



LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE ELEKTRİKLİ ARAÇ ROTALAMA OPTİMİZASYONU

**2024
YÜKSEK LİSANS
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

Yılmaz OLCAY

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR**

**LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE ELEKTRİKLİ ARAÇ ROTALAMA
OPTİMİZASYONU**

Yılmaz OLCAY

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2024**

Yılmaz OLCAY tarafından hazırlanan “LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE ELEKTRİKLİ ARAÇ ROTALAMA OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 05/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR (YÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ÖZCAN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK (SAÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Yılmaz OLCAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE ELEKTRİKLİ ARAÇ ROTALAMA OPTİMİZASYONU

Yılmaz OLCAY

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR

Ocak 2024, 73 sayfa

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunu geleceğimizi yaşamsal açıdan tehdit eden en önemli küresel sorunlardan birisidir. Bu nedenle bu sorun küresel düzeyde ele alınmış ve uluslararası politikalarla sera gazı salınımının azaltılması konusunda önemli hedefler belirlenmiştir. Ulaşım sektörü, küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarının salınımında %29'luk bir paya sahiptir. Ulaşım sektöründe önemli bir yere sahip olan taşımacılık sektörü, sera gazı salınımına katkıda bulunan ana sektörlerden birisidir. Bu nedenle taşımacılık sektöründe sera gazı salınımının azaltılmasına yönelik yapılacak çalışmaların, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele çalışmalarına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda taşımacılık sektöründe elektrikli araç kullanımına yönelik ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Ancak elektrikli araçların benzinli ve dizel araçlara göre daha az sürüş mesafesinin olması, sınırlı şarj yapısı, enerji tüketiminin yük ve yol eğimine bağlı olarak değişmesi vb. nedenler, bu araçların yolda kalma riskini artırmaktadır. Bu nedenle elektrikli araçlar için optimum rotaların oluşturulması, bu riskin minimize

edilmesinde en önemli faktördür. Bu çalışmada, lojistik sektöründe elektrikli araç rotalama optimizasyonu ele alınmış ve optimizasyon için Genetik Algoritma kullanılmıştır. Çalışma için Karabük ili Safranbolu ilçesinde 50 adet müşteri lokasyonu belirlenmiş ve bu müşterilerin konumlarına ait koordinat ve kot değerleri Safranbolu dijital imar planları üzerinden okunmuştur. Bu koordinat ve kot değerleri kullanılarak müşteri lokasyonları arasındaki mesafe ve eğimler hesaplanmıştır. Ayrıca müşteri lokasyonları için dağıtım konuları olan paket ağırlıkları tanımlanmış ve yol zemin durumuna göre kısıtlar belirlenmiştir. Müşteri lokasyonlarına ait yük miktarı, kısıt değerleri, lokasyonlar arası mesafe ve eğim değerleri kullanılarak Genetik Algoritma ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Genetik Algoritma ile bulunan dağıtım planında hem elektrikli araçların ve hem de mazot yakıtlı araçların harcamış oldukları enerji ve yakıt durumuna göre maliyet hesabı yapılmış, dağıtım filusunda mazotlu araçların yerine elektrikli araç kullanılması durumunda elde edilecek ekonomik kazanç değeri hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Küresel ısınma, Elektrikli araç rotalama, Genetik algoritma.

Bilim Kodu : 90610

ABSTRACT

Master Thesis

ELECTRIC VEHICLE ROUTING OPTIMIZATION IN THE LOGISTICS INDUSTRY

Yılmaz OLCAY

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Industrial Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Fuat ŞİMŞİR

January 2024, 73 pages

Global warming and climate change are one of the most important global problems that threaten our future. For this reason, this problem has been addressed at the global level and important targets have been set for reducing greenhouse gas emissions through international policies. The transportation sector has a 29 percent share in the release of greenhouse gas emissions that cause global warming. The carrying sector, which has an important place in the transportation sector, is one of the main sectors contributing to greenhouse gas emissions. For this reason, it is thought that the studies to be carried out to reduce greenhouse gas emissions in the carrying sector will make significant contributions to the efforts to fight against global warming and climate change. In this context, the interest in the use of electric vehicles in the carrying sector is increasing day by day. However, the reasons such as the electric vehicles have shorter driving distance than gasoline and diesel vehicles, limited charging structure, energy consumption varies depending on load and road slope, increase the risk of becoming stranded of these vehicles on the road.

