyasa risklerinin yönetiminin sağlanması; geliştirilmiş dağıtım verimliliği; ham madde kullanımının optimize edilmesi; geçiş sürelerinde azalma; geliştirilmiş envanter yönetimi; artan yenilik ve güvenilirlik; tedarikçiler ve müşteriler arasında ittifaklar; işlerin devamlılığı; rafine edilmiş tersine lojistik ve başarılı uyum süreçleridir[12].

Lojistik, TZY'nin müşteri ihtiyaçlarından olan ürün, bilgi veya hizmetin verimli ve etkili akışından ve biriktirilmesinden sorumlu bir parçasıdır. TZY, lojistik altyapısı ile oluşmasının yanı sıra satın alma, tedarik, dış kaynak kullanımı, iş ilişkileri, ürünlerin tasarımı gibi konuları da içermektedir[6]. Lojistik, tedarik zincirinin tüm aşamalarında yer almasından dolayı kritik bir öneme sahiptir. Lojistik kapsamında birçok konu bulunmaktadır. Bu konular içerisinde en önemlilerinden biri tedarikçi ve müşteriler arasındaki ulaştırma aktivitelerinin optimizasyonunun sağlanmasıdır. Araç rotalama problemi lojistik alanındaki en önemli optimizasyon problemlerindedir ve yeşil tedarik zincirlerinde önemli bir yere sahiptir.

#### **2.4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ**

Araç rotalama problemi(ARP); ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından kullanılan, operasyon yönetimi ve lojistik alanlarında iyi bilinen kombinatoryel optimizasyon problemidir[13]. ARP, kullanım kolaylığı nedeniyle en çok çalışılan kombinatoryel problemler arasındadır. Bir dizi müşteriye hizmet vermek üzere, bir veya daha fazla depoda bulunan bir araç filosu tarafından kullanılan optimal rotaların belirlenmesi ile ilgilenir.

Araç rotalama problemlerindeki bazı uygulamalarda rota belirlemek için birtakım gereklilikler ve operasyonel kısıtlar kullanılması gerekebilir. Örneğin, araç rotalama hizmeti hem toplama hem de dağıtımdan oluşabilir, rota boyunca araçlar için belirlenen bir kapasite kısıtı bulunabilir, her bir aracın gideceği yol uzunluğu ile ilgili bir kısıt bulunabilir, müşterilerin hizmeti verebilmeleri için belli zaman aralıkları gerekebilir, filo

özdeş olmayan araçlardan oluşabilir, müşteriler arasında öncelikli ilişkiler mevcut olabilir, müşteri talepleri önceden kesin olarak belirlenemeyebilir, müşteri gereksinimleri bölünerek farklı araçlarla sağlanabilir, bazı problemlerde talep ve teslimat süresi dinamik olarak değişkenlik gösterebilir[14].

Dantzing ve Ramser araç rotalama problemini ilk olarak yakıtın servis istasyonlarına teslim edilmesiyle ilgili gerçek hayattan bir problem üzerine uygulamışlardır. Bu problem için ilk matematiksel programlama modeli ve algoritmik yaklaşımı önermişlerdir. Birkaç yıl sonra Clarke ve Wright, Dantzig ve Ramser'in yaklaşımını geliştirmek için etkili bir açgözlü sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Bu iki makalenin ardından, ARP'nin farklı versiyonlarının optimum ve en uygun araç rotalarını bulması için çeşitli modeller ve algoritmalar önerilmiştir[15].

#### **2.4.1. Araç Rotalama Problemi Türleri**

Literatürde araç rotalama problemleri'nin birçok farklı versiyonu bulunmaktadır. Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan araç rotalama problemlerinden kapasite kısıtlı araç rotalama problemi(KKARP), mesafe kısıtlı araç rotalama problemi(MKARP), zaman pencereci araç rotalama problemi(ZPARP) ve topla dağıt araç rotalama problemleri(TDARP) ele alınmıştır.

##### **2.4.1.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi**

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi(KKARP), araç rotalama problemi'nin klasik versiyonudur. KKARP, bilinen lokasyonlara ve taleplere sahip bir dizi müşterinin, özdeş kapasiteye sahip bir araç filosuyla belirli bir depodan başlayıp tekrar aynı depoya dönülmesini kapsayan bir problem türüdür. Bu problem türünde amaç toplam mesafenin minimizasyonunun sağlanmasıdır [16]. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinde tüm müşteriler belli bir teslimata bağımlıdır, talepler önceden bilinir ve bölünemez, araçlar özdeştir ve tek bir merkezi depodadır, sadece taşıtlar için kapasite kısıtlamaları uygulanır ve amaç tüm müşterilere hizmet vermek için gereken toplam maliyeti (güzergâhların sayısı ve/veya uzunlukları ya da seyahat süreleri) en aza indirmektir.

Genel olarak, her bir müşteri lokasyonu çifti arasındaki taşıma maliyeti, her iki yönde de aynıdır, yani, ortaya çıkan maliyet matrisi simetriktir, fakat bazı uygulamalarda tek yön yola sahip olan kentsel alanlardaki dağıtımlarda maliyet matrisi asimetriktir[14]. Jaramillo[17]



tarafından KKARP için önerilen matematiksel model aşağıda verilmiştir.



İndisler:

$i, j$  Lokasyonlar:  $i, j=1, \dots, L$ ; 1 depoyu  $L$  ise ziyaret edilen toplam lokasyon sayısını belirtmektedir.

Parametreler:

$d_{ij}$   $i$  ve  $j$  noktaları arasındaki uzaklık  
 $q_i$   $i$ . müşterinin ağırlık birimi ile talebi  
 $Q$  aracın kapasitesi  
 $K$  toplam araç rotası sayısı

Değişkenler:

$x_{ij}$  Eğer araç  $i$ ' den hemen sonra  $j$ ' ye gidiyorsa 1, diğer durumda 0 değerini alır  
 $u_i$  Rasgele gerçek değişken

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L d_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=2}^L x_{1j} = K \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=2}^L x_{i1} = K \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^L x_{ij} = 1 \quad j = 2, \dots, L \quad i \neq j \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^L x_{ij} = 1 \quad i = 2, \dots, L \quad j \neq i \quad (2.5)$$

$$Q - (Q - \max_{(i \neq j)} \{q_j\} - q_i) x_{1i} - \sum_{j=2}^L q_j x_{ij} \geq u_i, \quad i = 2, \dots, L \quad (2.6)$$

$$q_i \leq u_i \leq Q \quad (2.7)$$

$$x_{ij} \in [0, 1] \quad (2.8)$$

$$u_i \geq 0 \quad (2.9)$$

Amaç fonksiyonu 2.1, araçlar tarafından gidilen toplam yolu minimize etmektedir. Denklem 2.2,  $K$  tane farklı araç rotasının depoda başladığını; Denklem 2.3,  $K$  tane araç rotasının depoda bittiğini göstermektedir. Denklem 2.4, her bir müşterinin bir araç tarafından ziyaret edildiğini; benzer şekilde Denklem 2.5, her bir müşteriden bir aracın hareket ettiğini garanti etmektedir. 2.6 ve 2.7 kısıtları birlikte araçların kapasiteyi aşmadığını ve araç rotalarının deponun yerlerini de içerdiğini belirtmektedir. Denklem 2.6, Miller–Tucker–Zemlin’ in 2.7’ de ele aldığı alt tur eliminasyon kısıtlarının uzantısıdır. Denklem 2.8 ve Denklem 2.9, karar değişkeni ve sürekli değişkenleri tanımlamaktadır[17].

#### 2.4.1.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Mesafe kısıtlı araç rotalama problemlerinde rotalara atanan her aracın gidebileceği maksimum mesafe kısıtı bulunmaktadır. Denklem 2.10, Şeker[18] tarafından ele alınan bir aracın gidebileceği maksimum mesafe değerini ifade eden kısıtı belirtmektedir. Bu kısıt mevcut problemlere dahil edilerek araç rotalarına mesafe kısıtı eklenebilir. Denklem 2.10’a göre  $M$  değeri araç tarafından gidilebilecek en uzun mesafeyi,  $k$  ise kullanılan aracı belirtmektedir.

$$k \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L d_{ij} \sum_{j=1, j \neq i}^L x_{ijk} \leq M \quad (2.10)$$

#### 2.4.1.3. Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi

Zaman pencereci araç rotalama problemi(ZPARP), merkezi bir depodan başlayan ve aynı depoda sonlanan minimum maliyete sahip rotaların belirlenmesini sağlar. Deponun ve müşterinin yeri, müşterilerin talebi ve her müşterinin hizmete başlaması için izin verilen zaman aralığının bilindiği varsayılır. Her müşteriye verilen hizmet, söz konusu müşteri için belirtilen zaman aralığı içinde başlamalıdır. Zaman pencereleri sıkı veya esnek olabilir. Sıkı bir zaman penceresi söz konusu olduğunda araç, müşteri lokasyonuna erken bir saatte ulaşabilir ve servis hizmeti için zaman penceresinin başlangıcına kadar bekleyebilir fakat zaman penceresinin bitiminden sonra aracın müşteriye ulaşmasına izin verilmez. Esnek bir zaman penceresi durumunda, servis aralığı belirli bir ceza ile ihlal edilebilir. ZPARP, klasik araç rotalama probleminin, hizmetin başlatılması için izin verilen bir süre eklenmesi yoluyla geliştirilmesidir[16].

Her bir müşteri bir zaman kısıtına  $([a_i, b_i])$  sahiptir.  $a_i$  açılış zamanını,  $b_i$  ise kapanış zamanını belirtmektedir. Araç zaman penceresinin başlangıcından önce varabilir, bu durum servis

süresine kadar bekleme süresinin oluşmasına sebep olur. Fakat, kapanış süresinden sonra araç varamaz. Araçlar deponun zaman penceresi ( $[a_0, b_0]$ ) dahilinde depodan ayrılmalıdır. Denklem 2.11 ve 2.12 örnek olarak kullanılmış zaman penceresi kısıtlarıdır. Bu kısıtlar probleme eklenerek amaca ulaşılabilir.

$t_{ij}$   $i$ . müşteriden  $j$ . müşteriye olan zaman

$s_{ik}$   $i$ . müşterinin servis süresi

$k$   $i$  ve  $j$  noktaları arasında kullanılan araç

$$s_{ik} + t_{ij} - k(1 - x_{ijk}) \leq s_{jk} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in V \quad (2.11)$$

$$ot_i \leq s_{ik} \leq ct_i \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (2.12)$$

Bu denklemde iki farklı karar değişkeni bulunmaktadır.  $x_{ijk}$ , aracın  $i$  noktasından  $j$  noktasına hareket etmesi durumunda 1, aksi halde 0 değerini alır. Bir diğer karar değişkeni  $s_{ik}$  ise  $k$  aracının zamanını belirtmektedir. Eğer araç  $k$ ,  $i$ . müşteriye hizmet vermiyorsa herhangi bir anlamı yoktur.  $V$  araçları,  $c$  ise müşterileri temsil etmektedir. Denklem 2.11  $k$  aracı,  $i$ 'den  $j$ 'ye hareket ettiğinde  $s_{ik} + t_{ij}$ 'den önce  $j$ 'ye varamayacağını ifade eder. Denklem 2.12 ise zaman kısıtının bulunduğunu ifade etmektedir[19].

#### 2.1.1.4. Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi

Topla-dağıt araç rotalama problemi(TDARP), müşterilerin hem malzeme alıp hem de iade ettiği klasik araç rotalama probleminin bir uzantısıdır. TDARP, her rotanın depoda başlayıp depoda bittiği, her müşteriye bir aracın gittiği, rotanın toplam talebinin araç kapasitesini aşmadığı, her müşterinin arz ve talebinin karşılandığı problemlerdir[20]. Bu problem türünün amacı, maksimum mesafeye ve maksimum kapasite kısıtlamalarına maruz kalan araçların kat ettiği toplam mesafeyi en aza indirmektir. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi ve zaman pencereli araç rotalama problemi karşılaştırıldığında, topla-dağıt araç rotalama problemlerinin kullanım alanı daha kısıtlıdır. Literatürde TDARP üç sınıfta incelenir.

- Karışık Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
- Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
- Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi

Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemlerinde; birçok araştırmacı müşterilerin

ürünleri satın alan(linehaults) ve ürünleri gönderen(backhaults) olarak iki gruba ayrıldığını düşünmektedir. Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemlerinde, depodan müşterilere dağıtılacak malzemelerin tamamı dağıtıldıktan sonra müşterilerden depoya gönderilecek malzemelerin toplama işlemi yapılır. Müşterilere birden fazla uğranabilir[18].

Karışık topla dağıt araç rotalama problemlerinde dağıtım ve toplama işlemi karışık olarak yapılmaktadır. Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemleri de, eş zamanlı olarak toplama ve dağıtım işleminin yapılabildiği araç rotalama problemleridir. Eş zamanlı ifadesinden anlatılmak istenen müşteriye uğrandığında, dağıtılan ürünün bırakılması ve toplanak ürünün alınmasıdır. Dolayısıyla müşteriler herhangi bir ayrıma tabi tutulmazlar. Araçlar her müşteriye bir defa gider, dağıtım ve toplama işlemini yaparak müşteriden ayrılır. Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemlerine; içeceklerin marketlere dağıtılırken boş şişelerin veya günü geçen ürünlerin fabrikaya taşınması ya da kanların merkezlerden hastanelere dağıtılırken yeni kanların da merkeze taşınması örnek olarak verilebilir.[18]. Karışık topla-dağıt araç rotalama problemleri ve eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemlerinin modellenmesi aynı yapıdadır[21].

## **2.5. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRLERİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ**

Araç rotalama problemlerinde, taşıma işlemini gerçekleştiren organizasyonlar sadece araç rotalarının ekonomik etkisine odaklanmaktadır. Sürdürülebilir lojistik konularıyla ilgili daha geniş hedeflerin ve daha fazla operasyonel kısıtlamaların göz önüne alınması doğal olarak sürdürülebilirliği temel alan yeni araç rotalama modellerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yeşil araç rotalama problemleri bu kapsamda ortaya çıkmıştır ve özellikle sürdürülebilirliğin çevresel ve ekonomik boyutlarına odaklanmaktadır. Son yıllarda üzerinde oldukça fazla sayıda çalışma yapılan bir konu haline gelmiştir.

Yeşil araç rotalama problemi(YARP), doğaya salınan karbondioksit miktarını azaltmayı hedeflediğinden araç rotalama problemlerinin önemli bir konusu haline gelmiştir. YARP maliyetin düşürülmesinin yanı sıra sosyal, ekonomik ve çevresel etkileri de dikkate alan, tedarikçiden müşterilere doğru optimum rotaların oluşturulduğu araç rotalama problemleridir. Şirketler karbondioksit emisyonunu ve yakıt tüketimini azaltmak için araç türü, yakıt uygunluğu, müşterilerin coğrafi dağılımları, yol türü, araç hızı gibi birçok faktörleri dikkate almaktadır. Ayrıca rotaların elde edilmesi için çeşitli matematiksel

modeller, sezgisel ve metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Literatürde bu konu ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

Ericsson ve diğerleri[22], araç rotalarının belirlenmesinde navigasyon sistemi kullanarak daha düşük yakıt tüketimine dayalı rotaların seçilmesini ve karbon emisyonunun düşürülmesini amaçlamışlardır. Navigasyon sistemi ile trafik karmaşıklığının araç rotalarının belirlenmesindeki etkisi üzerinde durmuşlardır ve farklı araç türleri kullanılarak bunların emisyon üzerindeki etkisi araştırmışlardır.

Bektaş ve Laporte[23], araç rotalama probleminin bir uzantısı olan ve sadece mesafe minimizasyonuna bağlı kalmayıp emisyon değerini, kullanılan yakıt miktarını, seyahat süresinden kaynaklanan maliyetleri de göz önünde bulunduran daha karmaşık bir amaç fonksiyonuna sahip çevreci rotalama problemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada aracın yükünün ve hızının emisyon üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Jaramillo[17], toplam yakıt tüketiminin azaltılmasını amaç edinen yeşil araç rotalama problemi üzerinde çalışma yapmıştır. Bu problemin amaç fonksiyonu değeri mesafeyi minimize etmeyi amaçlamaktadır. Problemin formülasyonu için karışık tam sayılı doğrusal programlama, lokal optimum noktanın bulunması için yerel arama algoritması kullanılmıştır.

Kuo ve Wang[24], toplam yakıt tüketimini azaltmayı amaçlayan araç rotalama problemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Ulaşım mesafesi, ulaşım hızı ve toplam yük faktörlerini dikkate alarak bunların yakıt tüketimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araç rotalarının belirlenmesi için basit tabu arama algoritmasını kullanmışlardır.

Demir ve diğerleri[25], araç rotalarının planlanması sürecinde uygun emisyon modellerinin kullanılması ile doğaya salınan sera gazı emisyonunu azaltmayı amaçlamışlardır. Makalede aracın hızının, yükünün, ivmelenmesinin ve yolun eğiminin yakıt tüketimi üzerindeki etkisini inceleyen bazı araç emisyon modelleri incelenmiş ve yapısal olarak karşılaştırılmıştır.

Xiao ve diğerleri[26], yük faktörünü de dikkate alan bir yakıt tüketim oranının, kapasite kısıtlı araç rotalama problemine uygulanmasına dayalı, toplam yakıt tüketimini azaltmayı amaçlayan bir model önerisinde bulunmuşlardır. Problem matematiksel yöntemlerle formüle edilmiş ve tavlama benzetimi algoritması ile optimum çözüm bulunması amaçlanmıştır.

Jabali ve diğerleri[27], seyahat süresini, yakıt tüketimini ve karbondioksit miktarını azaltmak

için zamana bağlı araç rotalama problemi üzerinde çalışmışlardır. Karbondioksit emisyonu değeri aracın hızı ile ilişkilendirildiğinden, optimizasyon sırasında sınırlı bir araç hızı kullanılmıştır. Modelin çözümü için tabu arama algoritmasını kullanmışlardır.

Franceschetti ve diğerleri[28], zamana bağlı çevreci rotalama problemi için çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Problemin çözümünde trafik yoğunluğu dikkate alınarak doğaya salınan karbon emisyonun ve sürücü maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için tam sayılı doğrusal programlama modelini kullanmışlardır.

Yong-Ju ve diğerleri[29], operasyon maliyetleri ile birlikte karbon emisyonunun da azaltılması için özdeş olmayan araçların kullanıldığı araç rotalama modeli önerisinde bulunmuşlardır. Problemin modellenmesi için karışık tam sayılı programlama ve çözüm için tabu arama algoritmasını kullanmışlardır.

Çağrı ve diğerleri[30], çevreci rotalama probleminin bir uzantısı olan ve özdeş olmayan araçları dikkate alan karışık çevreci rotalama problemini önermişlerdir. Amaç fonksiyonu ile aracın sabit giderleri ve rotalama maliyetini azaltmanın yanı sıra yakıt maliyetini ve doğaya salınan karbon emisyon değerini azaltmayı amaçlamışlardır. Problemin çözümü için evrimsel metasezgisel algoritmasını önermişlerdir.

Taha ve diğerleri[31], seyahat edilen yolun uzunluğunun optimizasyonuna ek olarak karbon emisyon değerinin düşürülmesini amaçlayan yeşil araç rotalama modeli önermişlerdir. Emisyon oranının düşürülmesi için yakıtta ek alternatif kaynakların kullanılmasına dayalı çalışma yapmışlardır. Belirlenen problemin çözümü için matematiksel model kullanmışlardır.

Jabir ve diğerleri[32], yeşil araç rotalama problemi için ekonomik kalkınmanın yanı sıra emisyon oranının da düşürülmesini amaçlayan bir model önerisinde bulunmuşlardır. Problem çözümü için minimum maliyetli araç rotaların belirlenmesinde karınca kolonisi algoritması, düşük emisyon oranının belirlenmesinde ise değişken komşu arama algoritması kullanmışlardır. Emisyon oranını, seyahat uzunluğu ve aracın taşıdığı yük ile ilişkilendirmişlerdir.

Salimifard ve Raeesi[33]; mesafenin, taşınan yükün, hızın ve yolun eğiminin yakıt tüketim miktarını etkilediğini ifade etmişlerdir. Çalışmalarında ise aracın yükü ve gidilen mesafeyi kullanmışlardır. Yakıt tüketiminin azaltılmasının yanı sıra alternatif yakıtların da etkin

kullanmasını optimize eden yeşil araç rotalama problemini önermişlerdir.

Ehmke ve diğerleri[34], şehirler için zamana bağlı emisyon oranının minimizasyonunu esas alan araç rotalama problemini önermişlerdir. Çalışmalarında hızdaki değişikliğin ve yükün emisyon üzerindeki etkisini incelemişlerdir ve belirlenen problemin çözümü için tabu arama algoritmasını kullanmışlardır.

Ehmke ve diğerleri[35]; toplam maliyetin, yakıt tüketiminin, mesafenin ve seyahat süresinin optimizasyon üzerindeki etkisini karşılaştırmışlardır. Yakıt modelinin öneminin anlaşılması için yakıt tüketiminin optimizasyonuna dayalı araç rotaları belirlemişlerdir. Sürücünün saatlik maliyeti, yakıt maliyeti, müşterinin coğrafi koşulları, müşteriye ulaşan yük dağılımı, aracın türü, filo yapısı ve trafiğin tıkanıklığının yakıt tüketimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Tabu arama algoritmasının türlerinden biri olan LANTIME algoritması ile çözüm gerçekleştirilmiş ve çözüm aşamasında karmaşık maliyet fonksiyonu ve yük faktörü dikkate alınmıştır.

Koç ve diğerleri[36]; deponun yerinin, filo yapısının ve rotalama kararlarının doğaya salınan emisyon değeri üzerindeki etkisi incelemişlerdir. Çalışmalarının amacı depo, araç ve rotalama maliyetlerine ek olarak toplam yakıt tüketiminin ve doğaya salınan karbondioksit emisyonunun azaltılmasıdır. Güçlü ve uyarlanabilir büyük komşu arama algoritması geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Depo maliyeti ve deponun yeri, müşteri dağılımı ve özdeş olmayan araçların kullanılması gibi çeşitli problem parametrelerinin yakıt tüketimi, emisyon değeri ve operasyonel maliyet üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir.

Norouzi ve diğerleri[37], yeşil araç rotalama probleminin bir uzantısı olan zamana bağlı araç rotalama problemi üzerinde çalışmışlardır. Karışık rotaların önlenmesi ve optimum hızın kullanılması ile seyahat sürelerini minimize etmenin yanı sıra karbon emisyonunun da azaltılması sağlanmıştır. Bu problemin modellenmesi için hava direncinin, yolun fiziksel yapısının, aracın fiziksel özelliklerinin, aracın ağırlığının ve taşıdığı yükün etkilerinin de göz önüne alındığı matematiksel bir model önermişlerdir. Çözüm için modifiye edilmiş parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır ve sabit hız ile zamana bağlı sabit hızların kullanıldığı çözümleri karşılaştırmışlardır.

Ding ve diğerleri[38], iki fazdan oluşan ve yeşil planlama olarak nitelendirilen yakıtın verimliliğine dayalı yol planı önermişlerdir. İlk aşamada yol boyunca sürücülerin



mevcut sürüş davranışlarının ve yolun fiziksel özelliklerin dikkate alındığı yakıt tüketim modeli oluşturmuşlardır. İkinci aşamada, ele alınan farklı araç rotalarının yakıt maliyeti karşılaştırılmış ve en düşük maliyetli olanın kullanılması önerilmiştir.

Zhang ve diğerleri[39], araç rotalama probleminin türü olan kapasite kısıtlı yeşil araç rotalama problemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Ürünlerin dağıtımında alternatif yakıtları kullanan araçları tercih etmişlerdir. Bu araçların depolarının düşük yakıt kapasitesine sahip olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle araçların dağıtım sırasında yakıt ikmali yapması için alternatif yakıt istasyonlarını kullanması gerekmektedir. Alternatif yakıt ile çalışan araçlar kullanılarak araç rotalarının belirlenmesi; sınırlı yükleme kapasitesi, aracın deposunun kapasite kısıtı ve alternatif yakıtlar fazla bulunmadığından dolayı zordur. Problemin çözümü için ilk aşaması iki fazlı sezgiselden ve ikinci aşaması karınca sistemine dayalı metasezgisel yöntemden oluşmak üzere iki aşamalı bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Rasgele oluşturulan bir problem üzerinde uygulama yapılmıştır.

Yapılan literatür taraması araç rotalama problemlerinde  $CO_2$  emisyonunun düşürülmesi ve sürecin çevreye duyarlı hale getirilmesi için birçok faktörün değerlendirilmekte olduğunu ve bu faktörlerin optimizasyon sürecine dahil edildiğini göstermektedir. Bu faktörlerden bazıları; seyahat süresinin ve aracın taşıdığı yük miktarının optimizasyonu, kullanılan aracın türünün ve optimum hızının belirlenmesi, kullanılan eğimin ve trafiğin yoğun olduğu saatlerin dikkate alınmasıdır. Bu çalışmadaki araç rotalama probleminin matematiksel model kurulumunda, literatür taramalarında da sıklıkla ele alınan eğim ve yük faktörleri kullanılmıştır. Benzer şekilde Salimifard ve Raeesi[33], eğim ve yük faktörlerinin kullanılan yakıt miktarını nasıl etkilediği üzerinde durmuş fakat matematiksel model kurulumunda sadece yük faktörünü kullanmışlardır. Bu çalışma literatürdeki mevcut çalışmalar ile karşılaştırıldığında matematiksel model kurulumunda hem eğim hem de yük faktörünün kullanılmasından dolayı daha kapsamlıdır.

### **2.5.1. Yakıt Tüketimini ve Gaz Emisyonunu Etkileyen Faktörler**

Çalışmanın amacı, araç rotalama probleminde araç rotalarını belirlerken toplam yakıt tüketiminin optimizasyonunu sağlayarak sürecin çevreye duyarlı hale getirilmesi ve dolaylı olarak doğaya salınan  $CO_2$  emisyonunun düşürülmesini sağlamaktır. Bu nedenle çalışmada kullanılmak üzere yeşil tedarik zincirlerindeki araç rotalarının belirlenmesinde

sıklıkla kullanılan parametrelerin emisyon üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırılan bu parametreler; aracın türü, seyahat süresi, aracın taşıdığı yük miktarı, aracın hızı ve yolun eğimidir.

**1. Aracın Türü:** Küçük araçların kullanılması ile sefer sayısı artışından dolayı, yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak karbondioksit emisyonu artar[40]. Ağır araçlar hafif araçlara göre daha fazla yakıt tüketmesine karşın, yüksek kapasiteli araçlar yerine daha fazla düşük kapasiteli araçların kullanılması da emisyon oranını arttırır. Fakat bu durum ters etki yaratarak emisyon değerini azaltabilir. Özdeş olmayan, farklı özellikteki araçların kullanılması emisyon değerinde düşürücü etkiye sahip olabilir çünkü farklı yükteki kapasitelere uygun araçların kullanılması ile kullanılmayan alanların işgal edilmesi önlenir[41] ve yüke bağlı emisyon değeri de düşürülmüş olur. Problem türüne ve kapasite kısıtlarına bağlı olarak aracın türünün belirlenmesi optimum çözüme ulaşılmasını sağlar.

**2. Seyahat Süresi:** Seyahat süresi aracın hızı, yolun ve aracın fiziksel özellikleri, taşınan yük miktarı gibi özelliklere bağlıdır. Probleme zaman kısıtının eklenmesi ile müşterilere ürünlerin zamanında ulaşılması için optimum hız sınırı aşılabilmekte veya emisyon değerinin düşürülmesi için planlanan fazla ağırlığa sahip ürünlerin öncelikli teslim edilmesi gibi kısıtlar göz ardı edilebilmektedir. Bunun sonucu olarak aracın yakıt tüketimi ve dolayısıyla emisyon değeri de artmaktadır[23].

**3. Aracın Taşıdığı Yük Miktarı:** Aracın yükünün artması lastiklerin yolla olan sürtünmesini arttırıp, aracın ivmelenmesini geciktirir. Yükü fazla olan bir araç eğimli bir yolda daha fazla güce ihtiyacı duyduğu için aracın yakıt tüketimi ve emisyonu artar[42]. Kuo ve diğerleri[24], araçlara ekstra 100 paund(45 kg) eklenmesi ile yakıt tüketiminin %2 oranında artacağını ifade etmiştir. Salimifard ve Raesi[33] ağır yükteki ürünlerin öncelikli teslimi ile tüm teslimat sırasında daha az yükün taşınmasının karbon emisyon oranında ciddi bir öneminin olduğunu savunmuştur.

**4. Aracın Hızı:** Bir aracın hızı alınan yolun eğimi, hava sürtünmesi, yolun yapısı gibi çeşitli durumlardan doğrudan etkilenir. Bu sebeple, aracın sabit bir hız ile yol alması ile değişken hızla yol alması arasında yakıt tüketimi açısından farklılık bulunmaktadır[42]. Ayrıca saatte 60 km hızın üzerine çıkıldığında emisyon değerinde ciddi artışlar olmaktadır[24]. Benzer şekilde 40-50 km/saat civarındaki hızlar daha düşük hızlarla da karşılaştırıldığında daha fazla karbondioksit salınımı olduğu gözlenmiştir[44].

**5. Yolun Eğimi:** Araç daha yüksek eğime sahip bir yolu tercih ettiğinde, aracın durumuna karşıt yönde etki eden yer çekimine karşın aracın mevcut hızı muhafaza etmek için ihtiyaç duyduğu motor gücü de artmaktadır[42]. İhtiyaç duyulan güçteki bu artışa paralel olarak daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç duyulmakta ve bunun sonucu olarak daha fazla  $CO_2$  emisyonu salımını gerçekleştirmektedir. Arac kendisinden daha düşük eğime sahip bir yolu tercih ettiğinde, yer çekimi aracın hızlanmasına yardımcı olacağından araç daha az motor gücüne ihtiyaç duymakta ve bu durum daha az yakıt tüketilmesini sağlamaktadır. Negatif eğime sahip yöndeki bir yol tercih edildiğinde emisyon oranı her zaman en düşüktür. Araç sahip olduğu yükseklikten negatif eğime sahip bir yola doğru hareket ettiğinde; aracın sahip olduğu yol ile negatif eğimde aldığı yol arasında emisyon açısından %16-%27 fark bulunmaktadır. Araç sahip olduğu yükseklikten pozitif yönde eğime sahip bir yola doğru hareket ettiğinde emisyon değişim oranı %10-%20 aralığında olmaktadır. Negatif yönde eğime sahip bir yoldan pozitif yönde eğime sahip bir yol tercih edildiğinde emisyon değişim oranı %33 civarında olmaktadır[44].

**6. Trafik Yoğunluğu:** Trafik yoğunluğu daha uzun seyahat süresi, güvenilirliğin azalmasına neden olan teslimat süresinde değişiklik, hızın azalması ve bunlara bağlı olarak artan yakıt tüketimi ve karbon emisyonu gibi çeşitli olumsuz sonuçlara sebep olabilmektedir. Trafik yoğunluğunun sebep olduğu düşük hızla hareket, araçların emisyon değerini önemli derecede arttırmaktadır[28].