Therefore, creating optimum routes for electric vehicles is the most important factor in minimizing this risk. In this study, electric vehicle routing optimization in the logistics sector was addressed and Genetic Algorithm was used for optimization. For the study, 50 customer locations were determined in Safranbolu district of Karabük province and the coordinates and inclination values of these customers' locations were read from Safranbolu digital zoning plans. The distance and slopes between customer locations were calculated by using these coordinates and elevation values. In addition, it was defined the package weights for distribution to customer locations and restrictions were determined according to the road ground condition. Experimental studies were carried out with the Genetic Algorithm by using the load amount of the customer locations, constraint values, distance and inclination values between the customer locations. In addition, according to distribution plan which was found with the Genetic Algorithm, it was calculated the cost of both electric and diesel vehicles according to amount of electric and gasoline which spent by the electric and gasoline vehicles and the economic gain value to be obtained has been calculated if electric vehicles are used instead of diesel vehicles in the distribution fleet.

Key Word: Global warming, Electric vehicle routing, Genetic algorithm.

Science Code : 90610

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda desteğini esirgemeyen, yüksek lisans sürecinde her zaman ilgi gösteren, bilgi ve deneyimlerini paylaşan ve beni yetiőtiren değerli hocam Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR'e ve yüksek lisans sürecinde her zaman bana destek olan değerli eőime tüm kalbimle teşekkür ederim. Ayrıca tez yazım sürecinde neőe kaynağım olan torunum Ahmet Aden'e kucak dolusu sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	iv
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
KISALTMALAR.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	4
2.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GENEL BİR BAKIŞ	4
2.1.1. Elektrikli Araçların Tarihi Serüveni.....	4
2.1.2. Elektirkli Araç Türleri	5
2.1.2.1. Tam Elektrikli Araçlar	7
2.1.2.2. Hibrit Elektrikli Araçlar	7
2.1.2.3. Plug in Hibrit Elektrikli Araçlar	8
2.1.3. Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri	9
2.1.4. Elektrikli Araç Şarj İstasyonları.....	9
2.1.5. Klasik Araç Rotalama	10
2.2. LİTERATÜR TARAMASI.....	12
BÖLÜM 3	25

	<u>Sayfa</u>
GENETİK ALGORİTMA.....	25
3.1. GİRİŞ.....	25
3.2. TEMEL KAVRAMLAR	26
3.2.1. Gen	26
3.2.2. Kromozom.....	26
3.2.3. Popülasyon.....	27
3.2.4. Uygunluk Fonksiyonu ve Uygunluk Değeri.....	27
3.3. GENETİK ALGORİTMA AKIŞ ŞEMASI	28
3.4. GENETİK ALGORİTMA İŞLEM ADIMLARI.....	29
3.4.1. Kodlama	29
3.4.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	30
3.4.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması	31
3.4.4. Seçim İşlemi	31
3.4.5. Çaprazlama İşlemi.....	31
3.4.6. Mutasyon İşlemi.....	33
3.4.7. Algoritmanın Sonlandırılması.....	33
BÖLÜM 4	34
ELEKTRİKLİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEM ÇÖZÜMÜ.....	34
4.1. GİRİŞ.....	34
4.2. ÇALIŞMAYA KONU OLAN SAFRANBOLU İLÇESİNİN TANITIMI.....	35
4.3. PROBLEM TANIMI	35
4.4. VARSAYIMLAR.....	37
4.5. VERİLER.....	38
4.6. PROBLEM ÇÖZÜMÜ	41
BÖLÜM 5	42
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
5.1. MÜŞTERİ LOKASYON SENARYOLARI.....	42