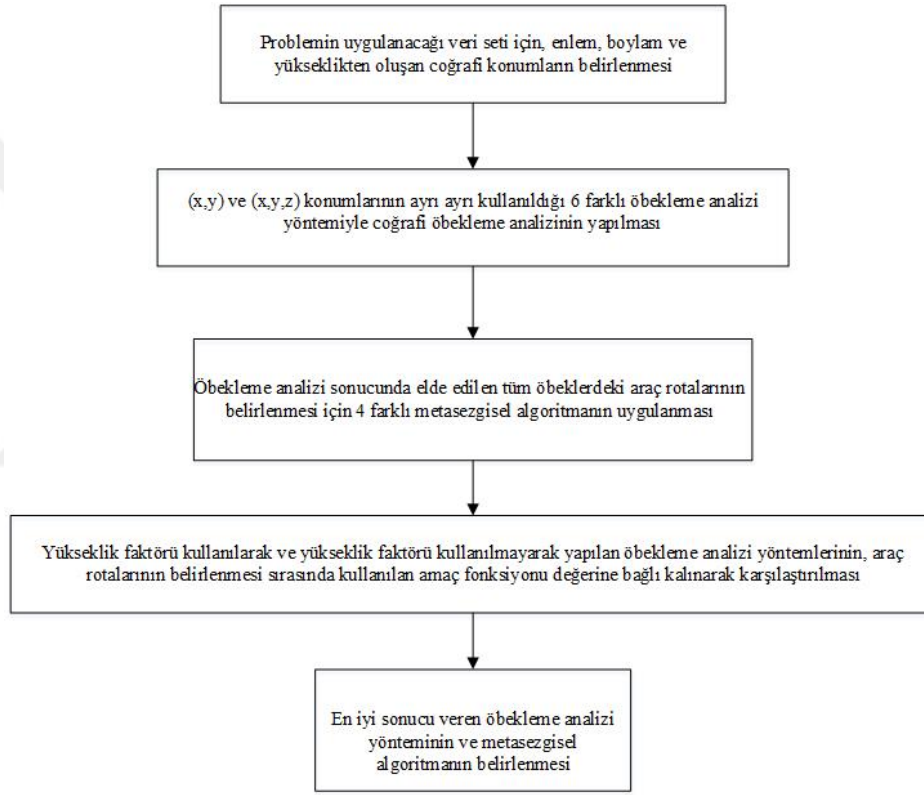
### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada yeşil tedarik zincirlerindeki araç rotalama problemi için öbikleme analizi yöntemlerinin ve metasezgisel algoritmaların kullanıldığı hibrit bir yaklaşım önerilmiştir. Kullanılacak veri setine öncelikle farklı öbikleme analizi yöntemleri uygulanmıştır. Öbikleme analizi yapılırken enlem ve boylam faktörlerine ek olarak yükseklik faktörü de kullanılmıştır. Öbikleme aşamasında; k-ortalamlar, bulanık c-ortalamlar, ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar, yükseklikli k-ortalamlar, yükseklikli bulanık c-ortalamlar ve yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmaları olmak üzere 6 farklı öbikleme analizi yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen öbeklerdeki araç rotaları tavlama benzetimi, karınca kolonisi algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma olmak üzere 4 farklı metasezgisel algoritma ile çözülmüştür. Problemin çözümü için kullanılan matematiksel model kurulumunda hem gidilen yolun eğimi hem de araç tarafından taşınan toplam yük miktarı dikkate alınmıştır.

Öbikleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir öbek oluşturulması amaçlanmış olup, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesi sağlanmıştır. Ayrıca öbikleme analizi ile araç rotalarının belirlenmesi sırasında kullanılacak depoların yerleri belirlenmiştir. Model kurulumu aşamasında yolun eğimi ve taşınan yük faktörleri dikkate alınarak, yol boyunca eğimden kaynaklı ve taşınan yükten kaynaklı  $CO_2$  emisyon değerinin düşürülmesi sağlanmıştır. Coe[45], bir litre benzinin 2,32 kg  $CO_2$  içerdiğini belirtmiştir. Bu nedenle çalışmada kullanılan matematiksel model kurulumunda kullanılan yakıt tüketiminin azaltılması amaçlanmış olup, dolaylı olarak  $CO_2$  emisyon oranının düşürülmesi sağlanmıştır. Metasezgisel algoritmaların kullanılması ile karşılaştırmalı optimum maliyeti veren çözüm önerisinin bulunması sağlanmıştır.

Metasezgisel algoritmalarda amaç, araç rotalarının belirlenmesi sırasında toplam yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak da doğaya salınan  $CO_2$  miktarının minimize edilmesini sağlamaktır. Aracın eğimi arttıkça aracın durumuna karşıt yönde etki eden yer çekimine karşın mevcut hızı muhafaza etmek için ihtiyaç duyduğu motor gücü de artar. İhtiyaç duyulan güçteki bu artışa paralel olarak daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç duyulur[42]. Aynı şekilde aracın yükünün artması lastiklerin yolla olan sürtünmesini artırıp, aracın ivmelenmesini

geciktirir. Yüğü fazla olan bir araç eğimli bir yolda daha fazla güce ihtiyacı duyduğu için aracın yakıt tüketimi artar. Tüm bu etkiler dolaylı olarak doğaya salınan  $CO_2$  emisyonunu arttırır. Bu nedenle matematiksel model kurulumunda yolun eğimi ve araç tarafından taşınan toplam yük miktarı dikkate alınmıştır. Yolun eğimi matematiksel modele dahil edilerek aracın kendisine an yakın eğime sahip güzergahı seçmesi amaçlanırken, yük faktörü dikkate alınarak aracın depoya ulaşana kadar taşıdığı toplam yükün minimizasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntemin akış şeması Şekil 3.1'de belirtildiği gibidir.



**Şekil 3.1:** Problemin Akış Şeması

Bu tez ile birlikte, öbeleme analizi yöntemlerinin tedarik zincirinin en önemli konularından biri olan araç rotalama problemine uygulanarak yakıt tüketiminin minimum düzeyde tutulması sağlanmış olup, doğaya salınan emisyon değeri azaltılmıştır. Bir sonraki bölümde problem çözümü sırasında kullanılan öbeleme analizi yöntemlerinin ve metasezgisel algoritmaların metodolojisi hakkında bilgi verilmiştir.

### 3.1. ÖBEKLEME ANALİZİ ALGORİTMALARI

Öbekleme, veri tabanında var olabilecek saklı desenlerin gruplandırılması için yapılan analizdir. Benzer özellikteki nesnelerin aynı kümeye, farklı özellikte olan nesnelerin ise farklı kümelere atanmasını sağlayan bir süreci içerir. Öbekleme yöntemleri yer seçimi, veri analizi, desen tanıma, görüntü işleme ve bilgileri geri alma gibi birçok işlemlerde kullanılmaktadır[46]. Çeşitli alanlarda kullanıldığı gibi araç rotalama problemlerinde de kullanım alanları yaygındır. Öbekleme analizi çeşitli faktörler dikkate alınarak yapılabilir. Farklı özelliklere sahip öbekleme analizi yöntemleri araç rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Chisman[47], araç rotalama problemlerinin bir türü olan gezgin satıcı problemi üzerine bir model önerisinde bulunmuştur. Bu gezgin satıcı problemi şehirlerin kümelere ayrılmış olarak, optimum ve belirli bir sıraya göre olmayan ardışık ziyaret edilmesinden oluşmaktadır. Problem dahilinde belirlenen kümeler için, hem küme içerisinde hem de kümeler arasında eş zamanlı olarak optimizasyon sağlanması için kümeler ve küme içindeki müşteriler sıralandırılmıştır. Beasley[48], araç rotalama problemi için önce rotala sonra kümeleme yaklaşımını ele almıştır ve pratikte olan kısıtlarla çalışma yapılabilmesi için temel metotları ve bunların uzantılarını değerlendirmiştir. Hiquebran ve diğerleri[49], önce kümeleme sonra rotala yaklaşımı ile tavlama benzetiminin basit bir versiyonunu araç rotalama problemi için uygulamışlardır .

Nagy ve Salhi[50], araç rotalama problemi için klasik eklemeye dayalı bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Çalışmalarında tek ve çok depolu araç rotalarının belirlenmesi için küme ekleme sezgiselini kullanmışlardır. Thangiah ve Salhi[51], çok depolu araç rotalama problemi için öbekleme yöntemine dayalı genetik algoritma yaklaşımını önermişlerdir. Chandran ve diğerleri[52], çoklu gezgin satıcı problemleri için öbekleme yaklaşımını önermişlerdir. Ganesh ve Narendran[53], sıralı topla dağıt araç rotalama problemi için iki fazdan oluşan yapısal bir sezgisel algoritma önerisinde bulunmuşlardır. İlk aşamada yakınlığa dayalı bir öbekleme analizi yapılarak shrink-wrap algoritması ile her bir müşterinin rotaları belirlenmiştir. Araçlar klasik atama sürecine göre atanmış olup, nihai sonuçlandırma için genetik algoritma kullanılmıştır .

Dondo ve Cerdá[54], özdeş olmayan araçların kullanıldığı ve zaman kısıtının bulunduğu çok depolu araç rotalama problemi için 3 fazdan oluşan hibrit bir yaklaşım önermişlerdir.

Bu hibrit yaklaşım bir sezgisel ve iki farklı algoritmik süreçten oluşmaktadır. Birinci aşama maliyet açısından uygun olan öbeklerin tanımlanması olurken, ikinci aşama araçların kümelere atanması ve öbeklemeye dayalı karışık tam sayılı doğrusal programlama formülasyonunun kullanılarak araçların her bir tur için sıralanmasını içerir. Küme içindeki teslimat sıralarının belirlenmesi ve araçların öbeklere varış saatlerinin planlanması ise üçüncü aşamada küçük bir karışık tam sayılı doğrusal programlamanın çözülmesiyle elde edilmiştir. Barreto ve diğerleri[55], kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için kullanılmak üzere geliştirilen sıralı sezgisel algoritmalar için hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan bazı öbekleme analizi yöntemlerini kullanmışlardır.

Yücenur ve Demirel[56], öbekleme analizinde geometrik şekillerin uygulanmasına dayalı öbekleme algoritmasının yeni bir versiyonu üzerinde çalışmışlardır. Çok depolu araç rotalama problemi çalışmada önerilen öbekleme analizine dayalı genetik algoritma ile çözülmüştür. Ewbank ve diğerleri[57], bulanık öbekleme tekniklerindeki bulanıklılık parametrelerini analiz ve tahmin etmişlerdir. Bu teknikler özdeş araçların kullanıldığı kapasite kısıtlı araç rotalama problemine uygulanmıştır. Optimum sonuçları veren hesaplama sürelerini kaydetmek için önerilen sezgiselin temelini oluşturan denetimsiz bulanık öbekleme analizini kullanmışlardır.

Exposito-Izquierdo ve diğerleri[58], kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinde belirlenen öbekler içerisindeki müşterilerin servis ihtiyaçlarının karşılanması için araç rotalarının belirlenmesini amaçlayan iki aşamalı çözüm önerisinde bulunmuşlardır. İlk aşama hangi öbeklerin öncelikli olarak ziyaret edileceğinin belirlenmesidir. Bu aşamada metasezgisel algoritmalar kullanılmıştır. İkinci aşama ise belirlenen öbekler içerisindeki ziyaret sırasının belirlenmesidir. Bu aşamada gerçek ve yaklaşımlı metotlar kullanılmıştır.

Jiang ve diğerleri[59], kapasite kısıtlı öbeklemeli yer problemi için basitleştirilmiş sürü optimizasyonu ve k-ortalama öbekleme algoritmasından oluşan hibrit bir yaklaşım önermişlerdir. Gezgin satıcı probleminde minimum maliyetli sevkiyat için açgözlü algoritma kullanmışlardır. Defryn ve Sörensen [60], öbeklemeli araç rotalama problemi için iki aşamalı sezgisel algoritma önermişlerdir. Öbekleme sürecinde ve müşterilerin düzeylerini sırasıyla ortaya çıkarmak için iki farklı değişken komşu arama algoritmasını birleştirmişlerdir .

Hinrichs ve Irnich[61], klasik öbeklemeli araç rotalama problemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu tür problemlerde bir sonraki öbeğe geçilmeden önce bir önceki öbekteki

her elemanın ziyaret edilmiş olduğu varsayılır. Bu problem üç alt problem olarak ele alınmıştır. Bunlar kümelerin belirlenmesi, küme içi rotaların belirlenmesi ve kümelerin rota boyunca sıralanmasıdır. İkinci aşamada küme içerisindeki olabilecek her bir müşteri çifti arasındaki rotanın belirlenmesi için Hamilton yol problemi çözümü yapılmıştır. Büyük çoklu kümelerdeki operatörlerin iyileştirilmesi için değişken komşu arama algoritması kullanılmıştır. Bir sonraki optimizasyon aşamasında ise değişken komşu arama algoritması kullanılmıştır. Değişken komşu arama algoritması, komşuluğun değiştirilerek iteratif olarak yapıldığı bir algoritmadır ve bu optimizasyon dahilinde öbeklerin ve öbek için rotaların belirlenmesi için Balas–Simonetti komşuluğu kullanılmıştır.

Pop ve diğerleri[62], çalışmalarında klasik araç rotalama probleminin bir uzantısı olan öbeklemeli araç rotalama problemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu problem türünde amaç, ürünün toplanması sırasında depodan çıkan aracın depoya dönene kadar toplam maliyetin minimize edilmesidir. Çözüm iki alt problemin çözümü olacak şekilde değerlendirilmiştir. İlk aşamada kümeler arasındaki rotaların sıralarının belirlenmesi için genetik algoritma kullanılmıştır. İkinci aşamada ise kümeler içerisindeki rotaların belirlenmesi için problem gezgin satıcı problemi olarak ele alınarak kümeler içerisindeki rotalar belirlenmiştir. Öbekleme analizi yapılırken öbekler uzaklık matrisi hesaplanmasına göre belirlenmiştir ve bu aşamada  $(x,y)$  düzlemi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı literatürde sıklıkla kullanılan çeşitli öbekleme analizlerinin yeşil tedarik zincirlerindeki araç rotalama problemlerinde kullanılmasını sağlamaktır. Bu konu hakkında ele alınan çalışmaların literatür taramaları aşağıda ayrıntılarıyla verilmiştir.

Erdoğan ve Miller Hook[63], yeşil araç rotalama problemine çözüm olarak sınırlı yakıt ikmali alt yapısı ile bağlantılı olarak, sınırlı sürüş aralığının sonucunda ortaya çıkan zorluklara karşı alternatif yakıtla çalışan araç filolarını kullanmışlardır. Araç rotalama problemi karışık tam sayılı programlama ile modellenmiş ve iki farklı sezgisel optimizasyon yöntemleriyle: modifiye edilmiş Clarke&Wright tasarruf algoritması ve yoğunluk tabanlı öbekleme yaklaşımını kullanmışlardır.

Tiwari[64], doğaya salınan toplam karbondioksit emisyonu değerini düşürmeyi amaçlayan yeşil araç rotalama problemini önermiştir. Ayrıca çalışmalarında kamyonun sahip olduğu yük oranını da dikkate almıştır. Öncelikle eksene ve kapasite parametrelerine göre öbekleme analizi yapılmıştır. Daha sonra blok rekombinasyon yaklaşımı kullanılarak çözüm



geliştirilmiştir.

Gergin[65], değer akış haritası ile atık toplama sürecinin iyileştirmeye açık alanlarını tespit etmiş, farklı öbekteleme analizi algoritmalarının kullanımı ile hastanelereden bu atıkların toplanacağı tesis yerini belirlemiştir. Daha sonra belirlenen öbektelere araçların atanması ve atık noktalarından bu tesislere gelecek araçların kat ettikleri mesafeyi en küçükleyecek şekilde rotalanması için karma tam sayılı doğrusal programlama modelini kurarak GAMS yazılımında kodlamıştır. Bu yaklaşım ile doğaya salınan emisyon oranı düşürülmüştür.

Gergin ve Esnaf[66], hastanelerden toplanan tıbbi atıkları taşıyan araçların hastaneler ve bertaraf tesisleri arasında dolaştıkları optimum rotaların bulunmasıyla, araçların kat ettikleri mesafenin azaltılması ve transfer süreçlerinde karbondioksit salınımının düşürülmesini amaçlamışlardır. Öncelikle uygulanan öbekteleme analizine bağlı kalınarak iki araç atama modeli programlamışlardır. Daha sonra araçların atık noktalarını dolaşarak tesislere dönüş rotalarını optimize eden karma tam sayılı matematiksel model ile doğaya salınan karbondioksit salınımını azaltmışlardır.

Montoya ve diğerleri[67], yeşil araç rotalama problemleri için alternatif yakıtlı taşıtların kullanılması ile bir yöntem geliştirmişlerdir. Çözüm için iki aşamalı sezgisel optimizasyon önermişlerdir. İlk aşamada rota havuzlarını belirlemek için önce kümele sonra rotala algoritmasını uygulamışlardır. İkinci aşamada belirlenen havuzlar matematiksel formülasyon ile çözülmüştür.

Koç ve Karaoğlan[40], sınırlı yakıt ikmali altyapısı ile bağlantılı sınırlı sürüş menziline kullanarak yeşil araç rotalama problemine çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Öncelikle lokasyonun önemini belirlemek için farklı seneryolar kullanmışlardır. Bunlar arasında öbekteleme analizinin kullanılması da yer almaktadır. Tüm seneryolar tavlama benzetimi ile çözüme ulaştırılmıştır.

Zhou and Lee[68], yeşil araç rotalama problemini doğrusal olmayan tam sayılı programlama ile modellemişlerdir. Öncelikle öbekteleme analizi yapılmıştır. Öbekteleme analizi yapılırken müşteri talepleri ve araç kapasitesi yerine öbektelerdeki müşteri sayıları dikkate alınmıştır. Öbekteleme aşamasında yakın komşular gruplandırılacak şekilde atama yapılmıştır. Bu aşamada  $(x, y)$  koordinat düzlemi kullanılmıştır. Daha sonra Lagrange gevşetme yöntemi ile problem çözüme ulaştırılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle  $(x,y)$  ve  $(x,y,z)$  koordinat düzlemlerinin ayrı ayrı kullanıldığı coğrafi bir öbikleme analizi yapılmıştır. Yükseklik faktörünün( $z$ ) eklenmesinin nedeni öbikleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir ağ oluşturarak aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesini sağlamaktır. Ayrıca kullanılan öbikleme analizi yöntemleri ile araç rotalarının belirlenmesi sırasında kullanılacak olan depoların yerleri belirlenmiştir. Zhou and Lee çalışmalarında[68] benzer şekilde öbikleme analizi yaparken  $(x,y)$  koordinat düzlemini kullanmışlardır fakat bu analize yükseklik faktörünü dahil etmemişlerdir. Bu çalışma, literatürden farklı olarak ilk defa yükseklik faktörünün öbikleme analizine dahil edilmesinden dolayı özgündür. Problem çözümünde kullanılan öbikleme analizi yöntemleri aşağıda ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

### 3.1.1. K-Ortalamlar

K-ortalamlar algoritması, 1967 yılında Mac Queen tarafından geliştirilen ve çeşitli alanlarda sıklıkla kullanılan bölümleyici kümeleme yöntemidir. Başlangıçta verilen küme sayısı kadar rastgele bir atama ile işleme başlanır ve nesnelere küme merkezlerine olan uzaklıklarına göre kendisine en yakın olan küme merkezine ait kümelere atanırlar[69]. K-ortalamlar algoritması basit ve hızlı olmasından dolayı pratikte en çok tercih edilen algoritmalarından biridir.

K-ortalamlar kümeleme algoritması, veri setlerini önceden belirlenen  $k$  tane kümeye bölmektedir. Her bir küme, hesaplanan küme merkezleri tarafından temsil edilir. Veriler ve merkez noktalar arasında karesi alınmış uzaklık matrisi ile hesaplama yapılmakta ve veriler en yakın merkezlere atanmaktadır.  $N$  tane veri setini  $(x_1, x_2, \dots, x_N)$ ,  $k$  tane ayrık alt kümelere  $(C_i, \quad i = 1, 2, \dots, k)$  ayırmaktadır. Her  $n_i$  veri noktası ( $0 < n_i < N$ ), Denklem 3.1'de belirtilen karesel hatalar ortalamasını minimize etmektedir.

$$J_{MSE} = \sum_{i=1}^k \sum_{x_t \in C_i} \|(x_t - c_i)\|^2 \quad (3.1)$$

$x_t$ , küme  $C_i$  içerisindeki  $t$ . veri noktasını ifade eden vektördür.  $c_i$  ise  $C_i$  kümesinin geometrik merkezidir. Algoritma bu amaç fonksiyonununun değerini düşürmeyi hedeflemektedir. Bu durumda  $\|(x_t - c_i)\|^2$ ,  $x_t$  veri noktası ve  $c_i$  küme merkezi arasındaki seçilmiş uzaklık girdilerinden oluşan bir karesel hata fonksiyonunu hesaplamaktadır.

Kümenin üyelik derecesi  $I(x_t, i)$ , 1 olduğunda  $i$ . kümedeki  $x_t$  veri noktasına bir veri

atanmaktadır.  $I(x_t, i)$  değeri Denklem 3.14'de belirtilen şart sağlandığında 1, diğer durumlarda 0 değerini almaktadır.

$$I(x_t, i) = \begin{cases} 1, & i = \operatorname{argmin} \| (x_t - c_j) \|^2 \quad j = 1, \dots, k \quad \text{ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.2)$$

Burada  $c_1, c_2, c_j, \dots, c_k$  aşağıdaki adım 1, adım 2 ve adım 3 aşamaları sonucunda elde edilen küme merkezleridir.

- Adım 1: Başlangıç olarak  $k$  tane  $(c_1, c_2, \dots, c_k)$  küme merkezleri rassal olarak belirlenir. Her bir veri noktası  $(x_t)$  ve tüm  $k$  küme merkezleri uyum içinde olana kadar ikinci ve üçüncü aşamalar tekrarlanır.
- Adım 2: Kümelerin üyelik fonksiyonu  $I(x_t, i)$  Denklem 3.14 kullanılarak belirlenir, ve başlangıçtaki tüm veriler için hangi kümeye daha yakın olduğu belirlenir.
- Adım 3: Her küme için  $(k)$  tekrar küme merkezleri hesaplanır.

K-ortalamlar algoritması yaygın olarak kullanılmasına rağmen bazı kısıtlamaları bulunmaktadır: küme sayıları önceden bilinmeli ve uygun olmalıdır, ayrıca k-ortalamlar algoritmasının sonucu başta belirtilen küme merkezlerine bağımlıdır[46].

### 3.1.2. Bulanık C-Ortalamlar

1973 yılında Dunn tarafından önerilen bulanık c-ortalamlar algoritması 1981'de Bezdek tarafından geliştirilmiştir[65]. Öbekleme analizi yaparken bulanık c-ortalamlar algoritması kullanılmasının temel amacı problemler için kullanılan veri setini bulanık  $c$  kısımlarına bölmektir.  $X$ 'in bulanık  $c$  kısımları, 0 ile 1 arasında değişen bir üyelik fonksiyonu ile tüm küme içerisindeki örnek noktalarının üyeliğini karakterize eden bir bölümdür. Ayrıca, her bir örnek nokta için üyelikler toplamı bütünlük içinde olmalıdır[70].

$X$  veri grubu,  $X = (X_1, X_2, \dots, X_N)$  ve  $X_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}) \in R^p$  şartları sağlanmak üzere  $P$  boyutlu bir özellik vektörü tarafından temsil edilen  $N$  tane veri nesnesinden oluşur. Daha sonra,  $N$  özellik vektörü  $P \times N$  boyutunda bir veri matrisi olarak temsil edilir. Bulanık kümeleme algoritması  $X$  verisini bulanık  $c$  kısımlarından oluşan kümelerin oluşturulmasını sağlayacak şekilde bölümler. Küme  $j$  içerisindeki  $X$ 'in üyelik derecesi  $u_{ji} \in [0, 1]$  olarak

temsil edildiğinde, bulanık kısımlar  $U$  matrisi olarak temsil edilir. Bu yüzden  $U$  matrisinin  $j$ . satırını bulanık kısımlardaki  $j$ . üyelik fonksiyonunun değerini içerir. Bulanık c-ortalama algoritması  $U$  matrisine, veri setinin bulanık  $c$  kısımlarına,  $V$ 'ye ve  $C$  prototipinin grubuna bağlı kalınarak Denklem 3.3'de belirtilen amaç fonksiyonunun minimizasyonuna dayalı olarak Bezdek tarafından öne sürülmüştür:

$$J(X;U,V) = \sum_{j=1}^C \sum_{i=1}^N u_{ji}^m d^2(X_i, V_j) \quad 2 \leq C \leq N \quad (3.3)$$

$V = (V_1, V_2, \dots, V_C)$ ,  $(V_j) \in R^P$  belirlenmesi gereken küme prototiplerinin  $C$  boyutlu değişkenler grubudur ve  $m \in (1, \infty)$  ise kümelerin bulanıklılığını tanımlayan bulanık indistir.  $d^2(X_i, V_j)$  herhangi bir  $X_i$  ve  $V_j$  uzaklıkları arasındaki ölçüdür. Önemsiz çözümlerden kaçınmak için,  $U$  değeri Denklem 3.4'de verilen kısıtları sağlamak zorundadır.

$$\sum_{j=1}^c u_{ji} = 1, \quad \forall i \quad \text{ve} \quad 0 < \sum_{i=1}^N u_{ji} < N, \quad \forall j \quad (3.4)$$

Bulanık öbekleme analizi Denklem 3.3'e göre iteratif optimizasyon gerçekleştirir[71].

#### **Bulanık C-Ortalama Algoritması:**

1.  $C$  ve  $\varepsilon$  değerlerini seç.
2. Başlangıç merkezlerini belirle,  $V_j, \quad j = 1, 2, \dots, C$
3. Tüm kümelerdeki her bir özellik vektörlerinin üyelik derecelerini hesapla.

$$u_{ji} = \frac{(1/d^2(X_i, V_j))^{1/(m-1)}}{\sum_{j=1}^C (1/d^2(X_i, V_j))^{1/(m-1)}} \quad (3.5)$$

4. Yeni küme merkezini hesapla ( $\hat{V}_j$ )

$$\hat{V}_j = \frac{\sum_{i=1}^N (u_{ij})^m X_i}{\sum_{i=1}^N (u_{ij})^m} \quad (3.6)$$

Denklem 3.5'i kullanarak üyelik derecesini  $u_{ij}$  den  $\hat{u}_{ij}$ ' ye güncelle.

5. Eğer  $\max |u_{ij} - \hat{u}_{ij}| < \varepsilon$  değerini sağlıyorsa durulmalı, diğer durumda denklem 3.6 kullanılmalıdır.  $\varepsilon \in (0, 1)$  durma kriteridir.

Bulanık c-ortalamlar algoritması her bir özellik vektörüne Denklem 3.5 kullanılarak bir üyelik derecesiyle (0 ve 1 arasında) her bir kümeye ait olma durumunu sağlar[72].

### 3.1.3. Ağırlıklandırılmış Bulanık C-Ortalamlar

Ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması bulanık c-ortalamlar algoritmasının spesifik bir türüdür. Bu problem türü için Esnaf ve Küçükdeniz[73] tarafından belirtilen amaç fonksiyonu Denklem 3.7’de belirtilmiştir.

$$J_p(U, v) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c W_k(u_{ik})^p \|a^k - v_i\|^2 \quad (3.7)$$

$U = \{[u_{ik}], 1 \leq i \leq c, 1 \leq k \leq n\}$  bölümlene matrisi,  $V = \{[v_i], 1 \leq i \leq c\}$ ,  $v_i \in R^m$  şartı ile birlikte son küme prototiplerinin vektörü,  $a^k (1 \leq k \leq n)$  kümelenen veri setlerini,  $p \in (1, \infty)$  ağırlık faktörüne göre üyelik derecesini düzenleyen faktörü,  $w_k$  ise  $a^k$ ’ya atanan güvenin ağırlığıdır.  $c$  ise yukarıda belirtilen her bir kuralı sağlayan nihai küme sayısını ifade etmektedir,

Amaç fonksiyonu Denklem 3.8’ de belirtilen kısıt şartı sağlanarak  $J_p(U, V)$ ’nin minimize edilmesidir[73].

$$\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1 \quad \forall k \quad (3.8)$$

Denklem 3.9 ve 3.10 ’da optimizasyon problemini çözen nihai model ve söz konusu üyelik fonksiyonu verilmiştir.

$$v_i = \sum_{k=1}^n W_k(u_{ik})^p a_k / \sum_{k=1}^n W_k(u_{ik})^p \quad 1 \leq i \leq c \quad (3.9)$$

$$u_{ik} = 1 / \sum_{j=1}^c \left( \frac{\|a_k - v_i\|}{\|a_k - v_j\|} \right)^{2/(p-1)} \quad 1 \leq i \leq c \quad 1 \leq k \leq n \quad (3.10)$$

Literatürdeki hesaplanan ağırlıklara ve toplu özellik vektörlerinin sayısına bağlı oluşturulan ağırlıklara karşın, Esnaf ve Küçükdeniz makalelerinde hesaplamaları ve toplu özellik vektörünü kullanmamışlardır. Aşağıda belirtilen adımlarda revize edilmiş ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmasının aşamaları verilmiştir. Esnaf ve Küçükdeniz makalelerinde[73] Denklem 3.9 ve Denklem 3.10’u aşağıdaki aşamalarda

tanımlandığı gibi geliştirmişlerdir.

- Adım 1: Küme sayısı( $c$ ),  $p$  faktörü için  $a$  değeri ve model için başlangıç değerleri ( $v_1, v_2, \dots, v_3$ ) belirlenmelidir.
- Adım 2: Üyelik değeri  $u_{ik}$  hesaplanması için denklem 3.10 kullanılır.
- Adım 3: Denklem 3.9 kullanılarak güncellenmiş küme merkezi değerleri ( $v_1^{yeni}, v_2^{yeni}, \dots, v_c^{yeni}$ ) hesaplanır.
- Adım 4: Eğer  $\max_i \{ \|v_i - v_i^{yeni}\|_{err} \} < \varepsilon$  şartı sağlanıyorsa durulur, sağlanmıyorsa tekrar Adım 2'ye gidilir.

Tüm ağırlıkların eşit olduğu durumda ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması ile klasik bulanık c-ortalamlar algoritmasının aynı olduğu unutulmamalıdır[73].

Ele alınan öbeleme analizi yöntemleri, coğrafi olarak benzer özelliklere sahip olan müşterilerin gruplandırılması ve her bir öbekteki depo merkezinin belirlenmesi için uygulanmıştır. Yapılan öbeleme analizlerinde ilk defa enlem ve boylam faktörlerine ek olarak müşterilerin sahip olduğu yükseklik faktörü kullanılmıştır. Yükseklik faktörü kullanıldığında oluşan farkı görmek için sadece enlem ve boylam değerleri kullanılarak da öbeleme analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. K-ortalamlar ve bulanık c-ortalamlar algoritmaları ile enlem ve boylam faktörleri kullanılarak analiz yapılmıştır. Yükseklikli bulanık c-ortalamlar ve yükseklikli k-ortalamlar algoritmaları ile enlem, boylam ve yükseklik faktörü kullanılarak analiz yapılmıştır. Ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmasında ise enlem, boylam ve yükseklik faktörlerine ek olarak müşterilerden toplanacak ürün miktarı da göz önüne alınarak deponun en fazla yüke sahip müşterilere yakın bir yere konumlandırılması sağlanmıştır. Ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmasında da hem yüksekliğin kullanıldığı hem de kullanılmadığı analiz yapılmıştır. Öbeleme sonuçları optimizasyon sürecinin bir sonraki adımında önerilen matesezgisel algoritmalar için girdi oluşturmaktadır.

### 3.2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL MODELİN KURULUMU

Araç rotalarının belirlenmesi sırasında amaç, toplam yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak da doğaya salınan  $CO_2$  miktarının minimize edilmesini sağlamaktır. Aracın eğimi arttıkça aracın durumuna karşıt yönde etki eden yer çekimine karşın mevcut hızı muhafaza etmek için ihtiyaç duyduğu motor gücü de artar. İhtiyaç duyulan güçteki artışa paralel olarak daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç duyulur. Aynı şekilde aracın yükünün artması lastiklerin yolla olan sürtünmesini arttırıp, aracın ivmelenmesini geciktirir. Yükü fazla olan bir araç eğimli bir yolda daha fazla güce ihtiyaç duyduğu için aracın yakıt tüketimi artar. Tüm bu etkiler, dolaylı olarak doğaya salınan  $CO_2$  emisyonunu arttırır. Bu nedenle matematiksel model kurulumunda yolun eğimi ve araç tarafından taşınan yük miktarı kullanılmıştır. Yolun eğimi matematiksel modele dahil edilerek aracın kendisine an yakın eğime sahip güzergahı seçmesi amaçlanırken, yük faktörü dikkate alınarak aracın depoya ulaşana kadar taşıdığı toplam yükün minimizasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır. Bu nedenle ilerleyen kısımlarda sırasıyla yük faktörünün ve eğim faktörünün matematiksel model üzerindeki etkileri verilmiştir. Bir sonraki aşamada ise matematiksel model kurulumu anlatılmıştır.

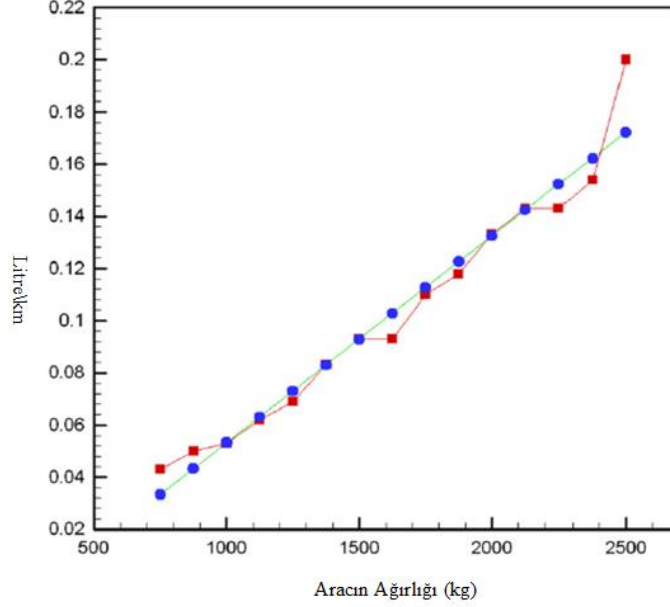
#### 3.2.1. Yük Faktörünün Matematiksel Model Üzerindeki Etkisi

Xiao ve diğerlerinin[26], kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için önermiş oldukları yakıt tüketimi optimizasyon modeli konulu makalelerinde ele aldıkları rapora göre; altyapı, ulaşım ve turizm sektöründe yakıt tüketimi aracın taşıdığı yük miktarı ile kuvvetli şekilde ilişkilendirilmiştir. Şekil 3.2'de Xiao ve diğerleri[26] tarafından oluşturulan, taşınan toplam yüke bağlı yakıt tüketim miktarının grafiği verilmiştir. Bu grafikte  $X$  eksenini aracın taşıdığı toplam yük miktarını kilogram cinsinden belirtirken,  $Y$  eksenini kilogram başına düşen yakıt tüketim oranını göstermektedir. Grafikte kırmızı olan ve kare şeklinde belirtilen alanlar gerçek verilerin analizi sonucunda elde edilmiştir, daire şeklinde ve mavi renk ile belirtilen kısımlar ise Denklem 3.11'de belirtilen Xiao ve diğerlerinin[26] makalelerinde kullandığı lineer regresyon modeli kullanılarak elde edilmiştir.

$$Y=0.0000793X+0.026 \quad (3.11)$$

Bu çalışmaya göre regresyon analizinin gerçek veriler ile ne kadar örtüştüğünün belirlenmesinde kullanılan ölçüt R-kare'dir. Kullanılan lineer regresyon modelinin R-kare

değeri 0,958'dir. Bu değer kullanılan regresyon analizinin genel bir model olarak kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.2: Taşınan Toplam Yük Miktarının Yakıt Tüketimi Üzerindeki Etkisi[26]

### 3.2.2. Eğim Faktörünün Matematiksel Model Üzerindeki Etkisi

Eğim faktörünün kullanılan yakıt tüketimi üzerindeki etkisinin matematiksel model kısmında kullanılması için ABD Enerji Bakanlığı İnternet sitesinde yayınlanan alternatif yakıt veri merkezinden yararlanılmıştır[74]. Kullanılan veri seti farklı türdeki araçların eğime bağlı ortalama yakıt tüketimini göstermektedir. Veri setinde bulunan araçlardan problem türüne göre en uygun olanı seçilerek farklı eğimlerdeki yakıt tüketimini gösteren lineer regresyon modeli kurulmuştur. Bu lineer regresyon modelinde yolun eğimi bağımsız değişkeni, yakıt tüketimi ise bağımlı değişkeni ifade etmektedir. Regresyon analizinin yapılması için normallik ve otokorelasyon şartları sağlandığı için, SPSS uygulaması kullanılarak matematiksel model kurulduğunda kullanılan Denklem 3.12'de belirtilen lineer regresyon modeli elde edilmiştir. Bu denklemdeki  $X$  parametresi mevcut durumdaki eğimi,  $Y$  ise eğime bağlı yakıt tüketimini belirtmektedir. Bu modelin R-kare değeri ise 0,940'dır.

$$Y = 0,402X + 3,709$$

(3.12)



Kullanılan veri setinde yolun eğimi belirlenirken Denklem 3.13 kullanılmıştır. Bu denkleme göre  $z_i, z_j$  değerleri veri setinde belirtilen müşterilere ait yükseklikleri ve farkı alındıklarında ikili müşteriler arasındaki yükseklik farkını belirtmektedir.  $x_i, x_j$  değerleri müşterilerin lokasyonlarına ait boylam değerlerini,  $y_i, y_j$  değerleri ise müşterilerin lokasyonlarına ait enlem değerlerini belirtmektedir.

$$S_{ij} = \frac{|z_i - z_j|}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} \quad (3.13)$$

### 3.2.3. Modelin Formülasyonu

Matematiksel modelin kurulumu sırasında eğim ve yük faktörlerinin modele dahil edilebilmesi için, her iki parametre de kullanılarak elde edilen lineer regresyon modelleri kullanılmıştır. Bu regresyon modelleri, oluşturulan amaç fonksiyonuna dahil edilerek ilgili parametre için yakıt tüketim miktarı hesaplanmıştır. Araç rotalarının oluşturulması sırasında aracın kapasitesi gözardı edilmekte ve her öbek için bir araç kullanılmaktadır. Her tur depoda başlamakta ve depoda bitmektedir. Bu model ile öbekteleme analizi sonucunda oluşan her öbek için ayrı bir rota oluşturulmakta ve analiz sonucunda her bir öbekteki yakıt tüketim miktarı toplanarak toplam yakıt tüketimi elde edilmektedir.

#### Modelin İndisleri

$G = \{N, A\}$  (Küme verisi)

$N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$  (Düğüm indisleri)

$A = \{0, 1, 2, \dots, n\}$  (Her düğüm çifti arasında tanımlanan bağlantılar kümesi)

#### Modelin Parametreleri

$d_{ij} = i$  ve  $j$  müşterileri arasındaki uzaklık

$S_{ij} = i$  ve  $j$  noktaları arasındaki yolun eğimi

$f_{ij} = i$  ve  $j$  noktaları arasındaki taşınan yük miktarı

$q_i = i$  noktasının yükü/ talebi

### Modelin Karar Değişkeni

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine gidiliyorsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.14)$$

### Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_i \sum_j d_{ij}(3,709 + 0,402S_{ij})x_{ij} + \sum_i \sum_j d_{ij} \left( \left( \sum_{t=0}^n q_t - \sum_{k=0}^i q_k \right) 0,0000793 + 0,026 \right) x_{ij} \quad (3.15)$$

### Kısıtlar:

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N_0 \quad (3.16)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N_0 \quad (3.17)$$

$$\sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{j \in N} f_{ji} = q_i \quad \forall (i, j) \in N_0 \quad (3.18)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A \quad (3.19)$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A \quad (3.20)$$

Problem için belirlenen amaç fonksiyonu Denklem 3.15'te belirtilmiştir. Bu amaç fonksiyonu iki bileşenden oluşmaktadır. İlk bileşen hesaplanan eğim katsayılarının kullanılması ile mesafeye bağlı yakıt tüketimini minimize etmektedir. İkinci bileşen ise aracın kat etmiş olduğu mesafeye kadar taşımış olduğu toplam yük miktarına bağlı kalarak, mesafeye bağlı yakıt tüketimini minimize etmektedir. Kısıtlar içerisinde belirtilen Denklem 3.16 ve Denklem 3.17 birlikte kullanılarak, her bir müşterinin en az bir defa ziyaret edildiğini garanti altına almaktadır. Denklem 3.18, ziyaret edilen her bir müşterinin talep miktarına göre artan akışı modelleyen denge kısıtıdır. Denklem 3.19, karar değişkenininin 0 ile 1 değerlerini alabildiğini; Denklem 3.20,  $i$  ve  $j$  noktaları arasında taşınan yük miktarınının 0 veya 0'dan büyük olması gerektiğini belirtmektedir.

### 3.3. METASEZGİSEL ALGORİTMALAR

Metasezgisel algoritmalar, problem için verilen kalite ölçüsüne göre aday çözümleri oluşturan ve iteratif olarak bu çözümleri geliştirmeye çalışan hesaplamalı optimizasyon yöntemleridir. Metasezgisel algoritmalar ile çok büyük bir arama uzayında arama yapılabilir fakat hiçbir zaman bulunan çözümün en iyi olduğu garanti edilemez. Birçok metasezgisel algoritma stokastik optimizasyon yöntemlerinin bir uygulamasıdır. Metasezgisel algoritmalarda amaç optimum sonuca en yakın sonucu üretmek için etkili bir şekilde arama uzayını keşfetmektir[75]. Metasezgisel algoritmalar çok basit problemlere uygulanabileceği gibi çok karmaşık problemlere de uygulanabilmektedir. Bu çalışmada problem çözümünde kullanılan metasezgisel algoritmalar; genetik algoritma, tavlama benzetimi, karınca kolonisi algoritması ve parçacık sürü optimizasyonudur. Bu algoritmalar, literatürdeki araç rotalama problemleri ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı için tercih edilmiştir.

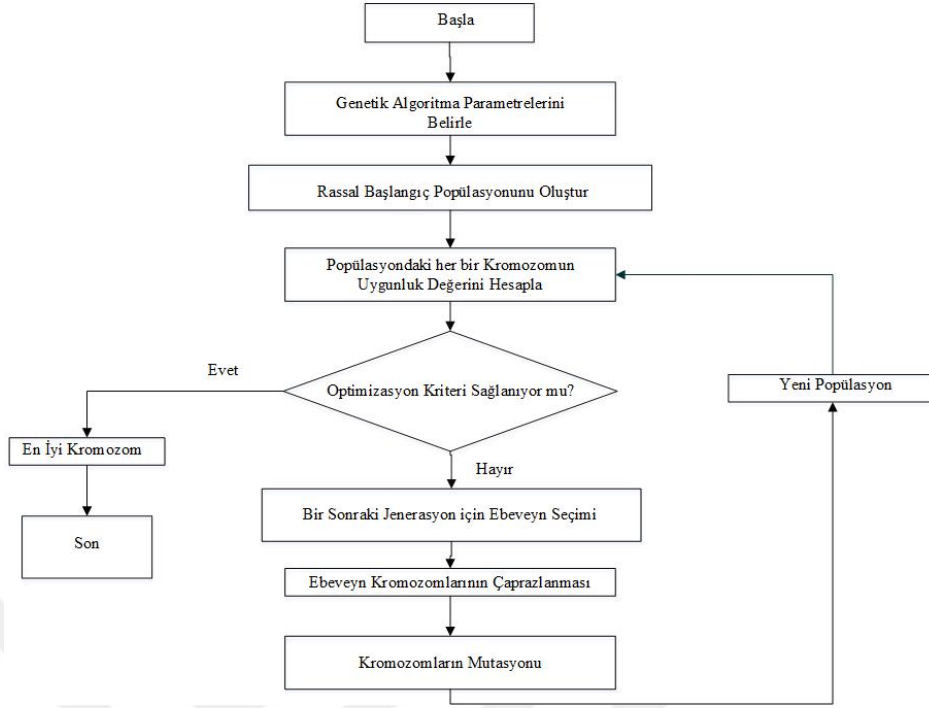
#### 3.3.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritma(GA), doğadaki evrim mekanizmasını örnek alan bir arama metodudur. Genetik algoritmaların temel ilkeleri ilk kez Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Holland 1975 yılında yaptığı çalışmalarını "Adaptation in Natural and Artificial Systems" adlı kitabında bir araya getirmiştir. İlk olarak Holland evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde optimizasyon problemleri için kullanmıştır. Daha sonra öğrencisi olan David Goldberg tezinde, gaz boru hattının kontrolünü içeren bir problemin çözümünü genetik algoritma (GA) ile gerçekleştirmiştir[18]. Genetik algoritmanın genel yapısı Şekil 3.3'de gösterildiği gibidir [76].

Genetik algoritma çözümün genetik kodlanmasına karar verilmesi ile başlar, daha sonra başlangıç çözümü oluşturulur ve kısıtların kullanılması ile uygunluk değerlendirmesi yapılır. Son olarak genetik operatörlerden çaprazlama, mutasyon ve seçim gibi yöntemler genetik algoritmadaki popülasyona uygulanır. Bu uygulama süreci önceden tanımlanan jenerasyon sayısı sağlanana ya da optimum çözüme ulaşıncaya kadar devam eder[77].

##### 3.4.1.1. Genetik Kodlama

Problemin kromozomlara nasıl kodlanacağı genetik algoritmanın ana sorunlarından biridir. Kodlamalar ikili değişken olarak kodlanmaktadır. Fakat bunun çok iyi sonuçlar vermesi



Şekil 3.3: Genetik Algoritma Genel Yapısı [76]

imkansızdır. Son yıllarda ise etkili kodlama yöntemleri ortaya çıkmıştır. Kullanılan sembollere göre ayrıldığında kodlamalar ikili kodlama, gerçek sayılı kodlama, tam sayılı-durağan permütasyon kodlama ve genel veri yapısı kodlamasıdır. Kodlamanın yapısına göre ise tek boyutlu ve çok boyutlu olmak üzere ikiye ayrılır. Uygun kodlama yöntemi belirlenirken etkili bir kodlama yöntemi oluşturulduğundan emin olunması gerekir. Kodlamanın etkinliğinin değerlendirilmesi için uzay, zaman, uygunluk, benzersizlik, kalıtsallık ve yerellik özellikleri kullanılabilir[77].

#### 3.4.1.2. Başlangıç Çözümünün Oluşturulması

Genetik algoritma optimizasyon stratejisine dayalı bir popülasyona sahiptir. Başlangıç çözümlerinin kromozom ile ifade edilmesi için bazı kromozomlar rasgele sırayla oluşturulur, bazıları ise sezgisel yöntemlerle oluşturulur. Sezgisel başlangıç değeri oluşturmanın genetik algoritmanın çözüm bulmasına yardım etmesi daha hızlı olmasına rağmen, ağ tasarımı problemleri gibi büyük çaplı problemlerde çözümün küçük bir parçasını keşfedebildiğinden dolayı global optimum çözümü bulması zordur[78]. Daha sonra uygunluk değerlendirmesinde kod açma yöntemi kullanılarak, kısıtların göz önüne alındığı amaç fonksiyonu değerinin uygunluğu değerlendirilir.

#### 3.4.1.3. Uygunluk Değerlendirilmesi

Uygunluk değerlendirilmesinde kod çözme yöntemi kullanılarak ve kısıtlara bağlı kalınarak amaç fonksiyonunun çözüm değerinin değerlendirilmesi yapılır. Genellikle amaç fonksiyonu her bir bireyin değerlendirilmesini sağlayan bir mekanizma olarak ele alınır. Fakat bunun sağladığı yarar aralığı problemden probleme farklılık gösterir.

Genetik algoritma arama yaptığında popülasyon, uygunluk ve yeni popülasyon yapısını kullanılarak değişime uğrar ya da evrim geçirir. Bu süreçte nispeten iyi olan çözümler yeniden üretilir ve kötü olanlar çoğalma işlemi gerçekleştiremezler. Daha sonra elde edilen kromozomlara genetik operatörler uygulanır. 3 tane yaygın genetik operatör bulunmaktadır. Bunlar; seçim, çaprazlama ve mutasyondur[77].

#### **3.4.1.4. Seçim**

Seçim operatörü yüksek kaliteli kromozomlara bir sonraki nesilde var olabilmeleri için daha iyi bir şans sağlayarak popülasyonun ortalama kalitesini iyileştirmeyi amaçlar[77]. Birçok seçim yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda belirtildiği gibidir.

- **Rassal Seçim Yöntemi:** Bu yöntem ile birlikte ebeveynlerden popülasyon sayısı kadar rassal seçim yapılır[79].
- **Sıralı Seçim Yöntemi:** Bu yöntemde seçim uygunluk değerine göre değil, popülasyondaki orana göre yapılır. Kromozomlar uygunluk değerlerine göre sıralanır. Bu yöntemde seçim popülasyonun uygunluk değerinden bağımsızdır yalnızca popülasyon içindeki oran dikkate alınarak yapılır[80].
- **Turnuva Yöntemi:** Bu yöntemde kromozomlar bir eşleşme havuzuna atılarak eşleştirilirler. Bu eşleşmelerden galip çıkan birey güçlü olarak tanımlanır ve bir sonraki nesile geçer[79].
- **Elitizm Yöntemi:** Bu yöntem en güçlü bireyin bir sonraki nesilde yer alması ve gelecek nesillerin güçlendirilmesi için uygulanır. Çaprazlama ve dönüşüm sonrasında en güçlü birey yeni popülasyon arasında yer almamışsa, yeni nesildeki en zayıf birey öldürülerek yerine bir önceki neslin en güçlü bireyi yerleştirilir[79].
- **Rulet Çarkı Yöntemi:** Bu yöntemde bir sonraki nesil için kromozomlar uygunluk değerlerine göre seçilirler. Daha iyi kromozomlar, daha fazla seçilme şansına sahip olanlardır[18].

### 3.4.1.5. Çaprazlama

Çaprazlama önemli genetik operatörlerden biridir. Tek seferde iki kromozom üzerinde çalışır ve her iki kromozomun özelliklerini birleştirerek çoğalma işlemini gerçekleştirir[77]. Çaprazlama operatörünün en önemli özelliği çaprazlama olasılığıdır. Çaprazlama operatörünün gerçekleşmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bazı çaprazlama yöntemleri aşağıda belirtildiği gibidir.

- **Uniform Çaprazlama:** Bu yöntemde kromozom uzunluğuyla aynı uzunlukta bir çaprazlama maskesi oluşturulur ve bu maskedeki ikili değerlerin 0 veya 1 olmasına göre oluşacak yeni kromozomlara bilgi aktarılır. Çaprazlama maskesindeki değer 1 olduğunda bu noktadaki oluşacak yeni gen değeri ilk kromozomdan, 0 olduğunda ise ikinci kromozomdan alınır.
- **Tek Noktalı Çaprazlama:** Tek noktalı çaprazlamada iki gen üzerinde sabit bir kesme nokta seçilir. Bu kesme noktasına kadar olan bölüm ilk kromozom'dan alınırken, kesme noktasından sonraki bölüm ise ikinci kromozom'dan alınıp yeni bireyler oluşturulur.
- **İki Noktalı Çaprazlama:** İki noktalı çaprazlamada ise yine aynı mantıkla 2 sabit kesme noktası belirlenir. Çoğalma işlemi ailenin çaprazlama noktaları arasında kalan bölümler arasında iki seçim noktası boyunca yer alan, ilk noktanın solundaki ve ikinci noktanın sağındaki gen değerlerinin birleştirilmesiyle elde edilir. İkinci çoğalma işlemi ise yine aynı sürece tabi tutularak ailelerdeki genlerin değiştirilmesi yöntemi kullanılarak üretilir[81].

### 3.4.1.6. Mutasyon

Çaprazlama işlemi gerçekleştirildikten sonra oluşan yeni bireylere sahip olan bireyler kümesi, mutasyon işlemini gerçekleştirecektir. Mutasyon, çeşitli kromozomlarda rastgele değişiklikler üreten bir operatördür. Mutasyona ulaşmanın en basit yolu bir veya daha fazla gen değiştirmek olabilir. Genetik algoritmada mutasyon, yeni jenerasyonda var olabilmeleri için seçim sırasında kaybolan genlerin yerlerinin değiştirilmesi ve önceki popülasyonda var olmayan genin kullanılması[77] açısından çok önemli bir paya sahiptir. Genetik algoritmanın performansı iki genin rasgele seçilip değerlerinin değiştirilmesine dayalı basit bir mutasyon uygulaması ile geliştirilebilir[81].

### 3.3.2. Karınca Kolonisi Algoritması

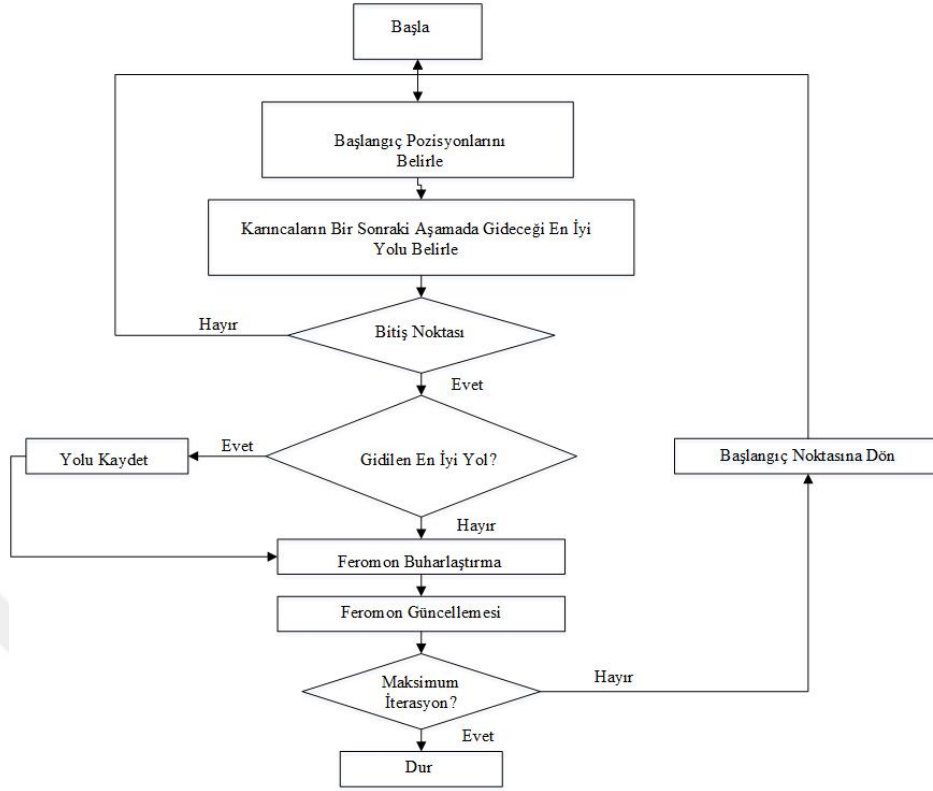
Karınca kolonisi algoritması(KKA), ilk olarak 1992 yılında Dorigo'nun doktora tezinde ele alınan[82] ve karınca sistemi olarak adlandırılan sınıflandırma algoritmasıdır. Gerçek karıncaların hareketlerinden esinlenilerek ortaya çıkan bu algoritma, yerel problem verilerine dayanan bazı hesaplamalı yapı dizinleri ve önceki elde edilen sonuçların kalitesine göre ortaya çıkan dinamik hafıza üzerine yapılan paralel araştırmadır. Farklı arama dizilerinin etkileşiminden ortaya çıkan kolektif davranışlarının, kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmede etkili olduğu kanıtlanmıştır[83].

Biyolojik karıncalar yiyecek bulma davranışları sırasında en kısa yolu bulmak için sürü zekasından yararlanmaktadırlar. Karıncalar yiyecek arama sırasında feromon adında salgıladıkları hormona dayalı karmaşık sosyal bir davranış sergilemektedir. Feromon maddesi diğer karıncaları çeker ve diğer karıncaların da takip edeceği bir güzergah oluşturur. Bu yolu kullanan karıncaların sayısındaki artışa bağlı olarak kullanılan yoldaki feromon değerinde de artış görülür ve diğer karıncaların da bu yolu seçme ihtimali artar. Yiyecek bulmak için en kısa yolda daha fazla feromon maddesi salgılanır çünkü hedefe ulaşma süreleri azalır [82]. Eğer kullanılan yol en kısa yol değilse zamanla bu yol kullanılmaz ve feromon maddeleri belli bir oranda buharlaşır. Buharlaşma oranı fazla olan yolun kullanımı azalır. Algoritma oluşturulurken bu davranıştan esinlenilmiştir[84]. Karınca kolonisi algoritmasının temel yapısı Şekil 3.4'de belirtildiği gibidir[82].

Karınca  $k$ , ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) yönlerini her bir yoldaki bilgiye göre tanımlar. Her bir karınca takip edeceği güzergahı yolda var olan feromon maddesinin şiddetine ve sezgisel faktöre göre belirler [85]. Karınca  $k$ 'nın bir sonraki yolu seçme olasılığı Denklem 3.21'de belirtilmiştir.

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}^k]^\alpha [\eta_{ij}^k]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}^k]^\alpha [\eta_{il}^k]^\beta} & j \in N_i^k \\ 0 & j \notin N_i^k \end{cases} \quad (3.21)$$

$\tau_{ij}$ , yol( $i, j$ )'deki feromon yoğunluğunu ifade etmektedir.  $\alpha$  ve  $\beta$ , feromon şiddetinin ( $\tau$ ) ve sezgisel faktörün ( $\eta$ ) göreli önemini kontrol eden parametrelerdir. Yeni yoldaki feromon



Şekil 3.4: Karınca Kolonisi Algoritması Genel Yapısı[82]

konsantrasyonu Denklem 3.22’de belirtilmiştir[82].

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - p) * \tau_{ij} \quad (3.22)$$

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (3.23)$$

$$\Delta \tau_{ij}^k = \frac{1}{C^k} \quad (3.24)$$

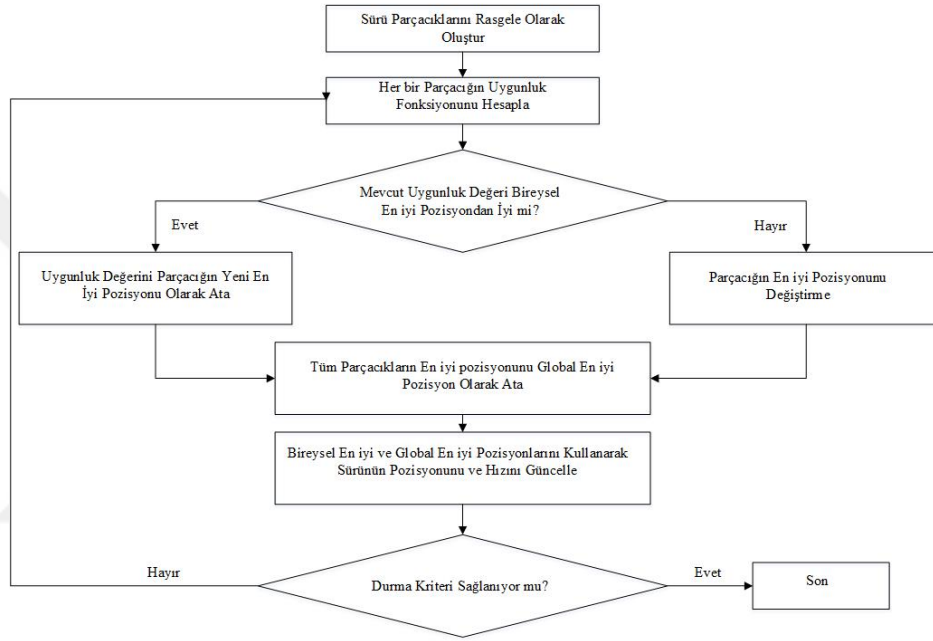
Denklem 3.22’de gösterilen sabit  $p$  sayısı, 0 ile 1 arasında bir değer almakla beraber feromon değerinin buharlaşma katsayısını belirtmektedir.  $\Delta \tau_{ij}^k$  değeri  $k$ . karıncanın yol( $i,j$ )’deki mevcut yol ile gidilen yol arasındaki feromon yoğunluğu artışını temsil etmektedir[85]. Denklem 3.24’de belirtilen  $C^k$  ise karınca  $k$ ’nın seçtiği yola göre sahip olduğu maliyet veya ödül değeridir[82].

### 3.3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu(PSO), sosyal davranışlara benzetim yapma girişimiyle ortaya çıkan global optimizasyon tekniğidir. 1995 yılında Eberhart ve Kennedy tarafından



tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Sürü zekasına dayalıdır ve sürüdeki her bir parçacık, problemin optimize edilmesi için aday çözümleri ifade etmektedir. Bu algoritma parçacıkların etkileşimi ile karmaşık problem uzayındaki optimum alanların bulunmasını sağlar. Genetik operatörlerin kullanılması yerine her bir parçacık kendi uçuşlarını önceki uçuş deneyimlerine ya da uçuş yaparken birlikte olduğu sürüdeki bireylere göre yapar. Adhikari ve Agrawal[86] tarafından ele alınan parçacık sürü optimizasyonunun genel yapısı Şekil 3.5’de belirtildiği gibidir.



Şekil 3.5: Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Genel Yapısı[86]

Her bir parçacık  $D$  boyutlu bir uzayda bir nokta olarak ve tüm parçacıkların numaraları  $i$  olarak ifade edilir.  $i$ . birey  $X_i = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}$  olarak ifade edilir.  $i$ . parçacığın en iyi pozisyonu kaydedilir ve  $P_i = p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id}$  olarak ifade edilir. Popülasyondaki tüm parçacıklar içindeki en iyi popülasyon indisi  $g$  sembolü ile ifade edilir. Parçacık  $i$  için pozisyon değişim oranı (hız)  $V_i = v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id}$  olarak ifade edilmektedir. Parçacıklar Denklem 3.25 ve 3.26'ya göre güncellenmektedir.

$$V_{id}(t+1) = W \times v_{id}(t) + c_1 \times rand() \times [p_{id}(t) - x_{id(t)}(t)] + c_2 \times Rand() \times [p_{gd}(t) - x_{id(t)}(t)] \quad (3.25)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad 1 \leq i \leq n; 1 \leq d \leq D \quad (3.26)$$

$c_1$  ve  $c_2$  iki pozitif değişkendir.  $Rand()$  ve  $rand()$ ,  $[0,1]$  aralığında düzgün dağılan iki rassal

sayıdır,  $W$  eylemsizlik ağırlığıdır. Denklem 3.25, parçacığın en iyisi ve sürünün en iyisini göz önüne alarak parçacığın önceki hızına ve uzaklığına göre parçacığın yeni hızını hesaplar. Daha sonra parçacık Denklem 3.26'yı kullanarak yeni pozisyonuna doğru hareket eder. Her bir parçacığın performansı önceden tanımlanan uygunluk fonksiyonuna göre ölçülür.

Büyük eylemsizlik ağırlığı değeri( $W$ ) global aramayı, düşük eylemsizlik ağırlığı değeri ise yerel aramayı kolaylaştırmaya yöneliktir. Eylemsizlik ağırlığının uygun seçilmesi global ve yerel aramanın dengelenmesini sağlar ve optimumu bulmak için daha az iterasyon sayısı gerekir[87].