	<u>Sayfa</u>
5.2. MÜŞTERİ LOKASYONLARI ARASI MESAFE VE EĞİM HESABI.....	43
5.3. MÜŞTERİ LOKASYONLARINA AİT YÜK DEĞERLERİ	52
5.4. KISITLAR	52
5.5. TAGUCHI DENEY TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	57
5.5.1. Taguchi Deney Tasarımı İle Parametrelerin Belirlenmesi	57
5.6. DENEYSEL SONUÇLAR	61
BÖLÜM 6	64
TARTIŞMA ve SONUÇ	64
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Panelvan Tipi Araç	6
Şekil 2.2. Tam Elektrikli Araç	7
Şekil 2.3. Hibrit Elektrikli Araç	8
Şekil 2.4. Plug in Hibrit Elektrikli Araç	8
Şekil 3.1. Genler.	26
Şekil 3.2. Kromozomlar.	26
Şekil 3.3. Örnek Popülasyonlar.	27
Şekil 3.4. Genetik Algoritma Akış Şeması.	28
Şekil 3.5. İkili Kodlama.	29
Şekil 3.6. Sekizli Kodlama.	29
Şekil 3.7. Onaltılı Kodlama.	29
Şekil 3.8. Permutasyon Kodlama.	30
Şekil 3.9. Değer Kodlama.	30
Şekil 3.10. Tek Noktalı Çaprazlama.	31
Şekil 3.11. Çift Noktalı Çaprazlama.	32
Şekil 3.12. Çok Noktalı Çaprazlama.	32
Şekil 3.13. Mutasyon İşlemi.	33
Şekil 4.1. Müşteri Lokasyonları.	36
Şekil 4.2. 50 Adet Gen.	38
Şekil 4.3. Örnek Kromozom.	38
Şekil 4.4. Örnek Popülasyonlar.	39
Şekil 4.5. Örnek Çaprazlama	39
Şekil 4.6. Örnek Mutasyon Oranı.	39
Şekil 5.1. Minitab İşlem Adımları	58
Şekil 5.2. En Uygun Parametre Değerleri Tablosu.	61
Şekil 5.3. 50 Adet Çalıştırma Sonucu Elde Edilen Değerler Grafiği	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Dünyada Elektrikli ve Hibrit Araç Sayısı	5
Çizelge 2.2. Araç Rotalama Çizelgesi	11
Çizelge 2.3. Elektrikli Araç Rotalama Problem Çözümlerinde Kullanılan Algoritmalar	20
Çizelge 5.1. Müşteri Lokasyonlarına Ait Koordinat ve Kot Değerleri	42
Çizelge 5.2.a. Müşteri Lokasyonları Arası Mesafe Değerleri Matrisi	44
Çizelge 5.2.b. Müşteri Lokasyonları Arası Mesafe Değerleri Matrisi	45
Çizelge 5.2.c. Müşteri Lokasyonları Arası Mesafe Değerleri Matrisi	46
Çizelge 5.2.d. Müşteri Lokasyonları Arası Mesafe Değerleri Matrisi	47
Çizelge 5.3.a. Müşteri Lokasyonları Arası Eğim Değerleri Matrisi	48
Çizelge 5.3.b. Müşteri Lokasyonları Arası Eğim Değerleri Matrisi	49
Çizelge 5.3.c. Müşteri Lokasyonları Arası Eğim Değerleri Matrisi	50
Çizelge 5.3.d. Müşteri Lokasyonları Arası Eğim Değerleri Matrisi	51
Çizelge 5.4. Müşteri Lokasyonları Yük Değerleri.....	52
Çizelge 5.5.a. Müşteri Lokasyonları Kısıt Değerleri Matrisi	53
Çizelge 5.5.b. Müşteri Lokasyonları Kısıt Değerleri Matrisi.....	54
Çizelge 5.5.c. Müşteri Lokasyonları Kısıt Değerleri Matrisi	55
Çizelge 5.5.d. Müşteri Lokasyonları Kısıt Değerleri Matrisi.....	56
Çizelge 5.6. Parametreler ve Faktör Seviyeleri (4x6).....	57
Çizelge 5.7. Parametreler ve Faktör Seviyeleri (4x3).....	58
Çizelge 5.8. Ortogonal Dizi Seçim Tablosu.....	59
Çizelge 5.9. Taguchi Deney Tasarımı ile Elde Edilen Parametreler	60
Çizelge 5.10. Harcanan Enerji Miktarı Sonuçları.....	62
Çizelge 5.11. Enerji/Yakıt Tüketim Fiyat Tablosu.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