### 3.3.4. Tavlama Benzetimi

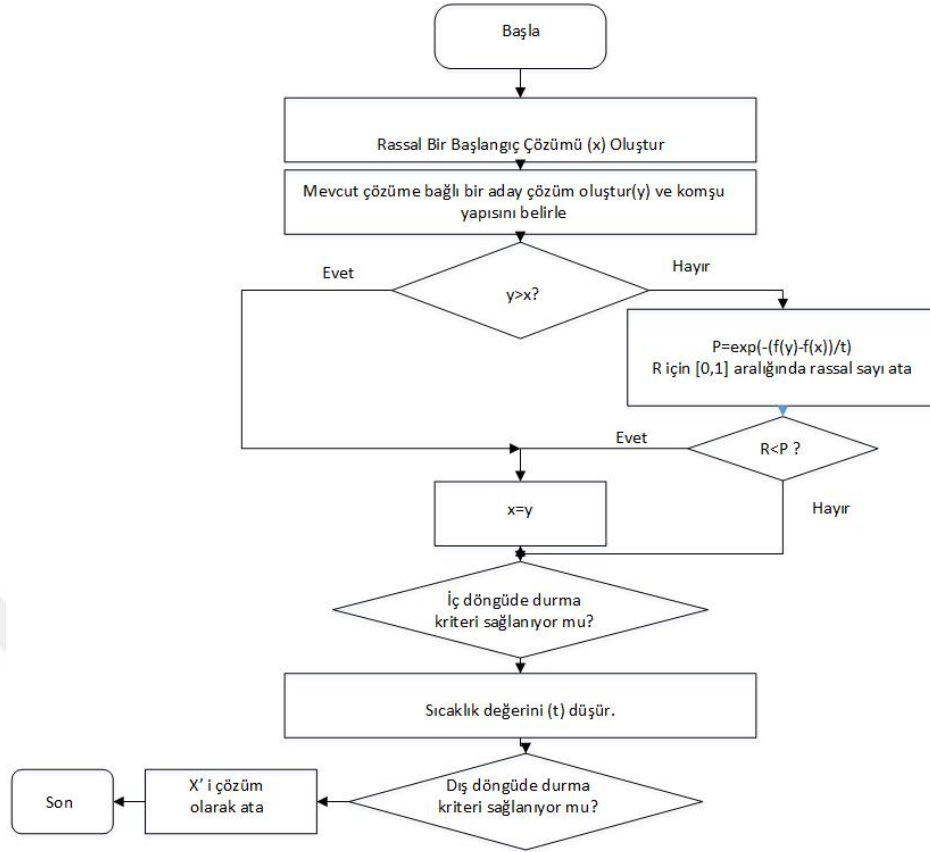
Tavlama benzetimi(TB), kombinatoriyal optimizasyon problemleri için geliştirilmiş bir stokastik komşu arama yöntemidir. İlk olarak Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından katıların tavlama süreci ve kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin çözüm metodolojisi arasındaki ilişkiye dayalı olarak ele alınmıştır[88]. Tavlama yoğun madde fiziğinde bir katı maddenin kristal yapısını düşük enerji durumuna sahip bir şekilde yeniden yapılandırmak için kullanılan fiziksel bir işlemdir. Bir katı önce erime noktasının üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Daha sonra ısı banyosunun sıcaklığı yavaş yavaş soğutulur. Katı maddenin tüm parçacıkları kendilerini yeniden düzenler ve düşük enerji durumuna doğru yönelirler. Parçacık soğuması yeterince yavaş gerçekleştiğinde, en düşük enerji durumuna ulaşılan kadar daha düşük enerji halleri elde edilir[89]. Tavlama benzetimi algoritması bu süreç örnek alınarak tasarlanmış optimizasyon problemlerindedir.

Tavlama benzetimi algoritması bir başlangıç çözümüyle( $x$ ) başlar. Rassal veya bazı kurallar kullanılarak bir aday çözüm( $y$ ) üretilir. Daha sonra Denklem 3.27'de belirtilen formülle hesaplanan kabul olasılığı kullanılarak  $y$  çözümü yeni çözüm olarak kabul edilir.

$$p = \begin{cases} 1 & f(y) \leq f(x) \text{ ise} \\ e^{-(f(y)-f(x))/t} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.27)$$

Burada  $t$  sıcaklık parametresini ifade etmektedir. Zhan ve diğerleri[90] tarafından belirlenen tavlama benzetimi algoritma yapısı Şekil 3.6'da belirtildiği gibidir.

TB algoritmasının uygulanması için komşuluk yapısı ve soğuma çizelgesi bilinmek



Şekil 3.6: Tavlama Benzetimi Algoritması Genel Yapısı[90]

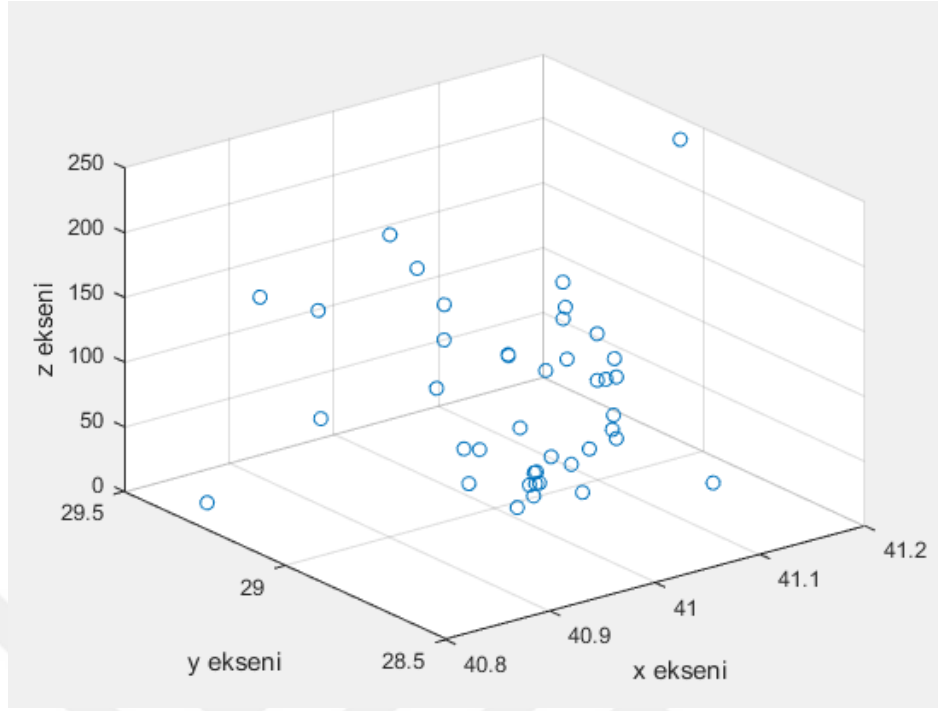
zorundadır. Bunlar tavlama benzetimi algoritmasında önemli bir etkiye sahiptir. Soğutma durumu Denklem 3.28’de belirtildiği gibidir[89].

$$t_{i+1} = ct_i \quad i = 0, 1, \dots \quad 0.9 \leq c < 1 \quad (3.28)$$

Maghaddam’a göre soğutma katsayısı( $c$ ), 0,9 ve 1 aralığında olmalıdır. Bazı kaynaklarda ise soğutma katsayısı değeri 0,8 ve 0,99 arasında olacak şekilde belirtilmiştir. Soğutma katsayısı ve başlangıç sıcaklığı, tavlama benzetimi algoritması için en önemli iki parametredir[90].

### 3.4. ÖRNEK UYGULAMA

Örnek uygulama aşamasında rassal olarak oluşturulmuş 42 tane müşteriden ürün toplanmasını sağlayan araç rotalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Öncelikle problemin uygulanabilmesi için 42 noktanın enlem, boylam ve yükseklik değerleri Google Earth uygulaması kullanılarak, müşterilerden toplanacak ürün miktarı ise rassal olarak belirlenmiştir. Oluşturulan veri setine ait koordinat izdüşümü Şekil 3.7’de gösterildiği



**Şekil 3.7:** Müşterilerin Koordinat İzdüşümleri

gibidir. İlk 8 müşteriye ait enlem, boylam, yükseklik ve ürün miktarı değerleri Tablo 3.1’de örnek olarak belirtilmiştir. Problemin çözüm aşamasında 6 farklı öbikleme analizi yöntemi uygulanmıştır. Öncelikle yükseklik faktörünün kullanılmadığı, sadece enlem ve boylam değerlerinin kullanıldığı k-ortalamlar ve bulanık c-ortalamlar algoritmaları; daha sonra enlem, boylam ve müşterilerden toplanacak ürün miktarlarının kullanıldığı yüksekliklessiz ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması; ardından enlem, boylam ve yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamlar ve bulanık c-ortalamlar algoritmaları; en son olarak enlem, boylam, yükseklik ve müşterilerden toplanacak ürün miktarlarının kullanıldığı yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması uygulanmıştır.

**Tablo 3.1:** Örnek Uygulama Veri Seti

No	Enlem	Boylam	Yükseklik	Ürün Miktarı
1	41,0847587585449	29,0510406494140	91	14
2	41,0459899902343	29,0198993682861	16	20
3	41,0126037597656	28,9618377685546	64	40
4	40,9953117370605	29,0645694732666	13	25
5	41,1055946350097	29,0253410339355	109	30
6	40,9870262145996	29,0528125762939	43	60
7	41,0297050476074	28,9883213043212	13	100
8	41,1444511413574	29,1008682250976	29	46

Yükseklik faktörünün analize dahil edilmesinin nedeni öbikleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir ağ oluşturarak, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesini sağlamaktır. Öbikleme analizi sonucunda elde edilen tüm öbeklerdeki araç rotalarının belirlenmesi için genetik algoritma, tavlama benzetimi ve parçacık sürü optimizasyonu olmak üzere 3 farklı metasezgisel algoritma uygulanmıştır. Yükseklik faktörü kullanılarak ve yükseklik faktörü kullanılmayarak yapılan öbikleme analizi yöntemleri, araç rotalarının belirlenmesi sırasında 3 farklı metasezgisel algoritma yönteminde kullanılan amaç fonksiyonu değerine bağlı kalınarak karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler ile en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip öbikleme analizi yöntemi ve metasezgisel algoritma belirlenmiştir.

Öbikleme analizi yapılırken küme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Öbikleme analizi yöntemlerinin kodlanması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle yükseklik faktörünün kullanılmadığı, sadece enlem ve boylam değerlerinin kullanıldığı k-ortalamlar ve bulanık c-ortalamlar algoritmaları; ardından enlem, boylam ve müşterilerden toplanacak ürün miktarının kullanıldığı yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması uygulanmıştır. Yükseklikli k-ortalamlar algoritmasının öbek grafiği Şekil 3.8'de ve öbikleme analizi sonuçları Tablo 3.2'de, yükseklikli bulanık c-ortalamlar algoritmasının öbek grafiği Şekil 3.9'da ve öbikleme analizi sonuçları Tablo 3.3'de, yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmasının öbek grafiği Şekil 3.10'da ve öbikleme analizi sonuçları Tablo 3.4'de gösterildiği gibidir.

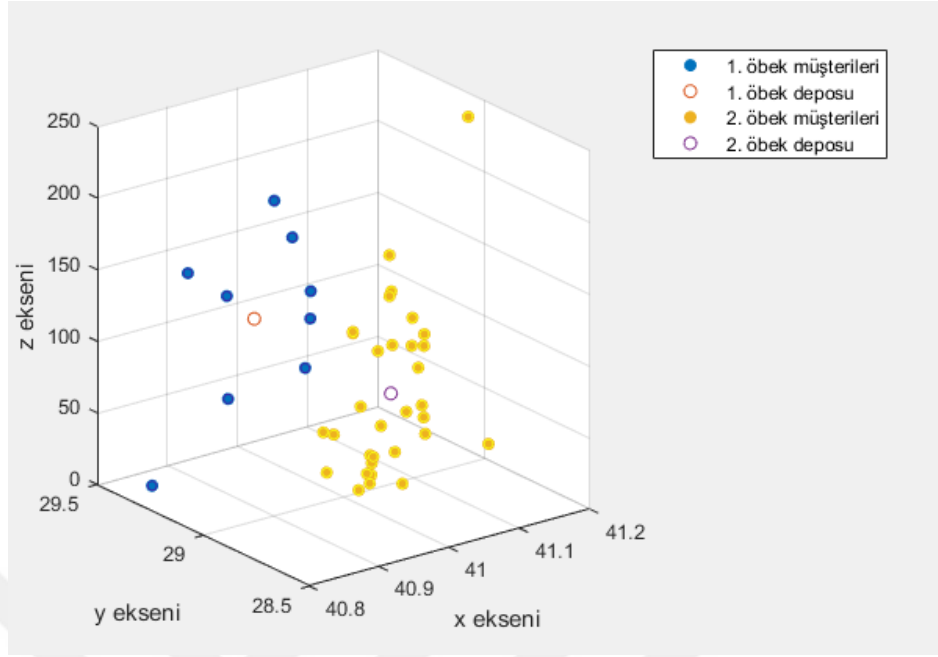
**Tablo 3.2:** Yükseklikli KO Algoritması Öbikleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Müşteri Sayısı	Ürün Miktarı
1	( 40,9440; 29,2366; 115)	9	530
2	(41,0532; 28,9531; 68,3939)	33	1820

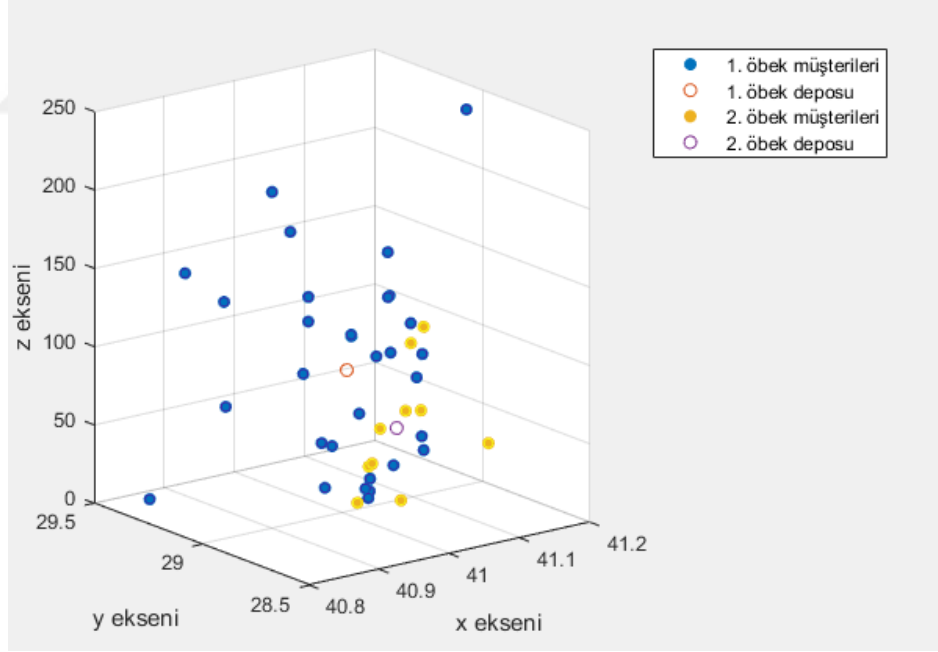
**Tablo 3.3:** Yükseklikli BCO Algoritması Öbikleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Müşteri Sayısı	Ürün Miktarı
1	(41,0315; 29,0807; 83,6250)	32	1755
2	(41,0212; 28,8159; 61,6000)	10	595

Daha sonra enlem, boylam ve yükseklik değerlerinin kullanıldığı, yükseklikli k-ortalamlar ve yükseklikli bulanık c-ortalamlar algoritmaları uygulanmıştır. Yükseklik faktörünün analize dahil edilmesinin nedeni öbikleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı



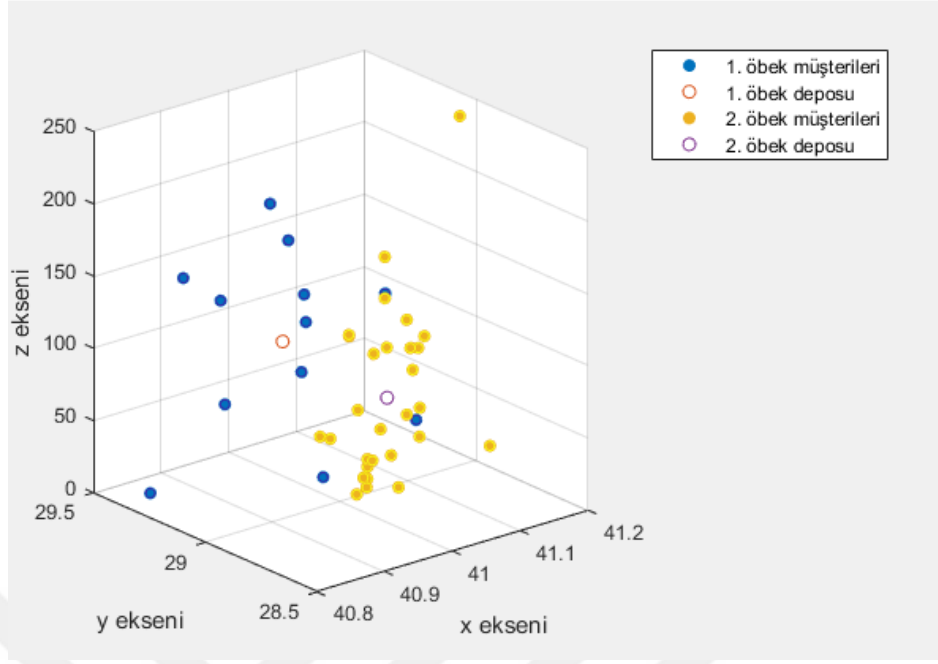
Şekil 3.8: Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği



Şekil 3.9: Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği

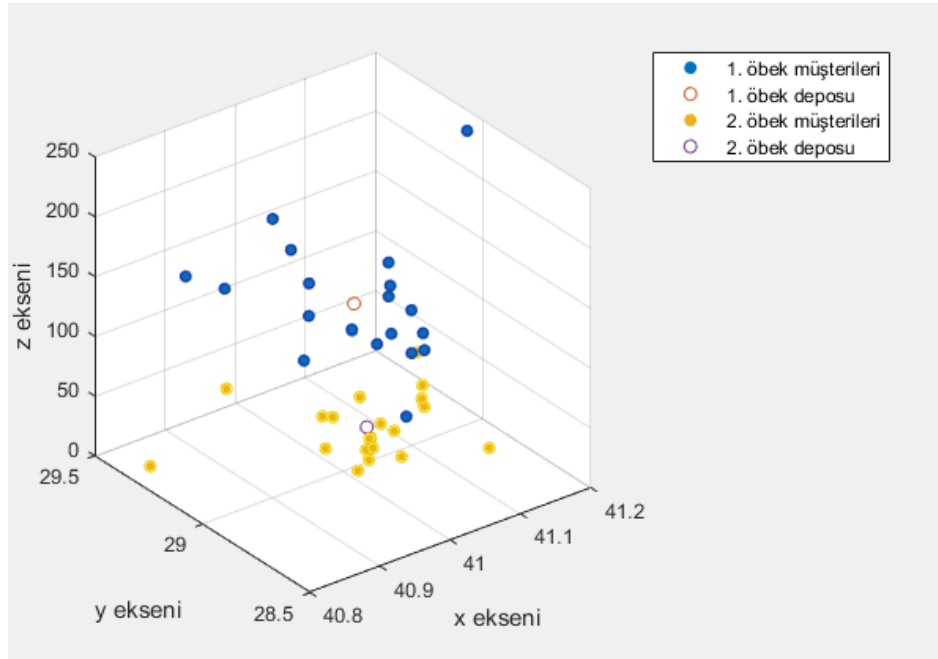
Tablo 3.4: Yükseklikli ABCO Algoritması Öbekleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Müşteri Sayısı	Ürün Miktarı
1	(40,9791; 29,1967; 100,0833)	12	656
2	(41,0464; 28,9335; 69,700)	30	1694



**Şekil 3.10:** Yüksekliksiz ABCO Algoritması Öbek Grafiği

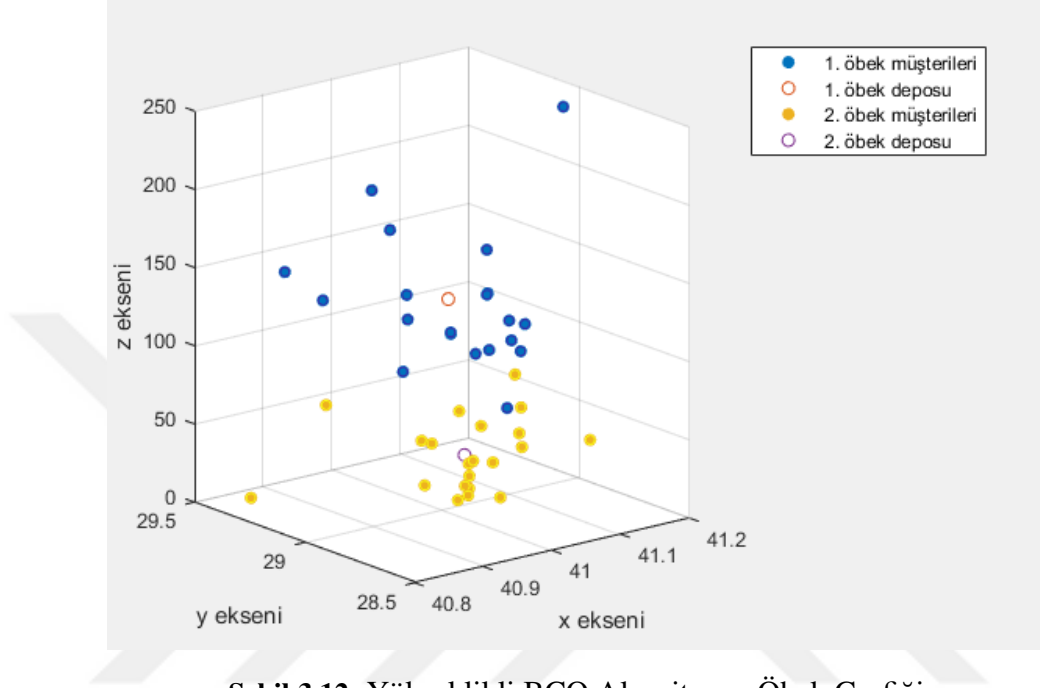
rotayı kapsayacak bir ağ oluşturarak, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesini sağlamaktır. Yükseklikli k-ortalamalar algoritmasının öbek grafiği Şekil 3.11’de ve öbekleme analizi sonuçları Tablo 3.5’de, yükseklikli bulanık c-ortalamalar algoritmasının öbek grafiği Şekil 3.12’de ve öbekleme analizi sonuçları Tablo 3.6’da gösterildiği gibidir.



**Şekil 3.11:** Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği

**Tablo 3.5:** Yükseklikli KO Algoritması Öbikleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Müşteri Sayısı	Ürün Miktarı
1	(41,0336; 29,0575; 126,700)	20	1259
2	(41,0263; 28,9742; 34,4545)	22	1091

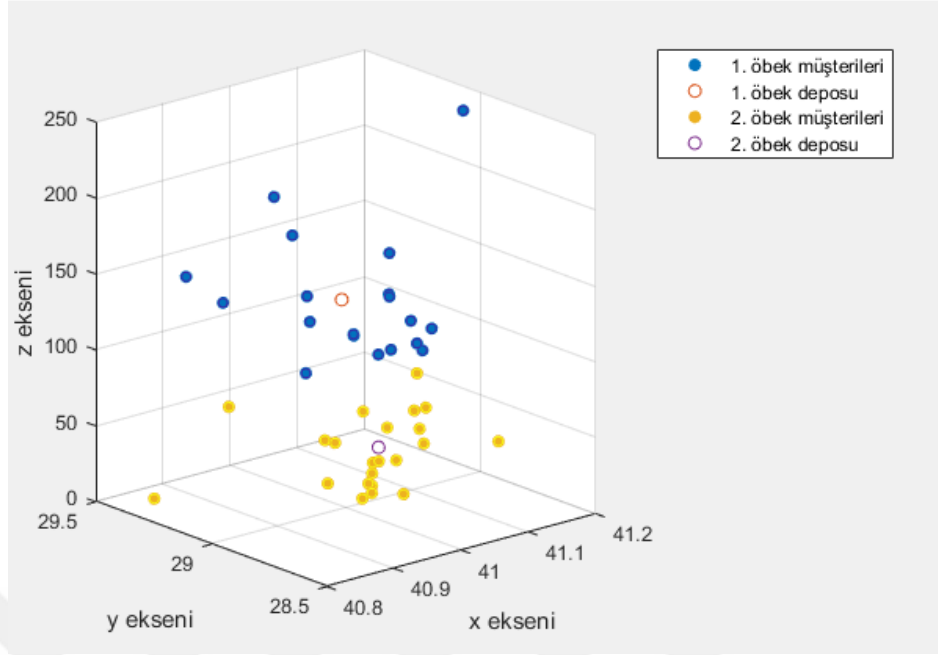
**Şekil 3.12:** Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği**Tablo 3.6:** Yükseklikli BCO Algoritması Öbikleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Müşteri Sayısı	Ürün Miktarı
1	( 41,0308; 29,0682; 128,2131)	20	1259
2	(41,0267; 28,9818; 33,3869)	22	1091

En son uygulanan öbikleme analizi yöntemi, yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar algoritmasıdır. Öbikleme analizi yapılırken küme merkezlerinin belirlenmesinde enlem, boylam ve yüksekliğe ek olarak, müşterilerden toplanması gereken ürün miktarı da analize dahil edilmiştir. ABCO algoritması ile öbek merkezleri belirlenirken merkezleri en fazla ürün toplanması gereken lokasyona yakın bir yere konumlandırmaktadır. Bunun nedeni en fazla yüke sahip olan atığın mümkün olduğunca en son alınarak, atıkların toplanması sırasında taşınan yüke bağlı emisyon oranının azaltılmasıdır. Yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar algoritmasının öbek grafiği Şekil 3.13'de ve öbikleme analizi sonuçları Tablo 3.7'de gösterildiği gibidir.

Uygulanan öbikleme analizi yöntemlerinin sonuçları araç rotalarının çözümü aşamasında





**Şekil 3.13:** Yükseklikli ABCO Algoritması Öbek Grafiği

**Tablo 3.7:** Yükseklikli ABCO Algoritması Öbekleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Müşteri Sayısı	Ürün Miktarı
1	(41,0224; 29,0825; 129,6993)	19	1189
2	( 41,0340; 28,9571; 38,1349)	23	1161

girdileri oluşturmaktadır. İlk aşamada belirlenen öbeklerdeki araç rotalarının belirlenmesi için tavlama benzetimi, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma olmak üzere 3 farklı metasezgisel algoritma kullanılmıştır. Araç rotalarının oluşturulması ve amaç fonksiyonu değerinin optimizasyonunun sağlanması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Analiz sonucunda her bir metasezgisel algoritma için elde edilen amaç fonksiyonu değeri Tablo 3.8’de belirtilmiştir. Metasezgisel algoritma sonuçları karşılaştırıldığında, genetik algoritma sonuçları en düşük yakıt tüketimi miktarına sahiptir. Uygulanan tüm öbekleme analizi yöntemleri karşılaştırıldığında yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamlar algoritması en fazla yakıt tüketimi miktarına, yükseklikli bulanık c-ortalamlar algoritması ise en düşük yakıt tüketimi miktarına sahiptir.

Tablo 3.8’de belirtilen sonuçlara göre, yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin genetik algoritmada %51, tavlama benzetimi algoritmasında %58 ve parçacık sürü

**Tablo 3.8:** Metasezgisel Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması

	BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
GA	3007,1	3711,1	3091,8	1434,9	1803,8	1774,9
TB	4615,2	5600,9	4670,4	1771,4	2350,0	1802,1
PSO	3340,5	3328,7	3106,9	1397,8	1588,7	1776,8

optimizasyonunda %52 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin genetik algorithmada %52, tavlama benzetimi algoritmasında %62 ve parçacık sürü optimizasyonunda %58 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin genetik algorithmada %42,5, tavlama benzetimi algoritmasında %61,5 ve parçacık sürü optimizasyonunda %43 azaldığı gözlenmiştir.

#### 4. BULGULAR

Bu bölümde tıbbi atıkların İstanbul ilinin yirmi yatak ve üzeri büyüklükteki hastanelerinden toplanmasını sağlayan araç rotalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Gergin çalışmasında[65] uygulama sırasında oluşturulan veri setini kullanarak mevcut değer akış haritası ile atık toplama sürecinin iyileştirmeye açık alanlarını tespit etmiş, farklı öbikleme analizi algoritmalarının kullanımı ile tesis yerini belirlemiştir. Daha sonra belirlenen öbeklere araçların atanması ve atık noktalarından bu tesislere gelecek araçların kat ettikleri mesafeyi en küçükleyecek şekilde rotalanması için karma tam sayılı doğrusal programlama modelini kurarak GAMS yazılımında kodlamıştır.

İstanbul'da tıbbi atıklar, şehrin coğrafi yapısından kaynaklanan ulaşım zorlukları nedeniyle Anadolu ve Asya yakalarında farklı araç filoları ile toplanmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında analizler iki yaka için ayrı olarak ele alınmıştır[65]. Gergin'in çalışmasına[65] benzer olarak, bu çalışmada optimizasyon süreci iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Anadolu ve Asya yakaları için 6 farklı öbikleme analizi yöntemi uygulanmıştır. Analizler sonucunda araç rotalarının başlangıç noktalarının belirleneceği depoların yeri tespit edilmiştir. Bu çalışma ile birlikte müşteri öbeklerinin ve deponun yerinin belirlenmesi sırasında ilk defa yükseklik faktörü kullanılmıştır. Ele alınan yükseklik faktörünün ve yük faktörünün model üzerindeki etkisinin incelenmesi için daha önceki klasik yöntemlerde yer alan yüksekliğin kullanılmadığı analizler de yapılarak, önceki yöntemler ile bu çalışmada oluşturulan model arasındaki farkın ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Birinci aşamada kullanılan öbikleme analizi sonuçları optimizasyon sürecinin ikinci adımı olan araç rotalama aşamasına girdi sağlamaktadır.

İlk model ile tıbbi atıkların toplanacağı hastanelerin öbeklere ataması yapılmış olup, ikinci modelde metasezgisel algoritmalar kullanılması ile araçların optimum rotalarının bulunarak yakıt tüketiminin azaltılması amaçlanmaktadır. Bir litre benzinin 2,32 kg  $CO_2$  içerdiği düşünülürse[45], model kurulumunda kullanılan yakıt tüketiminin ve buna bağlı maliyetin azaltılması ile dolaylı olarak  $CO_2$  emisyon oranı düşürülecektir. Bu aşamada dört farklı metasezgisel algoritma uygulanmıştır. Çalışmanın son adımında, metasezgisel algoritmalar ile elde edilen amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılarak, optimum çözümü veren öbikleme

analizi yöntemi ve metasezgisel algoritma belirlenmiştir.

#### 4.1. KULLANILAN VERİ SETİ

Kullanılan veri seti, İstanbul ilinin 20 yatak ve üzeri büyüklükteki hastanelerinden tıbbi atıkların toplanmasını sağlamak üzere Asya ve Avrupa kıtasında yer alan hastanelerden oluşmaktadır. Tıbbi atıklar; hastaneler, klinikler, doğumevleri, sağlık merkezleri, tıp merkezleri, dispanserler, sağlık ocakları, ayakta tedavi merkezleri, morglar, otopsi merkezleri, diyaliz merkezleri, hayvan araştırma ve test laboratuvarları, yaşlılar için bakım evleri ve tıbbi araştırma merkezleri gibi sağlık kuruluşlarındaki işlemler sırasında ortaya çıkan atıkların genel adıdır. Sağlık hizmetleri sonucunda ortaya çıkan toplam tıbbi atık miktarı değerlendirildiğinde genel olarak %85'i tehlikeli olmayan atıklar, geriye kalan %15'lik kısım bulaşıcı, zehirli ve radyoaktif özelliklere sahip olan tehlikeli atıklar olarak nitelendirilmektedir[91].

Dünya Sağlık Örgütü tıbbi atıkları; bulaşıcı atıklar, patolojik atıklar, kesici atıklar, kimyasal atıklar, farmasötik atıklar, sitosital atıklar, radyoaktif atıklar, tehlikeli olmayan ya da genel atıklar olmak üzere sekiz ana bölümde ele almıştır[91]. Aşağıda her bir atık grubunun içerisinde yer alan atık türleri açıklanmıştır.

**Bulaşıcı Atık:** Kan veya diğer vücut sıvılarından oluşan atık(atılan tanı örnekleri), laboratuvar çalışmalarından kaynaklanan bulaşıcı maddelerin stokları ve kültürleri (otopsi atıkları ve laboratuvardaki enfekte olmuş hayvanlardan gelen atık) ve enfeksiyonlu hastalardan kaynaklanan atıklar(bezler, bandajlar ve tek kullanımlık tıbbi cihazlar).

**Patolojik Atık:** İnsan dokuları, organları veya sıvıları, vücut parçaları ve kirli hayvan atıkları.

**Kesici Atık:** Şırıngalar, iğneler, tek kullanımlık bisturi ve bıçaklar.

**Kimyasal Atık:** Laboratuvar hazırlıklarında kullanılan çözücüler ve reaktifler, dezenfektanlar, sterilizatörler ve tıbbi cihazlarda bulunan ağır metaller (kırık termometrelerdeki cıva gibi) ve piller.

**Farmasötik Atık:** Tarihi geçmiş, kullanılmamış ve kirlenmiş ilaçlar ve aşular.

**Sitosital Atık:** Kanser tedavisinde ve metabolitlerinde kullanılan sitotoksik ilaçlar gibi genotoksik özelliklere sahip atık içeren maddeler(mutajenik, teratojenik yada kansorejen olan yüksek derecede tehlikeli maddeler).

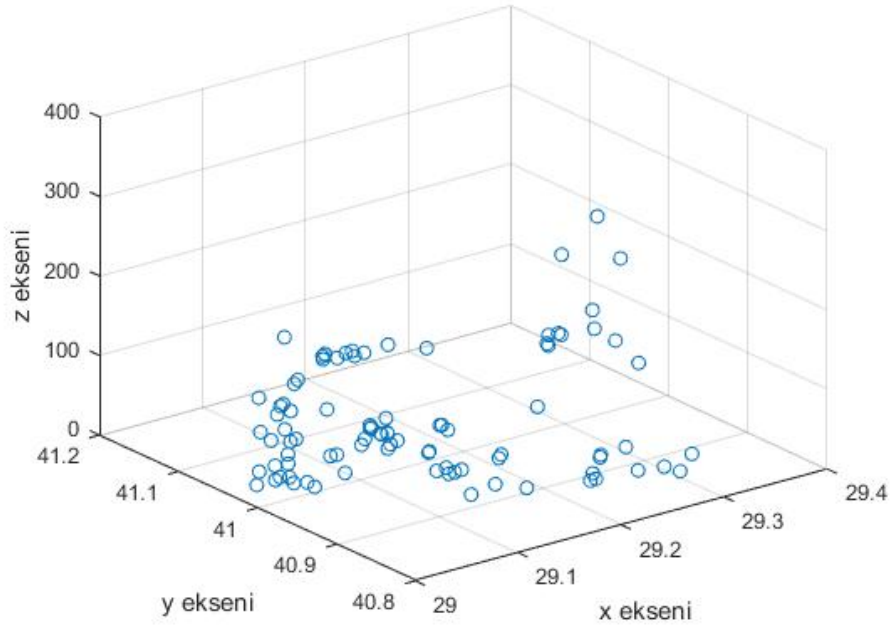
**Radyoaktif Atık:** Radyoaktif teşhis malzemesi veya radyoterapötik materyaller dahil radyonüklidler tarafından kirletilmiş ürünler.

**Tehlikeli Olmayan Genel Atık:** Belirli bir biyolojik, kimyasal, radyoaktif veya fiziksel tehlike oluşturmayan atıklar[91].

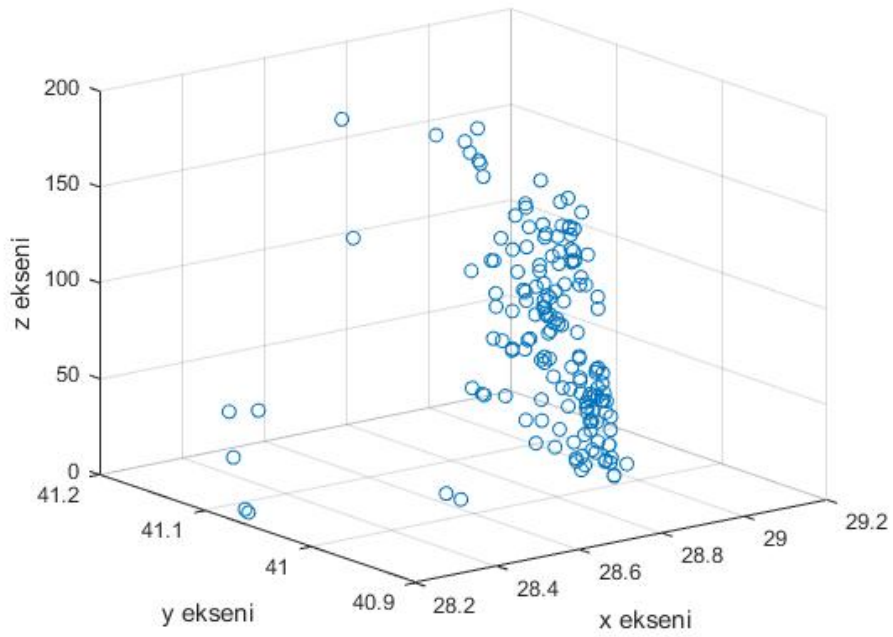
Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için Gergin'in[65] doktora tezinde kullanmış olduğu veri setinden yararlanılmıştır. Bu veri seti Asya ve Avrupa yakasında yer alan hastanelerin koordinatlarından( $x, y$ ) ve hastanelerden toplanması gereken atık miktarlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada amaç hastanelerdeki tıbbi atıkların toplanması ve bertaraf sürecinde kullanılmak üzere depolara getirilmesidir. EK 1. ve EK 2.'de görüleceği üzere Asya kıtası 90 hastaneden, Avrupa kıtası ise 161 hastaneden oluşmaktadır. Gergin'in veri seti hastanelerin enlem, boylam ve atık miktarlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada yükseklik faktörünün de kullanılması gerektiğinden bu lokasyonlara ait yükseklikler Google Earth uygulaması kullanılarak elde edilmiştir. Asya kıtasındaki hastanelerin koordinat izdüşümleri Şekil 4.1'de, Avrupa kıtasındaki hastanelerin koordinat izdüşümleri Şekil 4.2'de gösterildiği gibidir.

## 4.2. ÖBEKLEME ANALİZİ SONUÇLARI

Bu çalışmada öncelikle  $(x, y)$  ve ardından  $(x, y, z)$  koordinat düzleminin kullanıldığı coğrafi öbikleme analizi yapılmıştır. Yükseklik faktörünün( $z$ ) analize dahil edilmesinin nedeni öbikleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir ağ oluşturarak, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesini sağlamaktır. Ayrıca kullanılan öbikleme analizi yöntemleri ile araç rotalarının belirlenmesi sırasında kullanılacak olan depoların yerleri belirlenmiştir. Bu çalışmada öbikleme analizi yapılırken 6 farklı öbikleme analizi yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle yükseklik faktörünün kullanılmadığı ve yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamlar algoritmaları, ardından yükseklik faktörünün kullanılmadığı ve yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamlar algoritmaları, en son olarak yükseklik faktörünün



**Şekil 4.1:** Asya Kıtası Verileri Koordinat İzdüşümleri



**Şekil 4.2:** Avrupa Kıtası Verileri Koordinat İzdüşümleri

kullanılmadığı ve yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmaları uygulanmıştır. Yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması uygulanırken, küme merkezlerinin belirlenmesi sırasında enlem, boylam ve yüksekliğe ek olarak hastanelerden toplanması gereken atık miktarları da analize dahil edilmiştir. ABCO algoritması ile öbek merkezleri belirlenirken, öbek merkezleri en fazla atık alınması gereken hastaneye yakın bir yere konumlandırılmaktadır. Bunun nedeni en fazla yüke sahip olan atığın en son alınarak, atıkların toplanması sırasında taşınan yüke bağlı oluşan emisyon oranının azaltılmasıdır. Bir sonraki bölümde kullanılan öbekleme analizi yöntemlerinin sonuçları ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

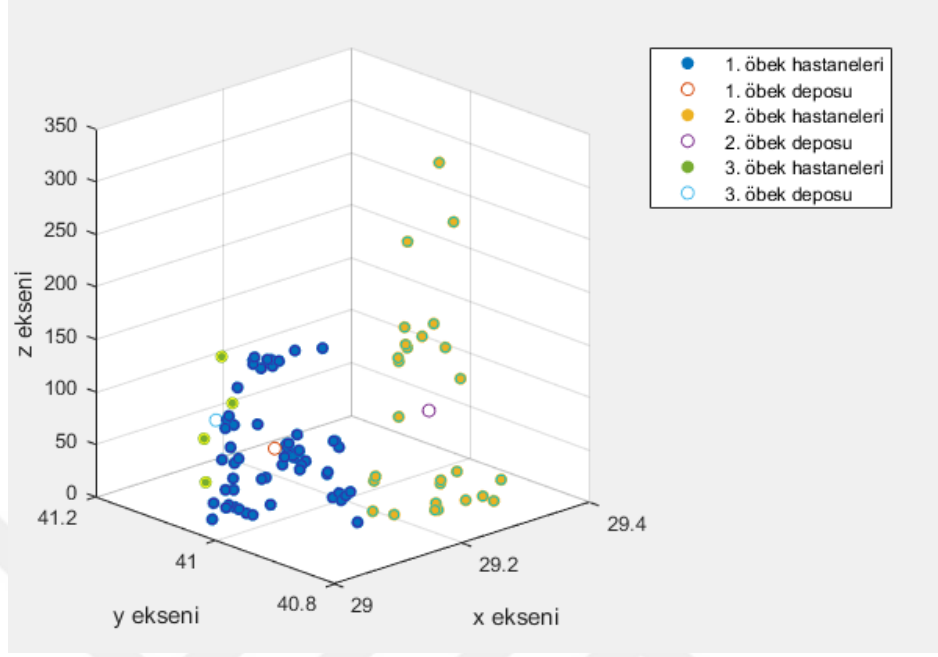
#### **4.2.1. K-Ortalamlar Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları**

K-ortalamlar algoritmasının kodlanması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Öbek sayısı 3 olarak belirlenmiştir. K-ortalamlar algoritması ile öncelikle yükseklik faktörünün kullanılmadığı iki boyutlu bir öbekleme analizi yapılmıştır. Ardından yükseklik faktörü de analize dahil edilerek üç boyutlu bir öbekleme analizi yapılmıştır. Yükseklik faktörünün kullanıldığı ve yükseklik faktörünün kullanılmadığı her iki analizde de öbeklerin içerisindeki araç rotalarının oluşturulması için kullanılan metasezgisel algoritmalarda, elde edilen öbek merkezlerine ait yükseklik faktörü de kullanılmıştır. Araç rotalarının belirlenmesi sırasında yükseklik faktörü kullanılmasının nedeni, optimum sonucu veren algoritmaların belirlenmesi sürecinde amaç fonksiyonunun değeri üzerinden tutarlı bir karşılaştırma yapılabilmesini sağlamaktır. K-ortalamlar algoritmasının uygulanması için kullanılan veri setleri EK 1. ve EK 2.'de belirtilmiştir.

##### **4.2.1.1. Yükseklik Faktörü Kullanılmadan KO Algoritması Sonuçları**

Yükseklik faktörü kullanılmadan k-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanılmadığı iki boyutlu öbekleme analizi yapılmıştır. Bu analizde hastane koordinatlarında yer alan enlem ve boylam değerleri kullanılmıştır. Öbek merkezleri belirlenirken hastaneler ve öbek merkezleri arasındaki uzaklığın hesaplanması için öklit uzaklığı kullanılmıştır. Belirlenen öbek merkezleri, her bir öbekteki hastane sayısı ve hastanelerden toplanması gereken atık miktarları, Asya ve Avrupa yakaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yükseklik faktörü kullanılmadan k-ortalamlar algoritması ile Asya yakası için elde edilen öbek grafiği Şekil 4.3'de; bu öbeklere ait merkez noktalar, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.1'de

belirtilmiştir.



Şekil 4.3: Asya Kıtası Yüksekliksiz KO Algoritması Öbek Grafiği

Tablo 4.1: Asya Kıtası Yüksekliksiz KO Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları

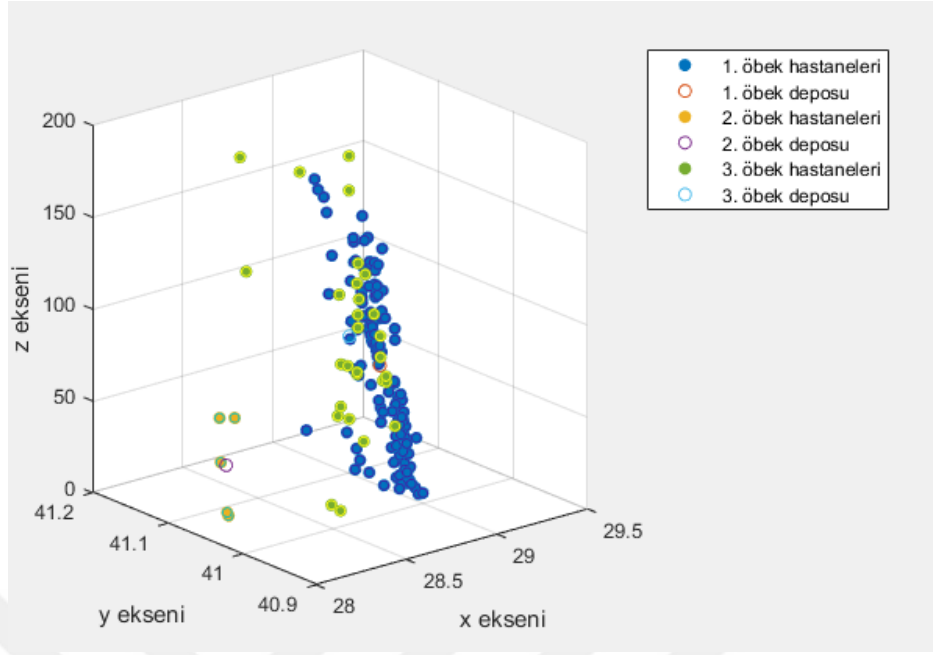
Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(29,08363; 40,98967; 73,49153)	59	97470
2	(29,24897; 40,90836; 94,2963)	27	28370
3	(29,08659; 41,09118; 78,75)	4	4380

Yükseklik faktörü kullanılmadan k-ortalamlar algoritması ile Avrupa yakası için elde edilen öbek grafiği Şekil 4.4'de; bu öbeklere ait merkez noktalar, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.2'de belirtilmiştir.

Tablo 4.2: Avrupa Kıtası Yüksekliksiz KO Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(28,92182; 41,03818; 70,96063)	127	190959
2	(28,23674; 41,0781; 28,8)	5	5700
3	(28,7265; 41,03183; 93,124138)	29	45017





Şekil 4.4: Avrupa Kıtası Yüksekliksiz KO Algoritması Öbek Grafiği

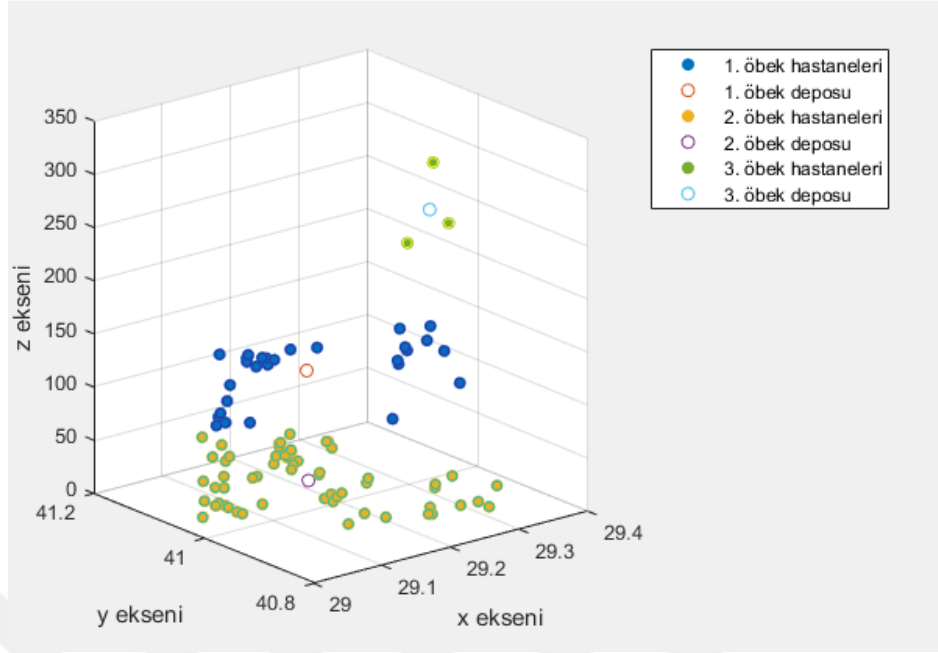
#### 4.2.1.2. Yükseklik Faktörü Kullanılarak KO Algoritması Sonuçları

Yükseklik faktörü kullanılarak k-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün de analize dahil edildiği üç boyutlu öbikleme analizi yapılmıştır. Bu analizde hastane koordinatlarında yer alan enlem, boylam ve yükseklik değerleri kullanılmıştır. Yükseklik faktörünün(z) analize dahil edilmesinin nedeni öbikleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir ağ oluşturarak, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesini sağlamaktır. Öbek merkezleri belirlenirken hastaneler ve öbek merkezleri arasındaki uzaklığın hesaplanması için öklit uzaklığı kullanılmıştır. Belirlenen öbek merkezleri, her bir öbekteki hastane sayısı ve hastanelerden toplanması gereken atık miktarları, Asya ve Avrupa yakaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yükseklik faktörü kullanılarak k-ortalamlar algoritması ile Asya yakası için elde edilen öbek grafiği Şekil 4.5’de; bu öbeklere ait merkez noktalar, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.3’de belirtilmiştir.

Tablo 4.3: Asya Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbikleme Analizi Sonuçları

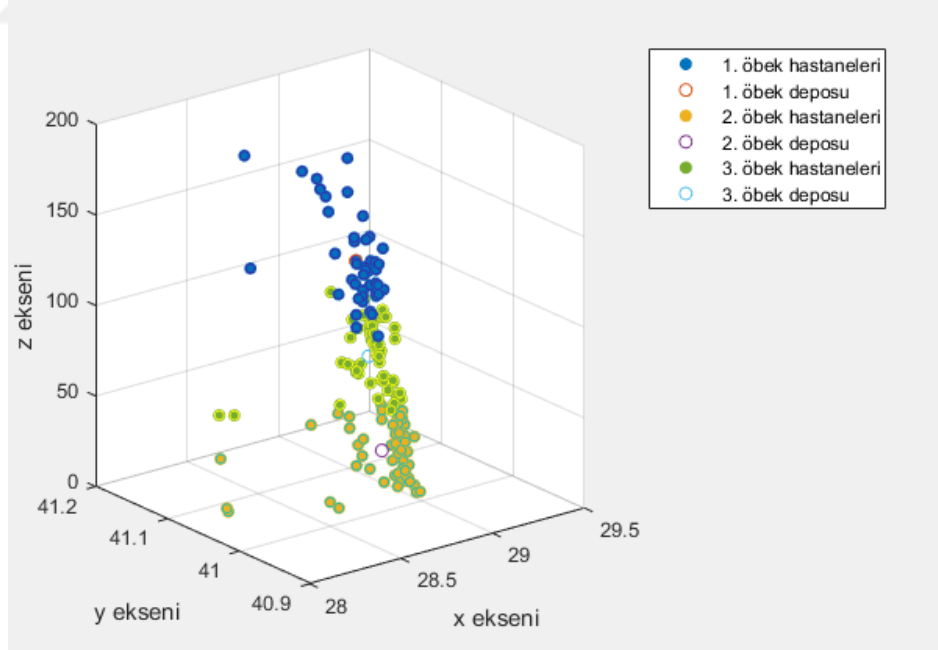
Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(29,14865; 40,99831; 132,8966)	29	42290
2	(29,11941; 40,95874; 47,87931)	58	85780
3	(29,09511; 40,98639; 285,3333 )	3	2150

Yükseklik faktörü kullanılarak k-ortalamlar algoritması ile Asya yakası için elde edilen



Şekil 4.5: Asya Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği

öbek grafiği Şekil 4.6'da; bu öbeklere ait merkez noktalar, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.4'de belirtilmiştir.



Şekil 4.6: Avrupa Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbek Grafiği

**Tablo 4.4:** Avrupa Kıtası Yükseklikli KO Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları

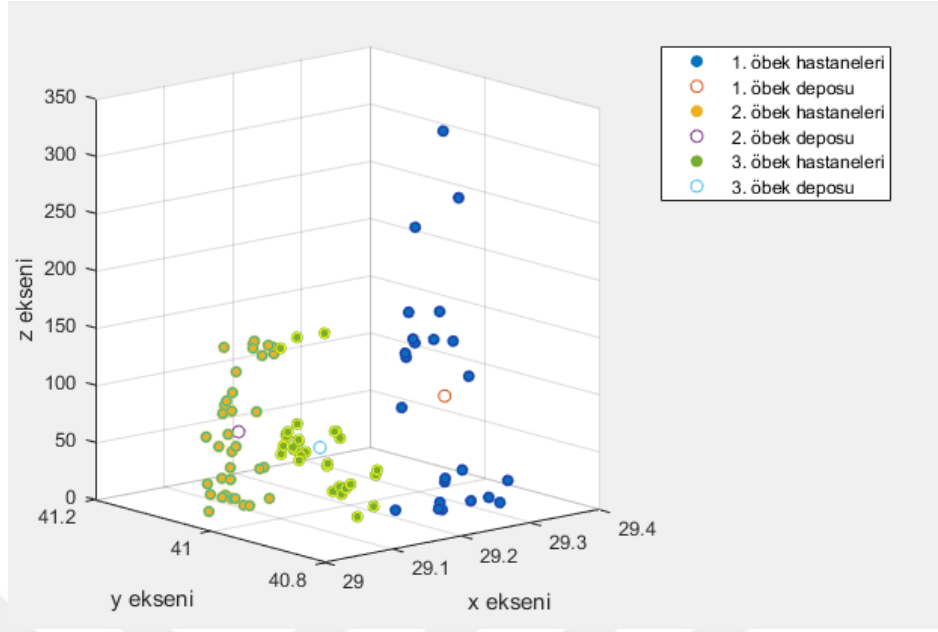
Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(28,88476; 41,06256; 124,4082)	49	64483
2	(28,86246; 41,02018; 28,0678)	59	105894
3	(28,85065; 41,03597; 77,50943)	53	71299

#### 4.2.2. Bulanık C-Ortalamalar Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları

Bulanık c-ortalamalar öbekleme algoritmasının kodlanması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Bu algoritma ile öncelikle yükseklik faktörünün kullanılmadığı iki boyutlu bir öbekleme analizi yapılmıştır. Ardından yükseklik faktörü de analize dahil edilerek üç boyutlu bir öbekleme analizi yapılmıştır. Yükseklik faktörünün kullanıldığı ve yükseklik faktörünün kullanılmadığı her iki analizde de öbeklerin içerisindeki araç rotalarının oluşturulması için kullanılan metasezgisel algoritmalarda, elde edilen öbek merkezlerine ait yükseklik faktörü de kullanılmıştır. Araç rotalarının belirlenmesi sırasında yükseklik faktörü kullanılmasının nedeni, optimum sonucu veren algoritmaların belirlenmesi sürecinde amaç fonksiyonu üzerinden tutarlı bir karşılaştırma yapılabilmesini sağlamaktır. Hem yükseklik faktörünün kullanılmadığı BCO algoritmasında hem de yükseklik faktörünün kullanıldığı BCO algoritmasında, Wu ve diğerleri[72]'nin çalışmalarında yer alan amaç fonksiyonu ve kısıtlar kullanılmıştır. Bulanık c-ortalamalar algoritmasının uygulanması için kullanılan veri setleri EK 1. ve EK 2.'de belirtilmiştir.

##### 4.2.2.1. Yükseklik Faktörü Kullanılmadan BCO Algoritması Sonuçları

Yükseklik faktörü kullanılmadan bulanık c-ortalamalar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanılmadığı iki boyutlu öbekleme analizi yapılmıştır. Bu analiz hastane koordinatlarında yer alan enlem ve boylam değerleri kullanılarak yapılmıştır. Öbek merkezleri belirlenirken hastaneler ve öbek merkezleri arasındaki uzaklığın hesaplanması için öklit uzaklığı kullanılmıştır. Bu aşamada küme sayısı 3, üyelik derecelerinin hesaplanmasında kullanılan ağırlık faktörü değeri( $m$ ) = 1,7 ve  $\varepsilon = 10^{-6}$  olarak tanımlanmıştır. Yükseklik faktörü kullanılmadan bulanık c-ortalamalar algoritması ile belirlenen öbek merkezleri, her bir öbekteki hastane sayısı ve hastanelerden toplanması gereken atık miktarları, Asya ve Avrupa yakaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yükseklik faktörü kullanılmadan bulanık c-ortalamalar algoritması ile Asya yakası için belirlenen öbek grafiği Şekil 4.7'de; bu öbeklere ait merkez



**Şekil 4.7:** Asya Kıtası Yüksekliksiz BCO Algoritması Öbek Grafiği

noktalar, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.5’de belirtilmiştir.

**Tablo 4.5:** Asya Kıtası Yüksekliksiz BCO Algoritması Öbikleme Analizi Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(29,2586; 40,9018; 101,83)	24	18695
2	(29,0542; 41,0158; 78,361)	36	76685
3	(29,1251; 40,9589; 64,4)	30	34840

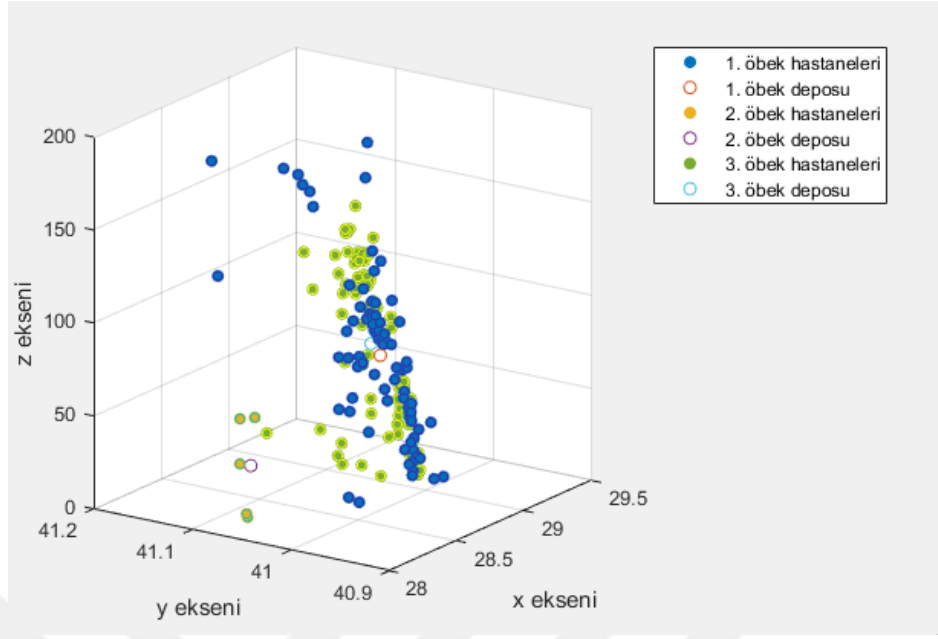
Yükseklik faktörü kullanılmadan bulanık c-ortalamlar algoritması ile Avrupa yakası için belirlenen öbek grafiği Şekil 4.8’de; bu öbeklere ait merkez noktalar, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.6’da belirtilmiştir.

**Tablo 4.6:** Avrupa Kıtası Yüksekliksiz BCO Algoritması Öbikleme Analizi Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(28,8201; 41,0217; 75,8625)	80	114404
2	(28,2552; 41,07556; 28,8000)	5	5700
3	(28,9624; 41,0507; 74,3026)	76	121572

#### 4.2.2.2. Yükseklik Faktörü Kullanılarak BCO Algoritması Sonuçları

Yükseklik faktörü kullanılarak bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün

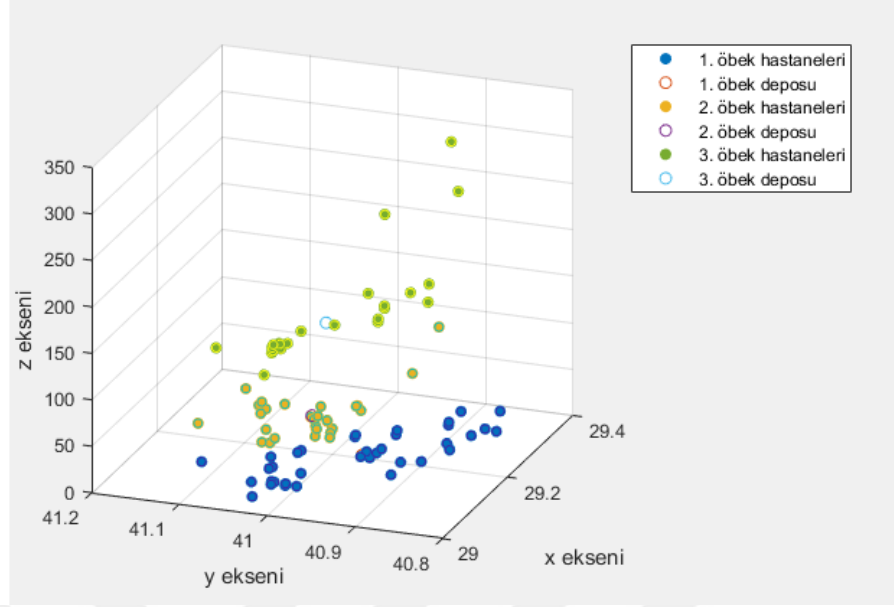


Şekil 4.8: Avrupa Kıtası Yüksekliksiz BCO Algoritması Öbek Grafiği

de analize dahil edildiği üç boyutlu öbekleme analizi yapılmıştır. Bu analiz hastane koordinatlarında yer alan enlem, boylam ve yükseklik değerleri kullanılarak yapılmıştır. Yükseklik faktörünün(z) analize dahil edilmesinin nedeni öbekleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir ağ oluşturarak, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesini sağlamaktır. Öbek merkezleri belirlenirken hastaneler ve öbek merkezleri arasındaki uzaklığın hesaplanması için öklit uzaklığı kullanılmıştır. Bu aşamada küme sayısı 3, üyelik derecelerinin hesaplanmasında kullanılan ağırlık faktörü değeri( $m$ ) =1,7 ve  $\varepsilon = 10^{-6}$  olarak tanımlanmıştır. Bulanık c-ortalamlar algoritmasından tek farkı küme merkezleri belirlenirken enlem ve boylam faktörlerine ek olarak yükseklik faktörünün de kullanılmasıdır.

Belirtilen algoritma için belirlenen öbek merkezleri, her bir öbekteki hastane sayısı ve hastanelerden toplanması gereken atık miktarları, Asya ve Avrupa kıtası için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yükseklik faktörü kullanılarak sonuçların elde edildiği bulanık c-ortalamlar algoritması ile Asya kıtası için belirlenen öbek grafiği Şekil 4.9'da; bu öbeklere ait merkez noktalar, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.7'de belirtilmiştir.