ha : Hektar

CO₂ : Karbon dioksit

ε : Epsilon

KISALTMALAR

AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
ACO	: Ant Colony Algorithm (Karıncı Kolonisi Algoritması)
ALNS	: Adaptive Large Neighborhood Search Algorithm (Uyarlanabilir Geniş Mahalle Arama Algoritması).
CEVRP	: Capacity Electric Vehicle Routing Problem (Kapasiteli Elektrikli Araç Rotalama Problemi)
FEVRPTW	: Fuzzy Electric Vehicle Routing Problem With Time Windows (Zaman Pencereci Bulanık Elektrikli Araç Rotalama Problemi)
Ç.N.	: Çalıştırma Numarası
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DN	: Dağıtım Noktası
EVRP	: Electric Vehicle Routing Problem (Elektrikli Araç Rotalama Problemi)
GA	: Genetik Algoritma
KM	: Kilometre
M	: Metre
MD.	: Madde
MILP	: Mixed Integer Linear Programming (Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama).
N.N.	: Nokta Numarası
PHEV	: Plug in Hibrit Electrical Vehicle
S.	: Sayfa
VD.	: Ve Diğerleri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunu, son 30 yıllık süreçte önemle üzerinde durulan ve geleceğimizi yaşamsal açıdan tehdit eden en önemli küresel sorunlardan birisidir. Bu nedenle bu sorun küresel düzeyde ele alınmış; Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (1992), Kyoto Protokolü (1997) ve Paris Anlaşması (2015) imzalanmış, 11 Aralık 2019 tarihinde ise Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa Yeşil Anlaşması (The European Green Deal) yayımlanmıştır. Ülkemizin 22 Nisan 2016 yılında Paris Anlaşmasını imzalamasıyla birlikte ülkemizde iklim değişikliği ile mücadele çalışmaları hız kazanmış; 2011-2023 İklim Değişikliği Eylem Planı, 2020 İklim Değişikliği Ulusal İletişim Stratejisi ve Eylem Planı, 2021 Yeşil Mutabakat Eylem Planı, Onuncu Kalkınma Planı ve On birinci Kalkınma Planı gibi planlarda enerji sektöründen inşaat sektörüne, sanayi sektöründen ulaşım sektörüne kadar birçok sektörde önemli hedefler belirlenmiştir. Bu sektörler arasında ulaşım sektörü, sera gazı salınımlarında önemli payı olan bir sektördür.

Ulaşım sektörü, küresel ısınmaya neden olan gaz emisyonlarının salınımlarında %29'luk bir paya sahiptir [1]. Bu nedenle son yüzyılda ulaşım sektöründe fosil yakıtlı araçlara alternatif olarak elektrikli araçlar gündeme gelmiş ve bu araçlar ulaşım sektöründe yerini almaya başlamıştır. Ulaşım sektörünün küresel ısınmaya olan etkisini göz önüne aldığımızda, yakın gelecekte fosil yakıtlı araç kullanımının kısıtlanması ve elektrikli araç kullanımının teşvik edilmesine yönelik düzenlemelerin ve yaptırımların gelebileceği ihtimali bulunmaktadır. Nitekim Avrupa Komisyonunun 2050 yılına kadar sera gazı emisyonunun nötr hale getirilmesi hedefi (Avrupa Yeşil Mutabakatı) ve ülkemizin Avrupa Birliği üyelik sürecinin devam etmesi bu ihtimali güçlendirmektedir. Ülkemizde ise Onuncu Kalkınma Planında, elektrikli ve hibrit araç kullanımı konusuna yer verilmiş (Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı, Bileşen 5), On birinci Kalkınma Planında ise elektrikli

otomotiv üretimine yönelik batarya yatırımı yapılacağı (Madde 385.3) ve yurt içinde üretilen elektrikli otobüslerin şehir içi ve şehir dışı taşımacılıkta kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik destek ve düzenlemeler yapılacağı (Madde 385.5) belirtilmiştir.

Ulaşım sektörünün küresel ısınmaya neden olan gaz emisyonlarının salınımında oldukça önemli bir yere sahip olması nedeniyle bu sektörde konvansiyonel araçların yerine elektrikli araçların kullanımı, CO₂ emisyonlarının azaltılmasına önemli katkılar sağlayacaktır [2]. Ülkemiz ulaşım sektöründe yük taşımacılığının önemli bir payı bulunmaktadır. Yük taşımacılığında karayolu taşımacılığı; deniz, hava ve demiryolu taşımacılığına göre daha çok tercih edilmektedir. Ülkemizde 2014 yılı itibarıyla yurtiçi yük taşımacılığının % 89,5'i karayolu ile yapılmıştır (Ulaşan ve Erişen Türkiye 2015, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı). Taşımacılık sektöründe fosil yakıtlı araçların yerine çevreye duyarlı araçların kullanımının yaygınlaştırılmasının, sera gazı salınımının azaltılmasına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda elektrikli araçlar, yeşil tedarik zincirini desteklemek için umut vaat eden ulaşım araçları olup [3] sera gazı salınımını azaltma çalışmalarına sağlayabileceği katkılar ve çevreye olan faydaları [4] nedeniyle günümüz lojistik sektöründe giderek daha önemli bir rol oynamakta ve tercih edilmektedir. Ayrıca elektrik fiyatlarının fosil yakıt fiyatlarına göre daha ucuz olması, elektrikli araçların tercih edilebilirliğini daha da artırmaktadır. Ancak elektrikli araçların benzinli ve dizel araçlara göre daha az sürüş mesafesinin olması, sınırlı şarj yapısı, enerji tüketiminin yük ve yol eğimine bağlı olarak değişmesi vb. nedenler, bu araçların yolda kalma riskini artırmakta ve elektrikli araç kullanımının yaygınlaştırılmasını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle elektrikli araçlar için optimum rotaların oluşturulması bu riskin minimize edilmesinde önemli bir paya sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, yük taşımacılığında en az enerji ile optimum rotalamanın oluşturulmasıdır. Çünkü, klasik mesafe minimizasyonu yerine enerji minimizasyonu daha önemlidir [5]. Tezimizi özgün kılan faktörler; konunun Dünya Miras Listesinde yer alan ve ülkemizin önemli turizm şehirlerinden birisi olan Safranbolu şehri için ele alınması, elektrikli araç türü olarak tam elektrikli araçların konu alınması, enerji