Yükseklik faktörü kullanılarak sonuçların elde edildiği bulanık c-ortalamlar algoritması ile Avrupa kıtası için belirlenen kümelerin gösterildiği koordinat düzlemi Şekil 4.10'da; bu



Şekil 4.9: Asya Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği

Tablo 4.7: Asya Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbekleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	( 29,1372; 40,9427; 26,881)	37	58570
2	(29,0957; 40,9846; 77,951)	29	44650
3	(29,1654; 40,9943; 153,463)	24	27000

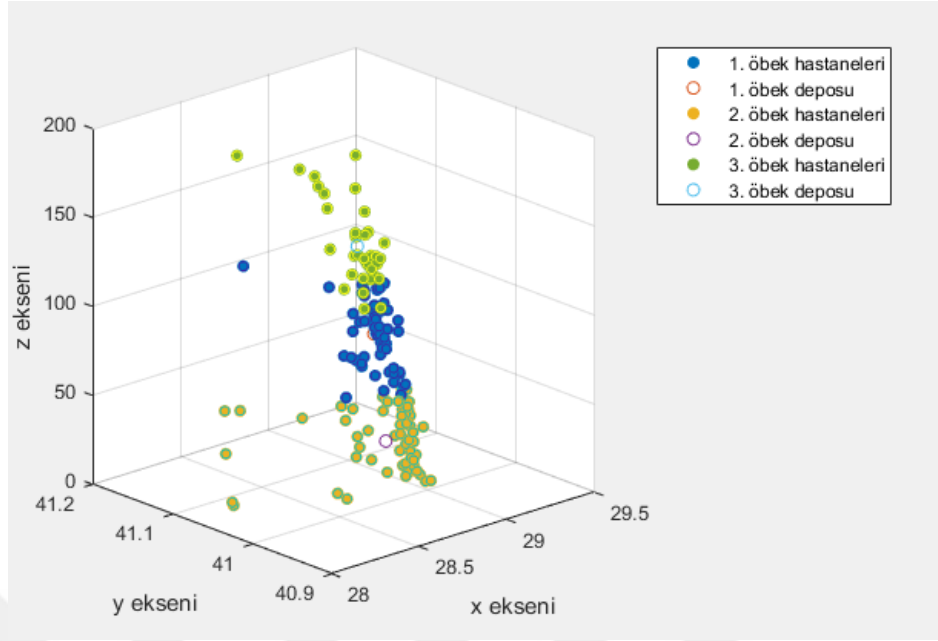
öbeklere ait merkez noktalar, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.8’de belirtilmiştir.

Tablo 4.8: Avrupa Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbekleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(28,8719; 41,0391; 84,9896)	59	88374
2	(28,8572; 41,0209; 28,2351)	64	109124
3	(28,8879; 41,0634; 129,7699)	38	44178

#### 4.2.3. Ağırlıklandırılmış Bulanık C-Ortalamalar Algoritması Öbekleme Analizi Sonuçları

Ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar algoritmasının kodlanması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Bu aşamada, öbekleme analizi yapılırken küme merkezlerinin belirlenmesinde enlem, boylam ve yüksekliğe ek olarak, hastanelerden toplanması gereken atık miktarları da analize dahil edilmiştir. ABCO algoritması ile öbek merkezleri belirlenirken merkezleri en



**Şekil 4.10:** Avrupa Kıtası Yükseklikli BCO Algoritması Öbek Grafiği

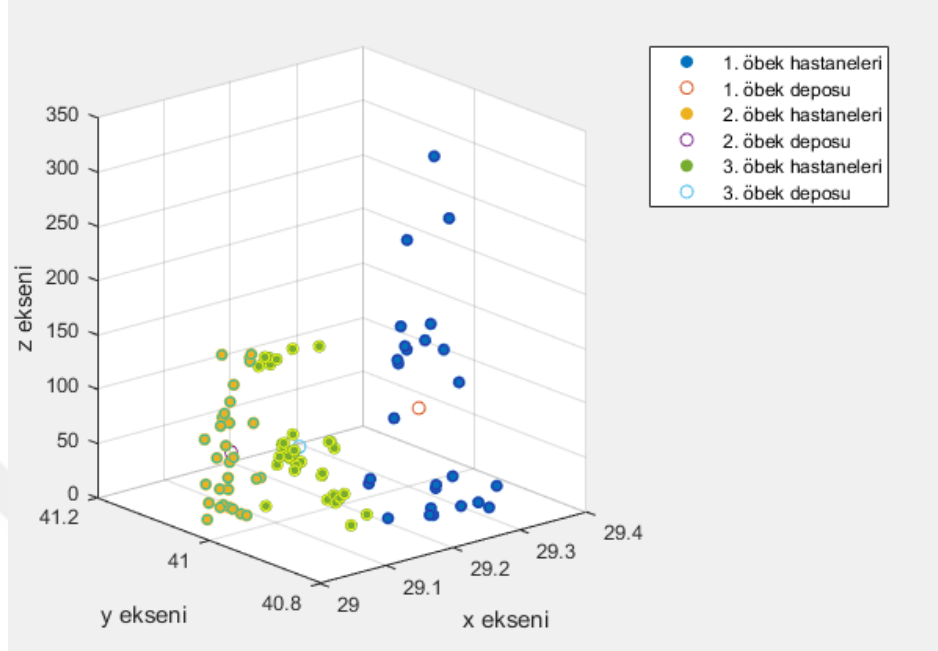
fazla atık alınması gereken hastaneye yakın bir yere konumlandırmaktadır. Bunun nedeni en fazla yüke sahip olan atığın en son alınarak, atıkların toplanması sırasında taşınan yüke bağlı oluşan emisyon oranının azaltılmasıdır.

Hem yüksekliklessiz hem de yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmasının uygulanması için Esnaf ve Küçükdeniz'in çalışmalarında kullanmış oldukları revize edilmiş ABCO algoritmasının amaç fonksiyonu ve kısıtları kullanılmıştır[73]. Kullanılan algoritmada küme sayısı 3, üyelik derecelerinin hesaplanmasında kullanılan ağırlık faktörü değeri( $p$ ) = 1,7 ve  $\varepsilon = 10^{-6}$  olarak tanımlanmıştır. Ayrıca ağırlık değeri( $w_k$ ) atık miktarını ifade etmektedir. Ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmasının uygulanması için kullanılan veri setleri EK 1. ve EK 2.'de belirtilmiştir.

#### **4.2.3.1. Yükseklik Faktörü Kullanılmadan ABCO Algoritması Sonuçları**

Yükseklik faktörü kullanılmadan ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanılmadığı bir öbekteleme analizi yapılmıştır. Bu analizde hastane koordinatlarında yer alan enlem, boylam ve hastanelerden toplanması gereken atık miktarı değerleri kullanılmıştır. Yüksekliklessiz ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması için öbek merkezleri, her bir öbekteki hastane sayısı ve hastanelerden toplanması gereken atık miktarları, Asya ve Avrupa yakaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yüksekliklessiz ABCO algoritması kullanılarak, Asya kıtası için belirlenen öbek grafiği Şekil 4.11'de, bu kümelere

ait öbek merkezleri, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.9’da belirtilmiştir.



Şekil 4.11: Asya Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbek Grafiği

Tablo 4.9: Asya Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbekteleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(29,24759; 40,91874; 97,30769)	26	28250
2	(29,04353; 41,01164; 72,06452)	31	66885
3	(29,11209; 40,9712; 73,72727)	33	35085

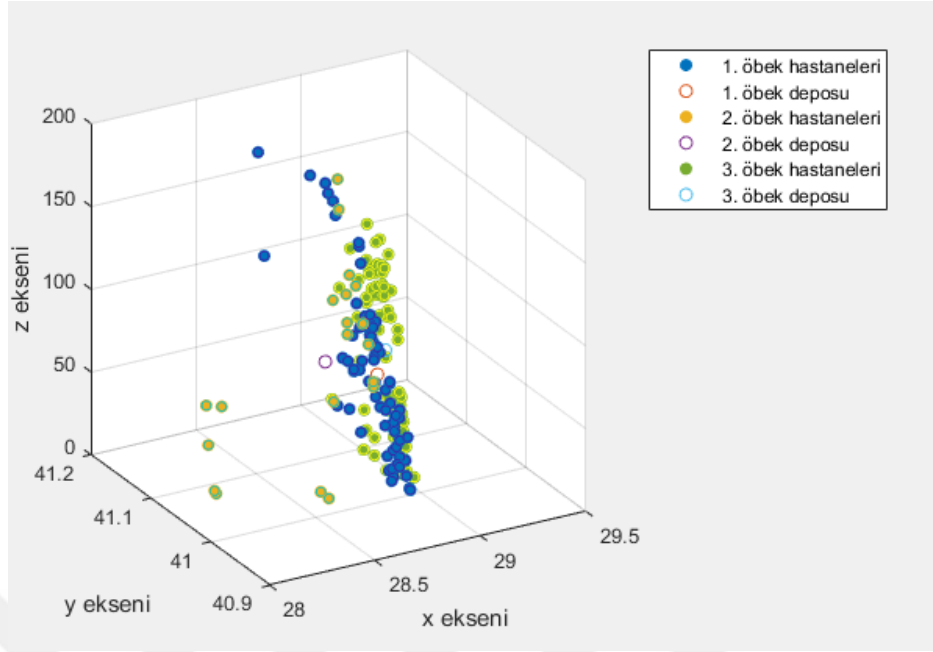
Yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalama algoritması kullanılarak, Avrupa kıtası için belirlenen öbek grafiği Şekil 4.12’de, bu kümelere ait öbek merkezleri, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.10’da belirtilmiştir.

Tablo 4.10: Avrupa Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbekteleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(28,8489; 41,0198; 70,5479)	73	102013
2	(28,6122; 41,0233; 84,4)	20	25305
3	(28,9701; 41,0492; 73,8529)	68	114358

#### 4.2.3.2. Yükseklik Faktörü Kullanılarak ABCO Algoritması Sonuçları





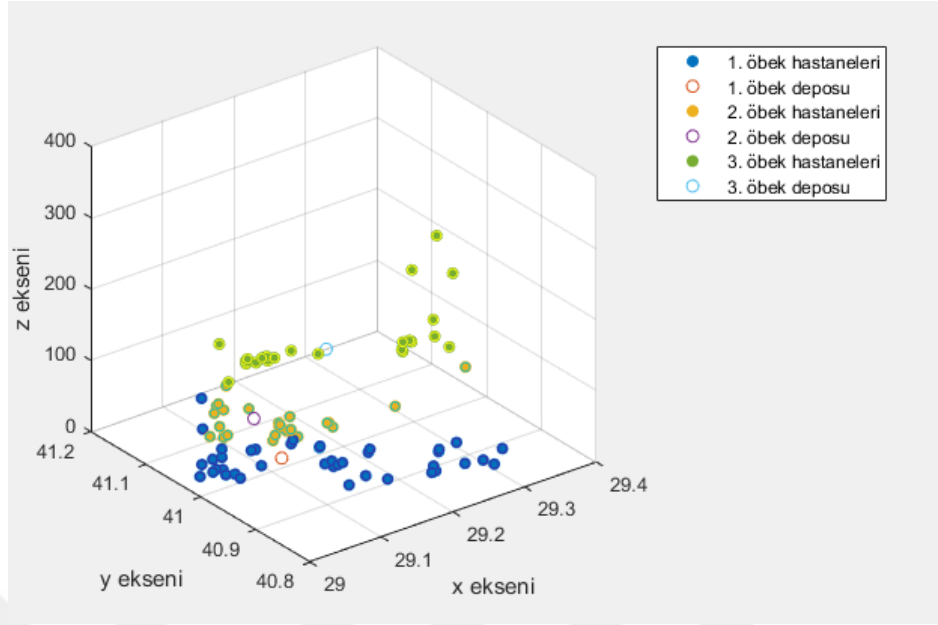
**Şekil 4.12:** Avrupa Kıtası Yüksekliksiz ABCO Algoritması Öbek Grafiği

Yükseklik faktörü kullanılarak ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar algoritması ile yükseklik faktörünün de analize dahil edildiği bir öbikleme analizi yapılmıştır. Bu analizde hastane koordinatlarında yer alan enlem, boylam, yükseklik ve müşterilerden toplanması gereken atık miktarı değerleri kullanılmıştır. Yükseklik faktörünün(z) analize dahil edilmesinin nedeni öbikleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir ağ oluşturarak, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesini sağlamaktır. Yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar algoritması için öbek merkezleri, her bir öbekteki hastane sayısı ve hastanelerden toplanması gereken atık miktarları, Asya ve Avrupa yakaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yükseklikli ABCO algoritması kullanılarak, Asya kıtası için belirlenen öbek grafiği Şekil 4.13’de, bu kümelerle ait öbek merkezleri, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.11’de belirtilmiştir.

**Tablo 4.11:** Asya Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbikleme Sonuçları

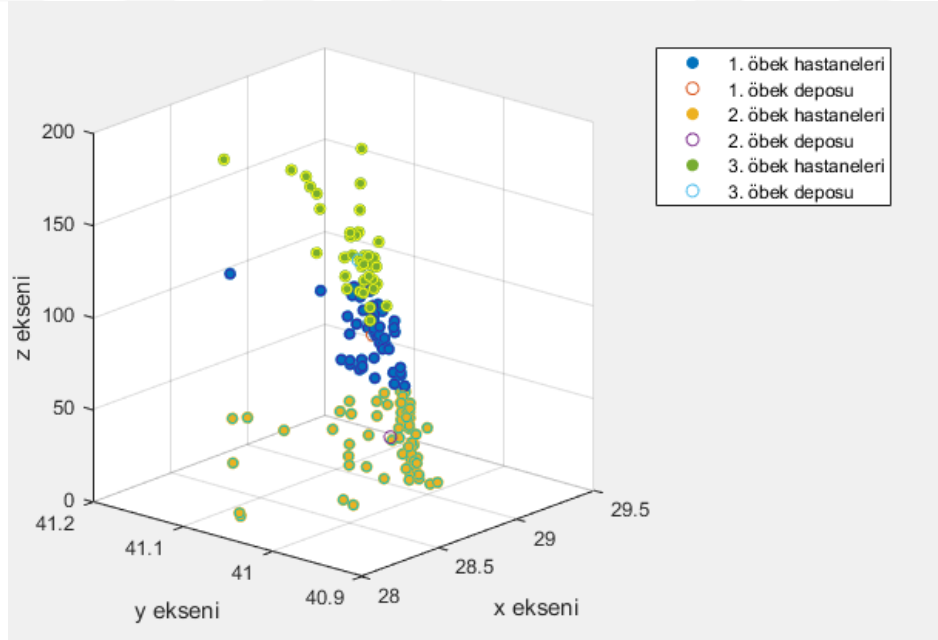
Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	( 29,0905; 40,9699; 36,458)	40	62250
2	(29,0733; 40,9982; 84,952)	26	40970
3	(29,1690; 40,9911; 151,952)	24	27000

Yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar algoritması kullanılarak, Avrupa kıtası



Şekil 4.13: Asya Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbek Grafiği

için belirlenen öbek grafiği Şekil 4.14’de, bu kümelere ait öbek merkezleri, her bir öbekteki toplam hastane sayısı ve bu hastanelerden toplanması gereken atık miktarı ise Tablo 4.12’de belirtilmiştir.



Şekil 4.14: Avrupa Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbek Grafiği

**Tablo 4.12:** Avrupa Kıtası Yükseklikli ABCO Algoritması Öbekleme Sonuçları

Öbek Numarası	Öbek Merkezleri(X,Y,Z)	Öbeklerdeki Hastane Sayısı	Atık Miktarı
1	(28,8790; 41,0397; 84,8934)	51	70759
2	(28,8609; 41,0167; 33,0520)	68	112329
3	(28,9049; 41,0600; 121,8768)	42	58588

### 4.3. ARAÇ ROTALAMA SONUÇLARI

Bir önceki bölümde elde edilen öbekleme analizi sonuçları araç rotalarının çözümü aşamasında girdileri oluşturmaktadır. İlk aşamada belirlenen öbeklerdeki araç rotalarının oluşturulması için tavlama benzetimi, karınca kolonisi algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma olmak üzere 4 farklı metasezgisel algoritma uygulanmıştır. Araç rotalarının oluşturulması ve amaç fonksiyonu değerinin optimizasyonunun sağlanması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan tüm algoritmalar için oluşturulan amaç fonksiyonu malzeme ve yöntem kısmında ayrıntılarıyla ele alınmıştır. Tüm metasezgisel algoritmalarda aynı amaç fonksiyonu kullanılarak, bu algoritmalar içinde optimum sonucu veren hibrit yaklaşım belirlenmiştir. Bu problemde matematiksel modelin tasarlanması sırasında oluşturulan Denklem 3.15’de belirtilen amaç fonksiyonu değeri, Denklem 4.1’de belirtildiği şekilde değiştirilmiştir.

$$\min \sum_i \sum_j d_{ij} (3,709 + 0,402S_{ij})x_{ij} + \sum_i \sum_j d_{ij} \left( \sum_{k=1}^i q_k \right) (0,0000793 + 0,026)x_{ij} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de belirtilen amaç fonksiyonunda ilk bileşen hesaplanan eğim katsayılarının kullanılmasına, ikinci bileşen ise aracın kat etmiş olduğu mesafeye kadar taşımış olduğu toplam yük miktarına bağlı kalınarak, mesafeye bağlı yakıt tüketimini minimize etmektedir. Matematiksel modelin kurulumu sırasında eğim ve yük faktörlerinin modele dahil edilebilmesi için her iki parametre de kullanılarak elde edilen lineer regresyon modelleri kullanılmıştır. Bu regresyon modelleri, oluşturulan amaç fonksiyonuna dahil edilerek ilgili parametre için yakıt tüketim miktarı hesaplanmıştır. Araç rotalarının oluşturulması sırasında aracın kapasitesi gözardı edilmekte ve her öbek için bir araç kullanılmaktadır. Her tur depoda başlamakta ve depoda bitmektedir. Her bir öbek için araç, içinde bulunduğu öbeğin deposundan herhangi bir yüke sahip olmadan harekete başlamaktadır ve araçlar depoya geri dönene kadar olan süreçte öbek içerisindeki hastanelerden atıkların toplanmasını sağlamaktadır.

Denklem 4.1’de belirtilen birinci bileşende iki müşteri arasındaki uzaklıklar öklit bağlantısı ile hesaplanmaktadır. Müşteriler arasındaki uzaklıklar ve iki müşteri arasındaki yükseklik farkları kullanılarak, müşteriler arasındaki eğim belirlenmektedir. İlk bileşende amaç, aracın bir sonraki güzergah için en az eğim farkına sahip yolu seçerek eğime bağlı yakıt tüketiminin minimize edilmesidir. İkinci bileşen ise aracın kat etmiş olduğu mesafeye kadar taşımış olduğu toplam yük miktarına bağlı olarak, mesafeye bağlı yakıt tüketimini minimize etmektedir. Aracın yükünün artması lastiklerin yolla olan sürtünmesini artırır, aracın ivmelenmesini geciktirir. Yüğü fazla olan bir araç eğimli bir yolda daha fazla güce ihtiyaç duyduğu için aracın yakıt tüketimi artar[42]. Bu nedenle araç depodan harekete başladığından itibaren öncelikle mümkün olan en az atığa sahip hastaneyi seçerek tekrar depoya dönene kadar olan süreçte taşınan yükten kaynaklı emisyon oranının düşürülmesi sağlanmıştır.

Problemin çözümü için uygulanan metasezgisel algoritmalarından genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarında başlangıçta rassal bir aday çözüm oluşturulur. Sonraki aşamada algoritmalar; ziyaret edilecek lokasyon sayısı kadar, her bir lokasyonu temsil eden 0 ile 1 arasında rassal sayı üretmektedir. Bu rassal sayılar küçükten büyüğe doğru sıralanarak, aday çözümlerin sırası belirlenir.

#### **4.3.1. Genetik Algoritma Sonuçları**

Genetik algoritmanın uygulanabilmesi için MATLAB yazılımında mevcut global optimization toolbox fonksiyonları kullanılmıştır. Çözüm sürecinde Öncelikle rassal bir başlangıç popülasyonu oluşturulmakta ve uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Uygunluk değeri hesaplaması, matematiksel model kısmında belirtilen amaç fonksiyonu ile yapılır. Uygunluk değeri hesaplanmasından sonra bir sonraki jenerasyona genlerin aktarılmasını sağlayan çoğalma işlemi gerçekleştirilir. Çoğalma işleminin gerçekleştirilmesi için rassal seçim yöntemi kullanılmaktadır. Daha sonra popülasyonda olmayan bireyleri yaratacak ve bireyler arasındaki çeşitliliğin artırılmasını sağlayacak olan uniform çaprazlama yöntemi uygulanır. Çaprazlama işleminin ardından mutasyon işlemi gerçekleştirilerek bireylerin sahip oldukları genlerde değişiklik yapılır. Mutasyon işleminden sonra uygunluk değeri hesaplanarak durdurma kriteri sağlanana kadar döngü devam ettirilir.

Belirlenmesi gereken genetik algoritma parametrelerinden çaprazlama oranı=%80,

mutasyon oranı=%50 ve popülasyon büyüklüğü=100 olacak şekilde işlem yapılmıştır. Çaprazlama oranının yüksek seçilmesi ile çeşitlilik artacağı için optimum sonuca ulaşmak kolaylaşacaktır. Mutasyon oranının ortalama bir değer seçilmesi, çeşitliliği koruyarak lokal optimumlardan kaçınılmasını sağlar[92]. Popülasyonun büyük seçilmesi daha iyi bir arama işlemi sağlayacaktır fakat hesaplama maliyeti ile birlikte algoritmanın sonuca ulaşma süresi artacaktır.

Genetik algoritma sonuçları Asya ve Avrupa kıtaları için ayrı ayrı ele alınmıştır. Asya kıtası için farklı öbeleme analizi yöntemleri kullanıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.13’de belirtildiği gibidir. Bu sonuçların elde edilmesi için mevcut algoritma ile 30 defa sonuç alınmış ve bu sonuçların ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu sonuçlardan elde edilen verilere göre; Asya yakası için en yüksek amaç fonksiyonu değerine sahip öbeleme analizi yöntemleri sırasıyla KO, ABCO ve BCO algoritmaları, en düşük yakıt tüketimi miktarını veren algoritma ise yükseklikli BCO algoritmasıdır ve yükseklikli ABCO algoritması ile yakın bir değere sahiptir. Tablo 4.13’de belirtilen yakıt tüketimi miktarları analiz edildiğinde; yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %50 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %55 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %56 azaldığı gözlenmiştir.

**Tablo 4.13:** Asya Yakası için Genetik Algoritma Sonuçları

BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
7143,1	7569,3	7493,7	3246,4	3779,1	3280,9

Avrupa kıtası için farklı öbeleme analizi yöntemleri kullanıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.14’de belirtildiği gibidir. Bu sonuçların elde edilmesi için mevcut algoritma ile 30 defa sonuç alınmış ve bu sonuçların ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu sonuçlardan elde edilen verilere göre; Avrupa yakası için en yüksek amaç fonksiyonu değerine sahip öbeleme analizi yöntemleri sırasıyla

K0, BCO ve ABCO algoritmaları, en düşük yakıt tüketimi miktarını veren algoritma ise yükseklikli ABCO algoritmasıdır ve yükseklikli BCO algoritması ile yakın bir değere sahiptir. Tablo 4.14'de belirtilen yakıt tüketimi miktarları analiz edildiğinde; yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamalar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamalar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %68 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamalar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamalar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %68 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %62 azaldığı gözlenmiştir.

**Tablo 4.14:** Avrupa Yakası için Genetik Algoritma Sonuçları

BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
13706,73	14591,4	11446	4378,7	4615,2	4363,2

#### 4.3.2. Tavlama Benzetimi Algoritması Sonuçları

Tavlama benzetimi algoritmasının uygulanabilmesi için MATLAB yazılımında mevcut global optimization toolbox fonksiyonları kullanılmıştır. Bu algoritmanın çözüm sürecinde başlangıç çözümü rassal olarak belirlenir ve başlangıç sıcaklığı oluşturulur. Başlangıç çözüm değeri matematiksel modelde tanımlanan amaç fonksiyonu ile hesaplanır ve en iyi çözüm ataması yapılır. En iyi çözümden rasgele bir komşu çözüm ve belirlenen soğutma katsayısına göre yeni sıcaklık değeri oluşturulur. Durma kriteri sağlanana kadar döngü devam eder.

Tavlama benzetimi algoritmasının uygulanabilmesi için en önemli parametreler başlangıç sıcaklığı, soğutma katsayısı ve durma kriteridir. Bu problemde başlangıç sıcaklığı değeri=100, soğutma katsayısı değeri=0,95 ve durma kriteri olarak belirlenen iterasyon sayısı=100 olacak şekilde işlem yapılmıştır. Literatürde ele alınan birçok kaynakta soğutma katsayısı değeri 0.9 ve 1 aralığında olacak şekilde işleme alınmıştır.

Tavlama benzetimi algoritması sonuçları Asya ve Avrupa kıtaları için ayrı ayrı ele alınmıştır. Asya kıtası için farklı öbekleme analizi yöntemleri kullanıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.15'de belirtildiği gibidir. Tavlama benzetimi algoritmasında

optimum sonuçların elde edilmesi için mevcut algoritma ile 30 defa sonuç alınmış ve bu sonuçların ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu sonuçlardan elde edilen verilere göre; Asya yakası için en yüksek yakıt tüketimi miktarına sahip öbekleme analizi yöntemleri sırasıyla KO, ABCO ve BCO algoritmaları, en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip algoritma ise yükseklikli BCO algoritmasıdır. Tablo 4.15’de belirtilen yakıt tüketimi miktarları analiz edildiğinde; yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %59 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %62 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %59 azaldığı gözlenmiştir.

**Tablo 4.15:** Asya Yakası için Tavlama Benzetimi Algoritması Sonuçları

BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
11561,05	13092,33	11906,05	4382,75	5425,49	4867,16

Avrupa kıtası için farklı öbekleme analizi yöntemleri kullanıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.16’da belirtildiği gibidir. Tavlama benzetimi algoritmasında optimum sonuçların elde edilmesi için mevcut algoritma ile 30 defa sonuç alınmış ve bu sonuçların ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu sonuçlardan elde edilen verilere göre; Avrupa yakası için en yüksek amaç fonksiyonu değerine sahip öbekleme analizi yöntemleri sırasıyla KO, BCO ve ABCO algoritmaları, en düşük yakıt tüketimi miktarını veren algoritma ise yükseklikli ABCO algoritmasıdır. Tablo 4.16’da belirtilen yakıt tüketimi miktarları analiz edildiğinde; yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %68 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %68 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü

**Tablo 4.16:** Avrupa Yakası için Tavlama Benzetimi Algoritması Sonuçları

BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
29369,83	29539,3	24199,4	9445,97	9268,083	9059,03

analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %62 azaldığı gözlenmiştir.

### 4.3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu Sonuçları

Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının uygulanabilmesi için MATLAB yazılımında mevcut global optimization toolbox fonksiyonları kullanılmıştır. Bu algoritmanın çözüm sürecinde başlangıç sürüsü, başlangıcı hızı ve pozisyonları rasgele olarak oluşturulmaktadır. Daha sonra her bir parçacığın uygunluk değeri hesaplanır. Jenerasyondaki tüm parçacıklar bir önceki jenerasyonun en iyisi ile karşılaştırılır ve daha iyi bir değer elde edildiğinde yer değiştirir. Tüm parçacıkların en iyisi global en iyi olarak atanır. Parçacık en iyi ve sürünün en iyi pozisyonları kullanılarak sürünün pozisyonu ve hızı güncellenir. Durma kriteri sağlanana kadar işlem devam etmektedir.

PSO algoritmasının uygulanması için en önemli parametreler sürünün büyüklüğü, eylemsizlik ağırlığı değeri( $W$ ), ve parçacığın hız vektörünün güncellenmesinde kullanılan,  $c_1$  ve  $c_2$  değerleridir. Bu problemin çözümü için sürünün büyüklüğü=100, eylemsizlik ağırlığı değeri( $W$ ), [0.1,1.1] aralığında dinamik bir değer ve parçacığın hız vektörünün güncellenmesinde kullanılan  $c_1$  ve  $c_2$  değerleri 1.49 olarak belirlenmiştir.  $W$ (eylemsizlik ağırlığı) değerlerinin yüksek seçilmesi, parçacığın hız vektöründeki değişim miktarını yükseltmektedir. Bu durumda bir sonraki konumu önceki konumundan daha uzakta olacaktır. Böylelikle çözüm uzayının global aranması sağlanmaktadır. Düşük  $W$  değerleri hız vektöründeki değişim miktarını düşük tutar, bu da yerel aramaları desteklemektedir.

Sürünün büyüklüğünün artması ile arama uzayı büyük olmakta ve birçok açıdan taranma yapılmaktadır. Ancak bu durum, her bir parçacık için hesaplama yapıldığından algoritmanın işleyiş süresini uzatmaktadır. Bu sebeple sürü büyüklüğünü arttırmak yerine optimal bir değer seçmek yerinde bir karardır.  $c_1$  ve  $c_2$  ile gösterilen ve parçacığın hız vektörünün güncellenmesinde kullanılan katsayılara hızlandırma veya öğrenme sabitleri adı verilmektedir. Öğrenme sabitlerinden  $c_1$ , parçacığın kendi geçmişinden öğrendiği bilginin ağırlığı,  $c_2$  ise komşularının geçmişinden öğrendiği bilginin ağırlığını göstermektedir.  $c_1$  ve



$c_2$  parametreleri algoritma sonuna kadar sabit tutulmaktadır[93].

Parçacık sürü optimizasyonu algoritması sonuçları Asya ve Avrupa kıtaları için ayrı ayrı ele alınmıştır. Asya kıtası için farklı öbeleme analizi yöntemleri kullanıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.17’de belirtildiği gibidir. Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında optimum sonuçların elde edilmesi için mevcut algoritma ile 30 defa sonuç alınmıştır. Tüm sonuçlarda amaç fonksiyonu değeri aynı yakıt tüketimi miktarına sahiptir. Bu sonuçlarından elde edilen verilere göre; Asya yakası için en yüksek yakıt tüketimi miktarına sahip öbeleme analizleri sırasıyla ABCO, KO ve BCO algoritmaları, en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip öbeleme analizi algoritması ise yükseklikli BCO algoritmasıdır. Tablo 4.17’de belirtilen yakıt tüketimi miktarları analiz edildiğinde; yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %57 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %64 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %53 azaldığı gözlenmiştir.

**Tablo 4.17:** Asya Yakası için Parçacık Sürü Optimizasyonu Sonuçları

BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
8207,3	8642,9	9269,2	2989,5	3700,9	4324,0

Avrupa kıtası için farklı öbeleme analizi yöntemleri kullanıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.18’de belirtildiği gibidir. Optimum sonuçların elde edilmesi için mevcut algoritma ile 30 defa sonuç alınmıştır. Tüm sonuçlarda amaç fonksiyonu değeri aynı yakıt tüketimi miktarına sahiptir. Bu sonuçlarından elde edilen verilere göre; Avrupa yakası için en yüksek yakıt tüketimi miktarına sahip öbeleme analizleri sırasıyla KO, BCO ve ABCO algoritmaları, en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip öbeleme analizi algoritması ise yükseklikli ABCO algoritmasıdır. Tablo 4.18’de belirtilen yakıt tüketimi miktarları analiz edildiğinde; yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %67 azaldığı; yükseklik

faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %72 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %64 azaldığı gözlenmiştir.

**Tablo 4.18:** Avrupa Yakası için Parçacık Sürü Optimizasyonu Sonuçları

BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
22456	28430	17392	6377,5	9334,6	6161,1

#### 4.3.4. Karınca Kolonisi Algoritması Sonuçları

Karınca kolonisi algoritmasının kodlanabilmesi için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Algoritmanın çözüm aşamasında öncelikli olarak başlangıç parametreleri girilir ve gerekli değerler atanır. Daha sonra karıncaların başlangıç pozisyonu ve bir sonraki aşamada gidebilecekleri en iyi yol belirlenir. Tercih ettikleri yol şimdiye kadar gidilen en iyi yol ise kaydedilir, değilse bu yolda belirlenen miktarda feromon maddesi buharlaştırılır. Maksimum iterasyon sayısına ulaşana kadar döngü devam eder.

Bu algoritmasının uygulanabilmesi için öncelikle problem için gerekli parametrelerden olan  $\alpha$ ,  $\beta$ , buharlaşma katsayısı( $p$ ), karınca sayısı ve maksimum iterasyon sayısı belirlenmektedir. Bu parametre değerlerinin amaç fonksiyonu üzerindeki performans değerlendirilmesi yapılırken, ele alınan parametrelerden bir tanesi hariç diğer değerler sabit tutularak parametrelerin algoritma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 1$ , buharlaşma katsayısı( $p$ )=0.3, karınca sayısı=100 ve maksimum iterasyon sayısı=100 olarak belirlenmiştir.

$\alpha$  değerinin büyük seçilmesi salgı maddesine bağlılığı artıracak ve buna bağlı olarak çeşitlilik azalacaktır. Küçük seçilmesi durumunda ise daha önceki karıncaların bıraktığı salgı maddesinin önemi düşürülmüş olacak ve optimal değere yakınlaşmak yerine rastgeleliğe göre sonuç bulunmaya çalışılacaktır.  $\beta$  değerinin büyük seçilmesi ile toplam maliyete bağlılık artacak ve diğer parametrelere bağlılık azalacaktır.  $\beta$  değerinin küçük değerler seçilmesi durumunda ise yapılacak olan atama işlemindeki toplam maliyete bağlılık azalacaktır[92].

Buharlaşma katsayısının( $p$ ) büyük seçilmesi, ortamdaki salgı maddesinin çok miktarda buharlaşmasını sağlayacaktır. Bu durumda ortamda az miktarda bulunan salgı maddesi daha da azalacak, belki de yok olacaktır, bu şekilde seçilme oranı gereğinden fazla azaltılmış olacaktır. Öte yandan buharlaşma katsayısını artırmak çeşitliliği artıracaktır. Karınca sayısının büyük seçilmesi durumunda optimum sonuca çabuk ulaşılması sağlanırken, karınca sayısının artması ile yapılacak işlem sayısı da artacağından sonuca ulaşma süresi artacaktır. Karınca sayısının küçük değerler seçilmesi de optimum sonuca kısa sürede ulaşılmasını önleyeceğinden problemin büyüklüğüne göre problemdeki matris boyutunun büyüklüğüne eşit veya daha fazla sayıda karınca seçilmesinin iyi sonuca ulaşmada yardımcı olabileceği gözlemlenmiştir[92]. Maksimum iterasyon sayısının büyük bir değer seçilmesi, karınca sayısında olduğu gibi algoritmadaki işlem yükünü artıracak ve algoritmanın sonuca ulaşma süresini uzatacaktır. Bu yüzden ortalama bir değer seçilmesi beklenen bir durumdur.

Karınca kolonisi algoritması için özümlemler Asya ve Avrupa kıtaları için ayrı ayrı ele alınmıştır. Asya kıtası için farklı öbikleme analizi yöntemleri kullanıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.19'da belirtildiği gibidir. Karınca kolonisi optimizasyonu algoritması MATLAB yazılımı kullanılarak kodlanmıştır. Farklı parametrelerin karşılaştırılmasının yapılması için, parametre değerleri değiştirilerek çeşitli sonuçlar alınmıştır. Uygun parametre değerleri kullanılarak optimum sonuçların elde edilmesi için mevcut algoritma ile 30 defa çalıştırılmıştır. Tüm sonuçlarda amaç fonksiyonu değeri aynı yakıt tüketimi miktarına sahiptir. Asya yakası için optimum sonucu veren parametrelerin kullanılması ile en yüksek yakıt tüketimi miktarına sahip öbikleme analizleri sırasıyla yükseklik ABCO, BCO ve KO algoritmaları, en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip öbikleme analizi algoritması ise yükseklikli KO algoritmasıdır. Tablo 4.19'da belirtilen yakıt tüketimi miktarları analiz edildiğinde; yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %58 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %54 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %54 azaldığı gözlenmiştir.

**Tablo 4.19:** Asya Yakası için Karınca Kolonisi Algoritması Sonuçları

<i>iterasyon</i> = 100	n=40	$\alpha = 1$	$\beta = 1$	$p = 0,5$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4221,5	4193,1	4381,3	1949,8	1788,2	2044,0
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 1$	$\beta = 1$	$p = 0,5$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4220,3	4202,1	4338,4	1920,9	1713,8	2005,9
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 1$	$\beta = 1$	$p = 0,2$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4153,5	4124,2	4330,5	1911,1	1772,7	2008,4
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 1$	$\beta = 1$	$p = 0,3$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4180,8	4108,5	4328,6	1914,8	1722,5	2001,4
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 2$	$\beta = 2$	$p = 0,2$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4269,9	4310,0	4508,4	2074,6	1746,7	2128,6
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 2$	$\beta = 2$	$p = 0,3$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4225,7	4239,7	4577,1	2054,2	1736,6	2121,6
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 2$	$\beta = 2$	$p = 0,4$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4250,2	4400,1	4517,1	2027,8	1769,2	2111,3

Avrupa kıtası için farklı öbeleme analizi yöntemleri kullanıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.20’de belirtildiği gibidir. Uygun parametre değerleri kullanılarak optimum sonuçların elde edilmesi için mevcut algoritma ile 30 defa çalıştırılmıştır. Tüm sonuçlarda amaç fonksiyonu değeri aynı yakıt tüketimi miktarına sahiptir. Avrupa yakası için optimum sonucu veren parametrelerin kullanılması ile en yüksek yakıt tüketimi miktarına sahip öbeleme analizleri sırasıyla yükseklik ABCO, KO ve BCO algoritmaları, en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip öbeleme analizi algoritması ise yükseklikli BCO algoritmasıdır. Tablo 4.20’de belirtilen yakıt tüketimi miktarları analiz edildiğinde; yükseklik faktörünün kullanılmadığı k-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı k-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %59 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %59 azaldığı; yükseklik faktörünün kullanılmadığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması ile yükseklik faktörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritması karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü

analize dahil edildiğinde yakıt tüketiminin %59 azaldığı gözlenmiştir.

**Tablo 4.20:** Avrupa Yakası için Karınca Kolonisi Algoritması Sonuçları

<i>iterasyon</i> = 100	n=40	$\alpha = 1$	$\beta = 1$	$p = 0,5$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4347,6	4372,2	4627,3	1815,9	1801,6	1853,5
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 1$	$\beta = 1$	$p = 0,5$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4302,0	4361,9	4517,3	1742,6	1729,4	1792,6
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 1$	$\beta = 1$	$p = 0,2$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4174,0	4341,4	4501,9	1692,1	1698,0	1830,5
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 1$	$\beta = 1$	$p = 0,3$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4227,3	4277,5	4536,9	1721,7	1761,0	1858,4
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 2$	$\beta = 2$	$p = 0,2$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4318,0	3944,1	4590,5	1641,8	1703,0	1827,5
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 2$	$\beta = 2$	$p = 0,3$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4212,7	4261,6	4623,3	1701,2	1696,5	1849,0
<i>iterasyon</i> = 100	n=100	$\alpha = 2$	$\beta = 2$	$p = 0,4$	
BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
4321,6	4245,8	4862,3	1810,4	1826,8	1916,4

#### 4.4. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Kullanılan metasezgisel yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması açısından her bir yöntemdeki nüfus büyüklüğü ve iterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Asya ve Avrupa kıtaları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Asya kıtası için elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 4.21’de, Avrupa kıtası için elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 4.22’de belirtildiği gibidir.

**Tablo 4.21:** Asya Kıtası için Metasezgisel Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması

	BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
KKA	4180,8	4108,5	4328,6	1914,8	1722,5	2001,4
GA	7143,1	7569,3	7493,7	3246,4	3779,1	3280,9
TB	11561,05	13092,33	11906,05	4382,75	5425,49	4867,16
PSO	8207,3	8642,9	9269,2	2989,5	3700,9	4324,0

**Tablo 4.22:** Avrupa Kıtası için Metasezgisel Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması

	BCO	KO	ABCO	BCO (Yükseklik)	KO(Yükseklik)	ABCO(Yükseklik)
KKA	4227,3	4277,5	4536,9	1721,7	1761,0	1858,4
GA	13706,73	14591,4	11446	4378,7	4615,2	4363,2
TB	29369,83	29539,3	24199,4	9445,97	9268,083	9059,03
PSO	22456	28430	17392	6377,5	9334,6	6161,1

Asya ve Avrupa yakaları için elde edilen sonuçlara göre, diğer metasezgisel algoritma sonuçları ile karşılaştırıldığında karınca kolonisi algoritması sonuçları en düşük yakıt tüketimi miktarına sahiptir. Uygulanan tüm öbikleme analizi yöntemleri karşılaştırıldığında Asya ve Avrupa kıtaları için yükseklik faktörünün kullanılmadığı KO algoritması genellikle en fazla yakıt tüketimi miktarına sahiptir. Asya yakası için en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip olan öbikleme analizi yöntemi genetik algoritma, tavlama benzetimi ve parçacık sürü optimizasyonunda yükseklikli BCO algoritması, karınca kolonisi algoritmasında ise yükseklikli k-ortalamlar algoritmasıdır. Avrupa yakası en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip olan öbikleme analizi yöntemi genetik algoritma, tavlama benzetimi ve parçacık sürü optimizasyonunda yükseklikli ABCO algoritması, karınca kolonisi algoritmasında ise yükseklikli bulanık c-ortalamlar algoritmasıdır. Düşük yakıt tüketimi miktarına sahip algoritmaların Asya ve Avrupa kıtası için farklı olmasının nedeni iki yakanın coğrafi koşullarının farklılıklarıdır.

Asya kıtası için en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip çözüm yöntemi yükseklikli k-ortalamlar algoritması ve karınca kolonisi algoritmasının kullanıldığı hibrit yaklaşım olmuştur fakat yükseklikli k-ortalamlar, yükseklikli bulanık c-ortalamlar ve yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmaları yakıt tüketimi miktarı açısından yakın değerlere sahiptir. Bu nedenle yükseklik faktörü kullanılarak yapılan farklı öbikleme analizi yöntemlerinin uygulanması sonucunda elde edilen öbeklerdeki hastaneler Tablo 4.23'de belirtilmiştir.

Avrupa kıtası için en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip çözüm yöntemi yükseklikli bulanık c-ortalamlar ve karınca kolonisi algoritmasının kullanıldığı hibrit yaklaşım olmuştur fakat yükseklikli k-ortalamlar, yükseklikli bulanık c-ortalamlar ve yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmaları yakıt tüketimi miktarı açısından yakın değerlere sahiptir. Bu nedenle yükseklik faktörü kullanılarak yapılan farklı öbikleme analizi yöntemlerinin uygulanması sonucunda elde edilen öbeklerdeki hastaneler Tablo 4.24'de

**Tablo 4.23:** Asya Kıtası için Belirlenen Öbeklere ait Hastaneler

Yükseklikli KO Algoritması ile Belirlenen Öbeklerdeki Hastaneler		
1.Öbek Hastaneleri	2. Öbek Hastaneleri	3.Öbek Hastaneleri
2-11-12-13-14-15-21-22-30 34-39-40-46-47-52-57-60 64-66-67-70-71-72-74-75 79-6-86-88-90	1-3-6-8-9-10-16-17-18-19-20 23-24-25-26-27-28-29-31-32 33-35-36-37-38-41-42-43-44 45-48-49-50-51-53-54-55-56 58-59-61-62-63-65-68-69-73 76-77-78-80-81-82-83-84-85 87-89	4-5-7
Yükseklikli BCO Algoritması ile Belirlenen Öbeklerdeki Hastaneler		
1.Öbek Hastaneleri	2. Öbek Hastaneleri	3.Öbek Hastaneleri
1-3-6-8-9-10-16-17-18-19-20 23-24-25-26-28-29-32-35-36 37-41-42-43-44-45-48-49-50 54-55-56 -61-62-69-77-84	14-22-27-31-33-38-39-40-47 51-53-57-58-59-60-63-65-68 71-73-76-78-80-81-82-83-85 87-89	2-4-5-7-11-12-13-15-21-30 34-46-52-64-66-67-70-72-74 75-79-86-88-90
Yükseklikli ABCO Algoritması ile Belirlenen Öbeklerdeki Hastaneler		
1.Öbek Hastaneleri	2. Öbek Hastaneleri	3.Öbek Hastaneleri
1-3-6-8-9-10-16-17-18-19-20 23-24-25-26-28-29-32-35-36 37-41-42-43-44-45-48-49-50 53-54-55-56-61-62-65-69-76 77-84	14-22-27-31-33-38-39-40-47 51-57-58-59-60-63-68-71-73 78-80-81-82-83-85-87-89	2-4-5-7-11-12-13-15-21-30 34-46-52-64-66-67-70-72-74 75-79-86-88-90

belirtilmiştir.

Tablo 4.23 ve Tablo 4.24’de yükseklik faktörü kullanılarak yapılan öbekleme analizleri sonucunda elde edilen öbeklerdeki hastaneler verilmiştir. Belirtilen öbekleme analizi yöntemlerinin uygulanması sonucunda elde edilen öbeklerdeki araç rotalarının karınca kolonisi algoritması kullanılarak hesaplanması ile en düşük yakıt tüketimi miktarı elde edilmiştir. Uygulanan metasezgisel algoritmaların sonuçlarına göre, yükseklik faktörünün kullanılmadığı öbekleme analizi yöntemleri yüksekliğin kullanıldığı öbekleme analizi yöntemleri ile karşılaştırıldığında, yükseklik parametresi kullanılarak yapılan analizler ile minimum %53 oranında yakıt tüketimi miktarı azaltılmıştır.

**Tablo 4.24:** Avrupa Kıtası için Belirlenen Öbeklere ait Hastaneler

Yükseklikli KO Algoritması ile Belirlenen Öbeklerdeki Hastaneler		
1.Öbek Hastaneleri	2. Öbek Hastaneleri	3.Öbek Hastaneleri
7-8-11-16-43-44-46-51-52-53	3-4-5-6-12-13-14-15-19-20-21	1-2-9-10-17-18-22-24-26-28
55-56-60-66-69-71-72-80-88	23-25-27-31-32-34-35-36-38	29-30-33-37-39-40-41-42-47
97-102-106-109-110-111-112	49-54-57-65-74-76-79-81-84	48-50-58-59-61-62-63-64-67
114-115-119-120-126-129	85-87-91-93-94-95-96-99-100	68-70-73-75-77-78-82-83-86
130-131-132-137-138-139	101-103-113-116-117-118-121	89-90-98-104-107-108-123
143-146-150-154-155-156	122-124-125-127-128-135-140	133-134-136-142-144-151
158-159-160-161	141-145-147-148-149-152-157	153
Yükseklikli BCO Algoritması ile Belirlenen Öbeklerdeki Hastaneler		
1.Öbek Hastaneleri	2. Öbek Hastaneleri	3.Öbek Hastaneleri
7-9-10-17-18-22-24-26-28-29	1-2-3-4-5-6-12-13-14-15-19-20	8-11-16-43-44-46-51-52-53
30-33-37-39-40-41-42-45-47	21-23-25-27-31-32-34-35-36	55-56-60-69-72-88-97-102
48-58-59-61-62-63-64-66-67	38-49-50-54-57-65-74-76-79	106-109-110-114-119-120
68-70-71-73-75-77-78-82-83	80-81-85-87-91-93-94-95-96	126-129-130-131-132-138
84-86-89-90-92-98-104-105	99-100-101-103-107-108-113	139-143-146-154-155-156
111-112-115-123-133-134	116-117-118-121-122-124-125	158-160-161
136-137-142-144-150-151	127-128-135-140-141-145-147	
153-159	148-149-152-157	
Yükseklikli ABCO Algoritması ile Belirlenen Öbeklerdeki Hastaneler		
1.Öbek Hastaneleri	2. Öbek Hastaneleri	3.Öbek Hastaneleri
7-9-10-17-18-22-26-28-29-30	1-2-3-4-5-6-12-13-14-15-19-20	8-11-16-43-44-46-51-52-53
33-37-39-40-41-42-45-47-48	21-23-24-25-27-31-32-34-35	55-56-60-66-69-72-88-97
58-59-61-62-63-64-67-68-70	36-38-49-50-54-57-65-74-76	102-106-109-110-111-114
71-73-75-77-83-84-86-89-90	78-79-80-81-82-85-87-91-93	119-120-126-129-130-131
92-98-104-105-112-115-123	94-95-96-99-100-101-103-107	132-138-139-143-146-150
133-136-137-142-144-151	108-113-116-117-118-121-122	154-155-156-158-159-160
153	124-125-127-128-134-135-140	161
	141-145-147-148-149-152-157	



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, son zamanların önemli problemlerinden biri olan karayolu yük taşımacılığında kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılmasına yönelik olarak yapılmıştır. Doğaya salınan emisyon oranının düşürülmesinin sağlanması amacıyla yeşil tedarik zincirlerinin önemli konularından biri olan araç rotalama problemleri alanında çalışma yapılmıştır. Bu problem için tasarlanan model, öbikleme analizi yöntemleri ve metasezgisel algoritmaların birlikte kullanılması ile elde edilmiştir. Model kurulumu yapılırken daha önce öbikleme analizi yapılırken kullanılan enlem ve boylam faktörlerine ek olarak yükseklik faktörü de kullanılmıştır. K-ortalamlar, yükseklikli k-ortalamlar, bulanık c-ortalamlar, yükseklikli bulanık c-ortalamlar, ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar ve yükseklikli ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamlar algoritmaları olmak üzere 6 farklı öbikleme analizi yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen öbeklerdeki araç rotaları tavlama benzetimi, karınca kolonisi algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma olmak üzere 4 farklı metasezgisel algoritma ile çözülmüştür. Matematiksel model kurulumunda hem yolun eğimi hem de taşınan toplam yük miktarı dikkate alınmıştır.

Öbikleme analizi ile yakın yüksekliğe sahip yerler için aynı rotayı kapsayacak bir ağ oluşturulması amaçlanmış olup, aracın iniş-çıkış hareketlerinden kaynaklanan emisyon oranının düşürülmesi sağlanmıştır. Problemin kurulumu aşamasında yolun eğimi ve taşınan yük faktörleri dikkate alınarak, yol boyunca eğimden kaynaklı ve taşınan yükten kaynaklı emisyon değerinin düşürülmüştür. Metasezgisel algoritmaların kullanılması ile karşılaştırmalı olarak optimum maliyeti veren öbikleme analizi yöntemi ve metasezgisel algoritma belirlenmiştir.

Bu tez ile birlikte öbikleme analizi yöntemlerinin tedarik zincirinin en önemli konularından biri olan araç rotalama problemine uygulanarak yakıt tüketiminin minimum düzeyde tutulması ile doğaya salınan karbon emisyonu değeri düşürülmüştür. Literatürde ilk defa yükseklik faktörü öbikleme analizinde kullanılmıştır. Öbekler belirlenirken yükseklik faktörünün kullanıldığı, yükseklik faktörünün kullanılmadığı ve hem yükseklik hem de yük faktörünün kullanıldığı çalışmaların karşılaştırması yapılmıştır.

İlk bölümde tedarik zinciri kavramı, tedarik zinciri yönetimi, yeşil tedarik zinciri yönetimi, araç rotalama problemi ve yeşil tedarik zincirlerindeki araç rotalama problemleri hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde kullanılan modelin tasarlanması, kullanılan öbekleme analizlerinin ve metasezgisel algoritmaların metodolojisi ve araç rotalama problemi için kurulan matematiksel model ayrıntılarıyla ele alınmıştır. Üçüncü bölümde kullanılan veri seti hakkında bilgi verilmiş ve bu veri setine bağlı kalınarak elde edilen sayısal verilerin analizi ve birbirleriyle karşılaştırması yapılmıştır.

Bu çalışmada önerilen model İstanbul ilinin yirmi yatak ve üzeri büyüklükteki hastanelerinden atıkların toplanmasını sağlayan araç rotalarının oluşturulması için kullanılmıştır. Uygulanan yöntemler birbirleri ile karşılaştırıldığında Asya kıtası için en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip çözüm yöntemi yükseklikli k-ortalamlar algoritması ve karınca kolonisi algoritmasının kullanıldığı hibrit yaklaşım olurken, Avrupa kıtası için en düşük yakıt tüketimi miktarına sahip çözüm yöntemi yükseklikli bulanık c-ortalamlar ve karınca kolonisi algoritmasının kullanıldığı hibrit yaklaşım olmuştur. Yapılan çalışma sonucunda, yüksekliğin kullanılmadığı öbekleme analizi yöntemleri yüksekliğin kullanıldığı öbekleme analizi yöntemleri ile karşılaştırıldığında, yükseklik faktörü kullanılarak yapılan analizlerin yakıt tüketimini minimum %50 oranında azalttığı gözlenmiştir. Bu çalışmada doğaya salınan karbondioksit emisyonu değeri yakıt tüketimi miktarı ile ilişkilendirildiğinden, yakıt tüketiminin azaldığı oranda doğaya salınan emisyon değeri de düşürülmüştür.

Bu çalışmanın devamında ve çalışmanın geliştirilmesi için; gelecek çalışmalarda uygulama sırasında göz ardı edilen, kullanılan aracın kapasite kısıtı probleme eklenerek birden fazla araç kullanılabilir ve veri setinde güncel değişiklikler yapılarak İstanbul ilinde 20 yatak ve üzeri büyüklükteki yeni kurulan hastaneler de analize dahil edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1]. 2009, Key Environmental Issues Facing Europe, European Environment Agency, [Ziyaret tarihi:18 Eylül 2018]
- [2]. Özen, M. ve Yaman, H.T., 2013, Türkiye’de Şehirlerarası Yük Trafiği CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Tahmini, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(3), 56-64.
- [3]. Devlet Yolu, İl Yolu ve Otoyollar Üzerindeki Seyir ile Yük ve Yolcu Taşımaları, [http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1051](http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051), [Ziyaret tarihi:19 Kasım 2018]
- [4]. Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N.W., Smith, C.D. ve Zacharia, Z.G., 2001, Defining Supply Chain Management, Journal of Business Logistics, 22(2), 1-25.
- [5]. Melnyk, S.A., Narasimhan, R. ve Decampos, H.A., 2014, Supply Chain Design: Issues, Challenges, Frameworks and Solutions, International Journal of Production, 52(7), 1887-1896.
- [6]. Maia, J.L. ve Cerra, A.L., 2009, Interrelation Between Supply Chain Management And Logistics: A Case Study in the Brazilian Plant of a Multinational Automotive Company, Revista Gestao Industrial, 5(1), 59-73.
- [7]. Stevens, G.C., 1989, Integrating the Supply Chain, International Journal of Physical Distribution and Materials Management, 19(8), 3–8.
- [8]. Heizer, J. ve Render, B., 2017, Üretim Yönetimi (Sürdürülebilirlik ve Tedarik Zinciri Yönetimi), Palme Yayıncılık, Ankara, ISBN:978-605-355-764-7
- [9]. Büyüközkan, G., ve Vardaloğlu, Z., 2008, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, Lojistik Dergisi, 8(2008), 66-73.
- [10]. 1987, Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.
- [11]. Seuring, S. ve Müller, M., 2008, From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management, Journal of Cleaner Production, 16(2008), 1699–1710.
- [12]. Jaggernath, R., 2015, Green Supply Chain Management, World Journal of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development, 11(1), 37-47.
- [13]. Ai-ling, C., Gen-ke, Y. ve Zhi-ming, W., 2006, Hybrid Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem, Journal of Zhejiang University Science A, 7(4), 607–614.

- [14]. Toth, P. ve Vigo, D., 2002, Models, Relaxation and Exact Approaches for the Capacitated Vehicle Routing Problem, *Discrete Applied Mathematics*, *Discrete Applied Mathematics*, 123(2002), 487-512.
- [15]. Toth, P. ve Vigo, D., 2002, *The Vehicle Routing Problem*.
- [16]. Goetschalckx, M., 2011, *Supply Chain Engineering*, Springer Science & Business Media, 161, ISBN 978-1-4419-6511-0
- [17]. Jaramillo, J.R., 2011, The Green Vehicle Routing Problem, *Southeastern INFORMS Proceedings*, 470-477.
- [18]. Şeker, Ş., 2007, Araç Rotalama Problemleri Ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19]. Ombuki, B., Ross, B. J., ve Hanshar, F., 2006, Multi-objective Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Applied Intelligence*, 24(1), 17-30.
- [20]. Savelsbergh M. ve Sol M., 1995, The General Pick Up And Delivery Problem, *Transportation Science*, 29(1), 107-121.
- [21]. Nagy, G. ve Salhi, S., 2005, Heuristic Algorithms for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries, *European Journal of Operational Research*, 162(2005), 126–141.
- [22]. Ericsson, E. ve Larsson, H., 2006, Brundell-frej, K., Optimizing Route Choice For Lowest Fuel Consumption – Potential Effects of a New Driver Support Tool, *Transportation Research Part C*, 14(2006), 369–383.
- [23]. Bektaş, T. ve Laporte, G., 2011, The Pollution-Routing Problem, *Transportation Research Part B*, 45(8), 1232-1250.
- [24]. Kuo, Y. ve Wang, C., 2011, Optimizing the VRP by Minimizing Fuel Consumption, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(6), 440-450.
- [25]. Demir, E., Bektaş, T. ve Laporte, G., 2011, A Comparative Analysis of Several Vehicle Emission Models for Road Freight Transportation, *Transportation Research Part D*, 16(5), 347-357.
- [26]. Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I. ve Xu, Y., 2012, Development of a Fuel Consumption Optimization Model for the Capacitated Vehicle Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 39(7), 1419-1431.
- [27]. Jabali, O., Woensel, T.V ve De Kok, A.G., 2012, Analysis of Travel Times and CO<sub>2</sub> Emissions in Time-Dependent Vehicle Routing, *Production and Operations Management*, 21(6), 1060-1074.
- [28]. Franceschetti, A., Honhon, D., Woensel, V.T., Bektaş, T. ve Laporte, G., 2013, The Time-dependent Pollution Routing Problem, *Transportation Research Part B: Methodological*, 56(2013), 265-293.

- [29]. Kwon, Y., Choi, Y. ve Lee, D., 2013, Heterogeneous Fixed Fleet Vehicle Routing Considering Carbon Emission, *Transportation Research Part D*, 23(2013), 81-89.
- [30]. Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O. ve Laporte, G., 2014, The Fleet Size and Mix Pollution Routing Problem, *Transportation Research Part B*, 70(2014), 239-254.
- [31]. Taha, M., Fors, M.N. ve Shoukry, A.A, 2014, An Exact Solution for a Class of Green Vehicle Routing Problem, *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, January 7–9 2014, Bali, Indonesia, 1383-1390.
- [32]. Jabir, E., Panicker, V.V. ve Sridharan, R. 2015, Multi-objective Optimization Model for a Green Vehicle Routing Problem, *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 189(2015), 33-34.
- [33]. Salimifard, K. ve Raeesi, R., 2015, A Green Routing Problem: Optimising  $CO_2$  Emissions and Costs from a Bi-fuel Vehicle Fleet, *International Journal of Advanced Operations Management*, 6(1), 27-57.
- [34]. Ehmke, J. F., Campbell, A. M., ve Thomas, B. W. 2016, Vehicle Routing to Minimize Time-dependent Emissions in Urban Areas, *European Journal of Operational Research*, 251(2), 478-494.
- [35]. Ehmke, J.F., Campbell, A.M. ve Thomas, B.W., 2016, Optimizing for Costs and Emissions in Vehicle Routing in Urban Areas.
- [36]. Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O. ve Laporte, G., 2016, The Impact of Depot Location, Fleet Composition and Routing on Emissions in City Logistics, *Transportation Research Part B*, 84(2016), 81-102.
- [37]. Norouzi, N., Sadegh-Amalnick, M. ve Tavakkoli-Moghaddam, R., 2017, Modified Particle Swarm Optimization in a Time-dependent Vehicle Routing Problem: Minimizing Fuel Consumption, *Optimization Letters*, 11(1), 121–134.
- [38]. Ding, Y., Chen, C., Zhang, S., Guo, B., Yu, Z., ve Wang, Y., 2017, GreenPlanner: Planning Personalized Fuel-efficient Driving Routes using Multi-sourced Urban Data, In *Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 2017 IEEE International Conference, 207-216.
- [39]. Zhang, S., Gajpal, Y. ve Appadoo, S.S., 2017, A Meta-heuristic for Capacitated Green Vehicle Routing Problem, *Annals of Operations Research*, 269(1), 1–19.
- [40]. Koç, Ç. ve Karaoglan, I., 2016, The Green Vehicle Routing Problem: A Heuristic Based Exact Solution Approach, *Applied Soft Computing Journal*, 39(2016), 154–164.
- [41]. Kopfer, H.W., Schönberger, J. ve Kopfer, H., 2014, Reducing Greenhouse Gas Emissions of a Heterogeneous Vehicle Fleet, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1-2), 221-248.
- [42]. Belbağ, S., 2017, Yeşil Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi: Bir Literatür Taraması, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 345–366.

- [43]. Wyatt, D.W., Li, H. ve Tate, J.E., 2014, The Impact of Road Grade on Carbondioxide ( $CO_2$ ) Emission of a Passenger Vehicle in Real-world Driving, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32(2014), 160–170.
- [44]. Palconit, M.G.B. ve Nuñez, W.A., 2017,  $CO_2$  Emission Monitoring and Evaluation of Public Utility Vehicles Based on Road Grade and Driving Patterns: An Internet of Things Application, *Engineering Research and Development for Technology*, Department of Science and Technology.
- [45]. Coe, E., 2005, Average Carbondioxide Emissions Resulting From Gasoline and Diesel Fuel, United States Environmental Protection Agency.
- [46]. Zalik, K.R., 2008, An Efficient K-means Clustering Algorithm, *Pattern Recognition Letters*, 29(2008), 1385-1391.
- [47]. Chisman, J., 1975, The Clustered Traveling Salesman Problem, *Computers ve Operations Research*, 2(2), 115–119.
- [48]. Beasley, J.E., 1983, Route First - Cluster Second Methods for Vehicle Routing, *The International Journal of Management Science*, 11(4), 403–408.
- [49]. Hiquebran, D.T., Alfa, A.S, Shapiro, J.A. ve Gittoes, D.H., 1993, A Revised Simulated Annealing and Cluster-First Route-Second Algorithm Applied to the Vehicle Routing Problem, *Engineering Optimizaton*, 22(2), 77-107.
- [50]. Nagy, G. ve Salhi, S., 1999, A Cluster Insertion Heuristic For Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems With Backhauling, *Journal of the Operational Research Society*, 50(10), 1034–1042.
- [51]. Thangiah, S.R. ve Salhi, S., 2001, Genetic Clustering: An adaptive Heuristic For the Multidepot Vehicle Routing Problem, *Applied Artificial Intelligence*, 15(4), 361–383.
- [52]. Chandran, N., Narendran, T.T. ve Ganesh, K., 2006, A Clustering Approach to Solve The Multiple Travelling Salesmen Problem, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1(3), 372–387.
- [53]. Ganesh, K. ve Narendran, T.T., 2007, CLOVES: A cluster-and-search Heuristic to Solve The Vehicle Routing Problem with Delivery and Pick-up, *European Journal of Operational Research*, 178(3), 699–717.
- [54]. Dondo, R. ve Cerdá, J., 2007. A Cluster-Based Optimization Approach for The Multi-Depot Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows, *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1478–1507.
- [55]. Barreto, S., Ferreira, C., Paixao, J. ve Santas, B.S, 2007, Using Clustering Analysis in a Capacitated Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 179(3), 968–977.
- [56]. Yücenur, G.N. ve Demirel, N.C., 2011, A new geometric Shape-based Genetic Clustering Algorithm for The Multi-depot Vehicle Routing Problem, *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11859–11865.

- [57]. Ewbank, H., Wanke, P., ve Hadi-Vencheh, A., 2016, An Unsupervised Fuzzy Clustering Approach to the Capacitated Vehicle Routing Problem, *Neural Computing and Applications*, 27(4), 857-867.
- [58]. Expósito-Izquierdo, C., Rossi, A. ve Sevaux, M., 2015, A Two-Level Solution Approach to Solve the Clustered Capacitated Vehicle Routing Problem, *Computers & Industrial Engineering*, 91(2015), 274–289.
- [59]. Jiang, Y. ve Lin, J., 2016, Integrated Use of Soft Computing and Clustering For Capacitated Clustering Single-Facility Location Problem With One-time Delivery, 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2701–2705.
- [60]. Defryn, C. ve Sörensen, K., 2017, A fast Two-level Variable Neighborhood Search for The Clustered Vehicle Routing Problem, *Computers and Operations Research*, 83(2017), 78–94.
- [61]. Hintsch, T. ve Irnich, S., 2018, Large Multiple Neighborhood Search for the Clustered Vehicle-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 270(1), 118–131.
- [62]. Pop, P.C., Fuksz, L., Marc, A.H. ve Sabo, C., 2018, A Novel Two-level Optimization Approach For Clustered Vehicle Routing Problem, *Computers and Industrial Engineering*, 115(2018), 304–318.
- [63]. Erdoğan, S. ve Miller-Hooks, E., 2012, A Green Vehicle Routing Problem, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100–114.
- [64]. Tiwari, A. ve Chang, P., 2015, A Block Recombination Approach to Solve Green Vehicle Routing Problem, *International Journal of Production Economics*, 164(2015), 379-387.
- [65]. Gergin, Z., 2015, Tersine Tedarik Zinciri Haritalama ve Süreç Optimizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [66]. Gergin, Z. ve Esnaf, Ş., 2016, Tıbbi Atıkların Toplanması için Yeşil Tedarik Zinciri Yaklaşımı Esaslı Araç Rotalama Problemi, *X. Endüstri-İşletme Mühendisliği Kurultayı*, 16-17 Ekim 2015, İstanbul, Yapım Tanıtım Yayıncılık, ISBN:978-605-01-0857-6, 117-125.
- [67]. Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J.E. ve Villegas, J.G., 2016, A Multi-Space Sampling Heuristic for the Green Vehicle Routing Problem, *Transportation Research Part C*, 70(2016), 113-128.
- [68]. Zhou, Y. ve Lee, G.Y., 2017, A Lagrangian Relaxation-Based Solution Method for a Green Vehicle Routing Problem to Minimize Greenhouse Gas, *Sustainability*, 9(5), 776.
- [69]. Çınaroğlu, S. ve Bulut, H., 2018, New Initialization Approaches for The K-Means and Particle Swarm Optimization Based Clustering Algorithms, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2(2018), 413-423.

- [70]. Bezdek, J.C., Ehrlich, R. ve Full, W., 1984, FCM:The Fuzzy C-means Clustering Algorithm, *Computers & Geosciences*, 10(2), 191-203.
- [71]. Gath, I., ve Geva, A. B., 1989, Unsupervised Optimal Fuzzy Clustering, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7), 773-780.
- [72]. Wu, Z., Xie, W. ve Yu, J., 2003, Fuzzy C-Means Clustering Algorithm Based on Kernel Method, In *Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, September 27-30 (2003), China.
- [73]. Esnaf, Ş. ve Küçükdeniz, T., 2013, Solving Uncapacitated Planar Multi-Facility Location Problems by a Revised Weighted Fuzzy C-Means Clustering Algorithm, *Journal of Multiple-Valued logic and Soft Computing*, 21(2013), 147-164.
- [74]. 2014, National Renewable Energy Laboratory: Contribution of Road Grade to the Energy Use of Modern Automobiles Across Large Datasets of Real-World Drive Cycles, <https://www.afdc.energy.gov/data/?q=grade>, [Ziyaret tarihi:25 Mayıs 2018]
- [75]. Desale, S., Rasool, A., Andhale, S., ve Rane, P., 2015, Heuristic and Meta-Heuristic Algorithms and their Relevance to the Real World: A Survey, *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, 351(5), 2349–7084.
- [76]. Razali, N.M. ve Geraghty, J.,(2011, July), Genetic Algorithm Performance with Different Selection Strategies in Solving TSP, In *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2, 1134-1139, Hong Kong: International Association of Engineers.
- [77]. Wah, B., 2008, Genetic Algorithms, *Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering*, 1-15.
- [78]. Liu, S., Huang, W. ve Ma, H., 2009, An Effective Genetic Algorithm for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problems, *Transportation Research Part E*, 45(3), 434-445.
- [79]. Altay, A., 2007, Genetik Algoritma ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [80]. Ahn, C. W., ve Ramakrishna, R. S., 2002, A Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations, *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(6), 566-579.
- [81]. Baker, B.M. ve Ayechev, M.A., 2003, A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 30(5), 787–800.
- [82]. Brand, M., Masuda, M., Wehner, N. ve Yu, X.H., 2010, Ant Colony Optimization Algorithm for Robot Path Planning, *International Conference On Computer Design And Applications*, 3(2010), 436-440.
- [83]. Maniezzo, V., Gambardella, L.M. ve De Luigi, F., 2004, “Ant Colony Optimization”, *New Optimization Techniques in Engineering*, 101–121.
- [84]. Bell, J.E. ve McMullen, P.R., 2004, Ant Colony Optimization Techniques for the Vehicle Routing Problem, *Advanced Engineering Informatics*, 18(1), 41-48.



- [85]. Qi, L., Yao, W. ve Chang, J., 2018, A large scale transactional service selection approach based on skyline and ant colony optimization algorithm. In NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (1-7 April). IEEE.
- [86]. Adhikari, R. ve Agrawal, R.K., 2013, Hybridization of Artificial Neural Network and Particle Swarm Optimization Methods for Time Series Forecasting, International Journal of Applied Evolutionary Computation, 4(3), 75-90.
- [87]. Zhu, Q., Qian, L., Li, Y. ve Zhu, S., 2006, An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows, 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC, Canada, July 16-21(2006), 1386-1390.
- [88]. Baykasoğlu, A. ve Gindy, N.N.Z, 1999, A Simulated Annealing Algorithm for Dynamic Layout Problem, Computers & Operations Research, 28(14), 1403-1426.
- [89]. Moghaddam, M., A. ve Kolahan, F., 2015, An optimised Back Propagation Neural Network Approach and Simulated Annealing Algorithm Towards Optimisation of EDM Process Parameters, International Journal of Manufacturing Research, 10(3), 215-236.
- [90]. Zhan, S. H., Lin, J., Zhang, Z. J., ve Zhong, Y. W. ,2016, List-Based Simulated Annealing Algorithm for Traveling Salesman Problem, Computational Intelligence and Neuroscience, 2016, 8.
- [91]. 2018, World Health Organization, Health-care waste, <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>, [Ziyaret tarihi:21 Kasım 2018]
- [92]. Sel, Ç., Genel Atama Problemlerinin Çözümünde Deterministik, Olasılık Temelli ve Sezgisel Yöntemlerin Uygulanması, 2013, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [93]. Demirtaş, Y.E., 2015, Dinamik Araç Rotalama Problemine Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Çözüm Önerisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

**EKLER****EK 1. ASYA VERİLERİ**

Sıra No	Hastane Adı	Boylam	Enlem	Atık M.	Yükseklik
1	DRAGOS ŞİFA HASTANESİ	29,15997	40,90730	120	16
2	EMSEY HOSPİTAL KURTKÖY	29,28996	40,924563	2700	143
3	MALTEPE BÖLGE HASTANESİ	29,13759	40,92078	680	36
4	KAHRAMAN DİYALİZ MERKEZİ	29,25963	40,87866	200	278
5	KURTKÖY ERSOY HASTANESİ	29,26971	40,96630	1400	239
6	MALTEPE DEVLET HASTANESİ	29,13498	40,93686	550	32
7	REMEDY HOSPİTAL	29,23674	40,878203	550	339
8	PENDİK ŞİFA HASTANESİ	29,23606	40,88310	125	14
9	DELTA HOSPİTAL	29,12516	40,94644	700	50
10	TÜRKMED TUZLA DİYALİZ MERK.	29,28644	40,85830	250	16
11	SANCAKTEPE BÖLGE HASTANESİ	29,33213	41,00865	360	128
12	SAYGI HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	29,25781	40,96934	740	130
13	ERSOY HASTANESİ	29,26962	40,96671	750	138
14	TÜRK MED DİYALİZ KARTAL	29,20357	40,90990	550	97
15	SULTANBEYLİ DİYALİZ MERKEZİ	29,26016	40,97056	850	126
16	PENDİK HOSPİTAL	29,2444	40,883775	400	34
17	FATİH ÜNİ. SEMA UYGULAMA VE ARŞ.	29,13888	40,91031	1970	9
18	KÜÇÜKYALI DİYALİZ MERKEZİ	29,12911	40,94138	300	28
19	MALTEPE ONUR DİYALİZ MERKEZİ	29,12528	40,94556	650	52
20	UĞUR DİYALİZ MERKEZİ	29,24394	40,88402	600	31
21	PENDİK BÖLGE HASTANESİ	29,26008	40,91226	2740	174
22	KURTKÖY DİYALİZ MERKEZİ	29,30818	40,91897	500	111
23	GİSPİR HASTANESİ	29,29436	40,84836	600	12
24	BOĞAZIÇI DİYALİZ MERKEZİ	29,26777	40,86696	200	14
25	MEDİCİNE HOSPİTAL ASYA	29,26371	40,87722	900	40
26	KARTAL EĞT. VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	29,17229	40,91585	7900	45
27	MARMARA ÜNİ. NÖROLOJİK BLM. HAST.	29,13882	40,950045	720	78
28	PENDİK DEVLET HASTANESİ	29,22934	40,87729	480	10
29	MALTEPE ÜNİ. TIP FAK. MARMARA EĞT. HAST.	29,13446	40,925358	1150	32
30	SULTANBEYLİ DEVLET HAST.	29,26574	40,96535	1050	142
31	İST. MESLEK HASTALIKLARI HASTANESİ	29,14036	40,94919	45	78
32	İST. KARTAL YAVUZ SELİM DEVLET HAST.	29,17044	40,91635	1655	41
33	SÜREYYAŞA GÖĞÜS VE KALP DAMAR HAST.	29,14391	40,94649	1550	72
34	YAKACIK DOĞUM VE ÇOCUK HAST.	29,22048	40,91867	1450	177

Sıra No	Hastane Adı	Boylam	Enlem	Atık M.	Yükseklik
35	TUZLA DEVLET HASTANESİ	29,30569	40,84825	350	30
36	PENDİK DEVLET HAST. İSTASYON KLİNİKLERİ	29,23716	40,88044	250	8
37	KARTAL UMUT HASTANESİ	29,1775	40,890278	700	13
38	ACIBADEM HASTANESİ	29,04336	41,00730	3200	68
39	ACADEMIC HOSPİTAL	29,03456	41,01995	600	96
40	KARTAL TÜRK KIZILAYI KAN MERKEZİ	29,04139	41,02472	2250	102
41	ÇAĞINER HASTANESİ	29,04536	40,99603	400	18
42	BEYKOZ (HAYAT) DİYALİZ	29,08435	41,10603	250	17
43	İSTANBUL MEDİPOL HASTANESİ	29,03487	41,00468	1200	24
44	KADIKÖY ŞİFA HASTANESİ	29,02662	40,98861	500	27
45	MALTEPE ERSOY HASTANESİ	29,13476	40,93317	300	26
46	MEDİSTATE KAVACIK HASTANESİ	29,09926	41,095122	1550	136
47	ÇENGELKÖY MEDİVİA HAST.	29,07614	41,05256	450	105
48	YUNUS EMRE HASTANESİ	29,01723	41,02322	450	12
49	KADIKÖY FLORANCE NIGHTINGALE HAST.	29,04179	40,98181	1300	20
50	ATA DİYALİZ MERKEZİ	29,03682	41,00931	500	50
51	ÜSKÜDAR DEVLET HASTANESİ	29,03857	41,01539	1715	78
52	ÇAMLICA UNİVERSAL HASTANESİ	29,05841	41,02501	300	129
53	BEYKOZ DEVLET HASTANESİ	29,08661	41,11101	2130	57
54	SİYAMİ ERSEK GÖĞÜS KALP VE DAMAR HAST.	29,02514	41,00415	6425	28
55	HAYDARPAŞA NUMUNE EĞT. VE ARAŞT. HAST.	29,02123	41,00540	6425	43
56	KOŞUYOLU KALP EĞT. VE ARAŞTIRMA HAST.	29,03528	41,00694	3850	40
57	MARMARA ÜNİ. PENDİK HASTANESİ	29,04666	41,01852	10950	97
58	VALİDEBAĞ DEVLET HASTANESİ	29,04165	41,01223	100	63
59	ZEYNEP KAMİL KADIN VE ÇOCUK HAST.	29,02494	41,015144	3000	69
60	BAŞKENT ÜNİV. UYGULAMA VE ARAŞT. MER.	29,04148	41,02147	1650	106
61	HOSPİTALTÜRK ÜSKÜDAR	29,02167	41,02583	450	26
62	G.A.T.A	29,01931	41,00243	2450	27
63	AVİCENNA ATAŞEHİR HASTANESİ	29,10887	40,97915	550	84
64	ATLAS HOSPİTAL	29,10439	41,02411	280	147
65	CENTRAL HOSPİTAL	29,10049	40,96578	1250	55
66	MEDİCANE HOSPİTAL ÇAMLICA	29,08455	41,0249	2550	152
67	HOSPİTALYUM ÇAMLICA	29,08206	41,02392	300	147
68	UZMAN DİYALİZ	29,09607	40,982163	400	74
69	ECHOMAR GÖZTEPE HASTANESİ	29,06178	40,987997	500	49
70	AFİYET HASTANESİ	29,08413	41,02409	900	153
71	TRANSMED DİYALİZ MERKEZİ	29,07285	41,006816	490	95

Sıra No	Hastane Adı	Boylam	Enlem	Atık M.	Yükseklik
72	ÜMRANİYE ERDEM HASTANESİ	29,11991	41,02144	1300	143
73	ACIBADEM KOZYATAĞI HAST.	29,09335	40,97688	2250	79
74	HİSAR CONTİNANTAL HOSPİTAL	29,11512	41,02713	1480	138
75	NÖRO PSİKİYATRİ MERKEZİ	29,11401	41,02856	50	144
76	KOZYATAĞI DİYALİZ MERKEZİ	29,10332	40,96614	300	59
77	GÖZTEPE MEDİCAL PARK HAST.	29,07774	40,99029	4740	21
78	ATAŞEHİR MEMORİAL HASTANESİ	29,10718	40,98446	1150	63
79	FMC DİYALİZ MERKEZİ	29,13579	41,01171	450	152
80	ATAŞEHİR DİYALİZ MERKEZİ	29,09924	40,98682	550	75
81	F.SULTAN MEHMET EĞT. ARŞ. HST.	29,10328	40,97004	4300	72
82	ERENKÖY FİZİK TEDAVİ VE REH. HST.	29,08284	40,97604	150	61
83	ERENKÖY RUH SAĞLIĞI VE HASTLK. HAST.	29,08539	40,97520	160	68
84	İST. GÖZTEPE EĞT. VE ARŞ. HAST.	29,06621	40,98577	8300	50
85	BAYINDIR HASTANESİ	29,11048	40,96665	940	61
86	ÜMRANİYE EĞT. VE ARAŞTIRMA HAST.	29,10296	41,033115	3250	137
87	YEDİTEPE ÜNİVERSİTESİ HASTANESİ	29,10333	40,96976	1800	71
88	KAYIŞDAĞI DARULACEZE HASTANESİ	29,14748	40,97792	50	159
89	ATAŞEHİR ŞİFA HASTANESİ	29,10887	40,98503	950	61
90	ÇAMLICA ERDEM HASTANESİ	29,08261	41,02508	1750	150

## EK 2. AVRUPA VERİLERİ

Sıra No	Hastane Adı	Boylam	Enlem	Atık M.	Yükseklik
1	ÖZEL SİLİVRİ HAYAT DİYALİZ MERKEZİ	28,20835	41,08007	560	55
2	ÖZEL SİLİVRİ KOLAN HASTANESİ	28,25854	41,07193	600	55
3	SİLİVRİ ANADOLU HASTANESİ	28,22491	41,08243	2050	30
4	SİLİVRİ DEVLET HASTANESİ	28,25010	41,07811	1750	1
5	SİLİVRİ HAYAT HASTANESİ	28,24178	41,07798	740	3
6	ACIBADEM CAROUSEL HAST.	28,87309	40,97752	2555	43
7	ARNAVUTKÖY DEVLET HAST.	28,76153	41,17850	1050	103
8	AVCILAR HOSPİTAL	28,70931	40,99462	1830	112
9	AVİCENNA HOSPİTAL	28,88093	41,04077	1980	94
10	BAĞCILAR EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HAST.	28,87021	41,03027	7068	82
11	BAHAT HOSPİTAL	28,85941	41,10596	706	157
12	BAHÇELİEVLER DİYALİZ MERK.	28,86582	40,99798	480	47
13	BAHÇELİEVLER MEDİCALPARK HOSPİTAL	28,86283	40,99590	7250	42
14	BAKIRKÖY DEVLET (DR. SADİ EĞT.) HAST.	28,86596	40,99388	7750	33
15	BAKIRKÖY RUH SAĞ, SİNİR HAST. EĞT. VE ARŞ.	28,86089	40,98700	2390	45
16	BAŞAKŞEHİR DEVLET HAST.	28,80899	41,11835	722	166
17	BATI BAHAT HOSPİTAL	28,79668	41,05090	850	72
18	BAYRAKTAR DİYALİZ MERKEZİ	28,87207	41,02380	340	82
19	BÜYÜKÇEKMECE DEVLET HAST.	28,59874	41,01264	300	5
20	BÜYÜKÇEKMECE KOLAN HAST.	28,58599	41,02165	900	7
21	DOĞAN HASTANESİ	28,79329	40,98680	900	50
22	DR. SADIK AHMET HASTANESİ	28,78031	40,99959	70	73
23	ADLİ TIP KURUMU	28,82978	40,99358	370	20
24	ESENYURT DEVLET HASTANESİ	28,66824	41,02911	1850	57
25	ETHİCA İNCİRLİ HASTANESİ	28,87276	40,99711	1500	51
26	GÜNGÖREN HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	28,87174	41,02686	795	82
27	HALKALI DİYALİZ MERKEZİ	28,80374	41,03117	650	34
28	HOSPİTALİST BAĞCILAR	28,85496	41,03451	840	90
29	MEDICANA HOSPITALS HAZNEDAR	28,87010	41,00650	1575	69
30	IDC ULUSLAR ARASI DİYALİZ MRK.	28,72078	40,98128	850	80
31	INTERNATIONAL HOSPİTAL	28,83523	40,95961	1920	17
32	İLGİ HASTANESİ	28,86684	41,02095	980	50
33	ATAKENT ACIBADEM HASTANESİ	28,77702	41,03367	4750	71
34	KANUNİ SULTAN SÜL EĞT. VE ARŞ. HAST.	28,75994	41,05531	10480	45
35	İST. FİZİK TEDAVİ VE REH. EĞT. VE ARŞ.	28,85369	40,99503	685	31

Sıra No	Hastane Adı	Boylam	Enlem	Atık M.	Yükseklik
36	LERPA DERİ VE ZÜHREVİ HASTA. HAST.	28,85903	40,98956	20	24
37	M.AKİF ERSOY KALP DAMAR ARŞ. HAST.	28,77741	41,03368	3450	72
38	İSTANBUL HOSPİTAL	28,80312	41,05031	720	43
39	İSTANBUL MEDİPOL MEGA HASTANESİ	28,84174	41,05879	5485	84
40	İSTANBUL SAFA HAST. VE DOĞUMEVİ	28,85735	41,02279	1661	86
41	BAĞCILAR ŞİFA DİYALİZ MERK.	28,82948	41,02317	429	93
42	KOLAN HASTANESİ	28,87153	41,01398	340	62
43	LÜTFİYE NURİ BURAT DEVLET HAST.	28,86699	41,09631	265	146
44	MEDİCALPARK SULTANGAZİ	28,86342	41,09928	600	154
45	MEDİCANA HOSPİTAL	28,72101	40,98098	2400	77
46	MEDİCANA INTERNATIONAL HOSPİTAL	28,64641	41,01284	3500	178
47	MEGAMAR DİYALİZ MERKEZİ	28,85651	41,03153	250	86
48	MELTEM İSTANBUL DOĞUM VE ÇOCUK HAST.	28,85684	41,02878	400	87
49	BAKIRKÖY DÜNYA GÖZ HAST.	28,87272	40,97434	420	13
50	NİSA HASTANESİ	28,83038	40,99928	1210	55
51	BEYLİKDÜZÜ MEDİLİFE HAST.	28,66244	41,00616	1950	128
52	AVRUPA HASTANESİ	28,74411	41,18253	150	165
53	BÜYÜKÇEKMECE KOÇ DİYALİZ	28,66512	41,00551	950	111
54	ÖZEL ATAKÖY HASTANESİ (ECHOMAR)	28,84078	40,99221	670	21
55	ÖZEL AVCILAR ANADOLU HAST.	28,70630	41,00555	650	132
56	ÖZEL BEYLİKDÜZÜ KOLAN HAST.	28,62858	41,00851	1350	198
57	ÖZEL ÇAMLIK HASTANESİ	28,86945	40,98953	380	38
58	ÖZEL ÇAPA HASTANESİ	28,93398	41,01336	1235	59
59	DİACARE DİYALİZ MERKEZİ	28,86765	41,05565	873	89
60	ESENCAN HASTANESİ	28,67666	41,03322	1200	117
61	ÖZEL ESENLER ENSAR HAST.	28,87602	41,04964	230	97
62	ESENLER GÜNEY HAST. VE DOĞUMEVİ	28,87988	41,04367	630	91
63	ÖZEL ESENLER HAYAT HAST.	28,88215	41,03898	1210	93
64	ÖZEL GELİŞİM HASTANESİ	28,83945	41,02149	240	81
65	İLKE HASTANESİ	28,83757	40,99151	350	14
66	ÖZEL KOÇ DİYALİZ MERKEZİ	28,66591	41,00548	1100	104
67	ÖZEL MEDİCANA HOSPİTAL	28,87031	41,00636	1600	68
68	ÖZEL MEDİCİNE HOSPİTAL	28,83875	41,03016	1250	64
69	DOĞA HOSPİTAL	28,69636	41,01276	275	137
70	MEDİKARE BAĞCILAR DİYALİZ MERKEZİ	28,85684	41,04803	560	71
71	ÖZEL FMC AVCILAR 2 DİYALİZ MERKEZİ	28,71629	40,98782	500	101

Sıra No	Hastane Adı	Boylam	Enlem	Atık M.	Yükseklik
72	ÖZEL ŞİFA DİYALİZ MERKEZİ (S.Gazi)	28,85844	41,11040	650	162
73	ÖZEL TEM HOSPİTAL	28,80186	41,06128	520	71
74	ÖZEL YENİBOSNA SAFA HAST.	28,83841	40,99918	2245	27
75	TEKDEN BAĞCILAR HASTANESİ	28,84491	41,04812	1110	66
76	REN TEK DİYALİZ MERKEZİ	28,84806	40,99224	505	16
77	RUMELİ HOSPİTAL	28,79841	41,00755	900	84
78	VİTAL HOSPİTAL	28,84341	41,02045	740	57
79	T.B.V. AHMET ERMIŞ HASTANESİ	28,88008	41,00122	1960	48
80	ACIBADEM AİLE HAST.	28,86732	40,99756	840	44
81	ULTRA DİYALİZ MERKEZİ	28,86757	40,99865	700	44
82	YAŞAM HASTANESİ	28,86489	41,00349	300	57
83	YENİ UFUK HASTANESİ	28,85593	41,03294	640	87
84	İKLİM HASTANESİ	28,85928	41,03566	840	102
85	SANTE PLUS HASTANESİ	28,89448	40,9983	600	25
86	1. ORDU GÜMÜŞSUYU ASKER HAST.	28,99322	41,05410	110	92
87	ACIBADEM HASTANESİ FULYA	28,99945	41,05554	2630	35
88	ACIBADEM HASTANESİ MASLAK	29,02437	41,12742	3850	113
89	ALMAN HASTANESİ	28,98418	41,03347	335	90
90	AMERİKAN HASTANESİ	28,99514	41,05355	9050	96
91	AVRASYA HOSPİTAL	28,90685	41,00317	1376	47
92	İSTANBUL FLORANCE NIGHTINGALE	28,99611	41,06244	2280	102
93	AVUSTURYA SEN JORJ HAST.	28,97419	41,02427	100	38
94	BALAT MUSEVİ HASTANESİ	28,94533	41,03842	550	5
95	BALIKLI RUM HASTANESİ	28,9184	41,00008	4400	14
96	BALTALİMANI KEMİK HST. HAST.	29,05348	41,09671	1380	6
97	KADIOĞLU HASTANESİ	28,99462	41,06292	300	109
98	BAYRAMPAŞA DEVLET HAST.	28,90276	41,04153	735	95
99	BEYOĞLU GÖZ HASTANESİ	28,97394	41,02501	386	47
100	BEZMİ ALEM VAKIF GUREBA EĞT. HAST.	28,93403	41,01937	4710	30
101	CERRAHPAŞA TIP FAKÜLTESİ	28,94134	41,00456	5570	28
102	ÇEVRE HASTANESİ	29,00121	41,06725	200	119
103	ERKLİ DİYALİZ MERKEZİ	28,90478	41,00221	950	52
104	DORA HOSPİTAL	29,00032	41,05906	330	66
105	DUYGU HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	28,90112	41,07159	830	90
106	ETİLER DÜNYA GÖZ HASTANESİ	29,03738	41,08239	330	130
107	FATİH DİYALİZ MERKEZİ	28,94540	41,02003	800	55
108	FATİH HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	28,95056	41,01550	60	55

Sıra No	Hastane Adı	Boylam	Enlem	Atık M.	Yükseklik
109	FLORANCE NIGHATINGALE HASTANESİ	29,00406	41,06338	4950	119
110	FRANSIZ LAPE HASTANESİ	28,98996	41,06262	250	121
111	GAZİOSMANPAŞA HASTANESİ	28,90811	41,05891	4060	105
112	GÜLTEPE AVİCENNA HASTANESİ	28,99363	41,08031	165	102
113	HASEKİ HASTANESİ	28,94399	41,00986	4250	36
114	HOSPİTALYUM ŞİŞLİ	28,98867	41,06083	405	117
115	İ.B.Ü. AVRUPA FLORANCE NIGHTINGALE	28,99612	41,06245	210	103
116	İST. DERİ TENASÜL HASTALIKLARI HAST.	28,98496	41,00611	24	8
117	İST. EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	28,93879	41,00278	5010	14
118	İST. EYÜP DEVLET HASTANESİ	28,94107	41,05714	750	9
119	İST. NİŞANTAŞI DİYALİZ MERK.	28,99512	41,05295	340	130
120	İST. OKMEYDANI EĞT. VE ARAŞT. HAST.	28,97397	41,06555	6700	108
121	İST. TIP FAKÜLTESİ (ÇAPA) HAST	28,93438	41,01717	10600	44
122	İSTANBUL CERRAHİ HASTANESİ	28,99784	41,0556	900	43
123	İSTANBUL MEMORİAL HAST.	28,97255	41,06119	4150	83
124	UNİVERSAL AKSARAY HAST.	28,94991	41,00894	225	19
125	İSTİNYE DEVLET HASTANESİ	29,05558	41,11485	800	18
126	KAĞITHANE DEVLET HASTANESİ	29,00146	41,09229	720	116
127	KASIMPAŞA DENİZ HASTANESİ	28,96383	41,03271	170	26
128	MEDİCAL PARK HOSPİTAL FATİH	28,95212	41,0148	1660	45
129	METROPOLİTAN FLORANCE NIGHTINGALE	29,00399	41,06342	1875	119
130	OSMANOĞLU HASTANESİ	28,98537	41,05618	135	121
131	ÖZEL AVRUPA ŞAFAK HAST.	28,91253	41,05962	2300	149
132	ÖZEL BAHAT HALK HASTANESİ	28,89672	41,06788	580	136
133	ÖZEL BİLGE HASTANESİ	28,90737	41,06959	180	64
134	ÖZEL ÇAPA MEDİLİFE HAST.	28,93342	41,01486	315	58
135	ÖZEL EYÜP HALIÇ HOSPİTAL	28,94721	41,07758	850	7
136	ÖZEL GAZİ HASTANESİ	28,89859	41,10108	300	100
137	ÖZEL GAZİOSMANPAŞA DİYALİZ MERKEZİ	28,90828	41,05884	850	102
138	ÖZEL HALKALI KENT HASTANESİ	28,79398	41,03528	200	111
139	ÖZEL İSTANBUL ŞAFAK HAST.	28,89986	41,06563	1350	124
140	FINDIKZADE MEDİPOL HAST.	28,94032	41,01264	30	42
141	ÖZEL NİL METROPOL DİYALİZ MERKEZİ	28,97201	41,08171	840	17
142	ÖZEL RTS İSTANBUL AVRUPA DİYALİZ MER.	29,03036	41,08844	370	95
143	REN MED DİYALİZ MERKEZİ	29,01777	41,08211	380	129
144	RENİN DİYALİZ MERKEZİ	28,96476	41,05721	800	93
145	SARIYER İSMAİL AKGÜN DEVLET HASTANESİ	29,05683	41,16947	200	10



Sıra No	Hastane Adı	Boylam	Enlem	Atık M.	Yükseklik
146	BAY PARK HOSPİTAL	28,89691	41,06739	120	134
147	SURP PİRGİÇ ERMENİ HAST.	28,91469	40,99419	810	14
148	SÜLEYMANİYE KADIN HASTALIKLARI HAST.	28,91481	40,99578	1293	23
149	İ.Ü. KARDİYOLOJİ ENSTİTÜSÜ	28,94328	41,00914	610	42
150	ŞİŞLİ ETFAL EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HAST.	28,99001	41,05768	7550	104
151	NİŞANTAŞI HOSPİTAL	28,99445	41,04871	293	93
152	T.D.V. 29 MAYIS HASTANESİ	28,93784	41,02054	350	35
153	TAKSİM EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	28,98368	41,03296	2850	84
154	ALİBEY HOSPİTAL	28,92745	41,07873	175	110
155	TÜRKİYE GÖZ HASTANESİ	28,98189	41,06656	600	121
156	UMUT DİYALİZ MERKEZİ	28,91134	41,05536	420	120
157	YEDİKULE GÖĞÜS HAST. EĞT. VE ARAŞT. HAST.	28,91984	41,00108	1410	13
158	YILDIZ ACADEMİ HASTANESİ	28,92952	41,06140	200	120
159	LİV HOSPİTAL	29,02926	41,06054	1700	105
160	ÖZEL FMC ŞİŞLİ DİYALİZ MERK.	28,98918	41,05840	850	109
161	ŞİŞLİ INTERNATIONAL KOLAN HASTANESİ	28,97891	41,06937	2150	115

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Büşra ÖZOĞLU
Doğum Yeri	Gaziantep
Doğum Tarihi	28.10.1993
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	-
E-Posta Adresi	busra.ozoglu@gmail.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Zirve Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	2019

Çalışma Deneyimi	
Ünvan	Araştırma Görevlisi
Kurum Adı	Piri Reis Üniversitesi
Bölüm	Endüstri Mühendisliği Bölümü
Başlangıç Tarihi	2018-Devam Ediyor

Makale ve Bildiriler
<p><b>Makaleler</b></p> <p>Özoğlu, B., Küçükdeniz, T., Yeşil Tedarik Zincirlerinde Araç Rotalama Problemi için Öbekleme ve Metasezgisel Optimizasyon Tabanlı Yaklaşım, 38. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, Eskişehir, Türkiye, 26-29 Haziran 2018,ss.63</p>