tüketiminde yol uzunluğunun, yük ağırlıklarının, yol eğiminin ve yol zemin yapısının dikkate alınması, enerji minimizasyonunun amaçlanması ve problemin yapay zeka yöntemlerinden Genetik Algoritma ile çözülmesidir.

Problem çözümü için Karabük ili Safranbolu ilçesinde 50 adet müşteri lokasyonu belirlenmiş ve bu lokasyonlara ait koordinat ve kot değerleri Safranbolu dijital imar planı üzerinden okunmuş ve veri seti elde edilmiştir. Daha sonra bu veri seti kullanılarak müşteri lokasyonları arasındaki mesafe ve eğimler hesaplanmış, mesafe ve eğim matrisi tablosu oluşturulmuştur. Ayrıca müşteri lokasyonları arasındaki yol zemin yapısına göre kısıt değerleri tanımlanmış ve kısıtlar matrisi tablosu oluşturulmuştur. Müşteri lokasyonlarına ait yük değerleri ise varsayımsal olarak belirlenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde elektrikli araçlar ve literatür çalışması, üçüncü bölümünde Genetik Algoritma konusunda bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde elektrikli araç rotalama problem çözümü, beşinci bölümde de deneysel çalışmalar ele alınmıştır. Altıncı bölümde ise tartışma ve sonuç bölümüne yer verilmiştir.

BÖLÜM 2

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Bu çalışmada elektrikli araç rotalama optimizasyonu ele alınmış olup bu kapsamda elektrikli araçlar hakkında bilgilerin verilmesi yararlı olacaktır. Bu bölümde elektrikli araçlar konusunda genel bir bilgi verilmiştir.

2.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GENEL BİR BAKIŞ

İklim değişikliği ile mücadele çalışmalarının hız kazandığı günümüzde ulaşım sektöründen sanayi sektörüne, tarım sektöründen enerji sektörüne birçok alanda köklü değişikliklere gidilmektedir. Bu durum ulusal ve uluslararası politikalarda açık bir şekilde görülmektedir. Ulaşım sektörünün küresel ısınmadaki payı, bu sektörde de önemli değişiklikleri kaçınılmaz bir hale getirmiştir. Konvansiyonel araçlara alternatif olarak elektrikli araçların kullanımının yaygınlaştırılması, bu değişikliklerin en önemlilerinden birisidir. Günümüz ulaşım sektörüne baktığımızda elektrikli araçların ulaşım sektöründeki yerini hızlı bir şekilde almakta olduğu görülmektedir. Ulusal ve uluslararası politikalar, yakın gelecekte elektrikli araç kullanımı konusunda önemli düzenlemelerin getirilebileceği ihtimalini artırmaktadır. Önemli olan, bu değişikliğe hazır olabilmektir.

2.1.1. Elektrikli Araçların Tarihi Serüveni

Günümüzde adından çok söz ettiren elektrikli araçların geçmişi 1800'lü yıllara kadar uzanmaktadır. Özellikle 1800'lü yılların son çeyreğinde yaygın olarak görülmeye başlanmıştır. Ancak; 1900'lü yılların başlarında seri üretime geçen içten yanmalı motorlu araçlar, elektrikli araçlara göre sürüş mesafesi, üretim maliyeti, hızı vb. konularda sahip olduğu avantajlarla elektrikli araçları gerisinde bırakmıştır [6]. 1900'lü yılların son çeyreğinde ise petrol fiyatlarındaki artış ve iklim değişikliği ile

mücadele çalışmaları, elektrikli araçları yeniden gündeme taşımış, gerek ulusal ve gerekse uluslararası iklim değişikliği ile mücadele politikaları, yakın gelecekte elektrikli araçların yaygın bir şekilde kullanılacağı sinyali vermiştir. Günümüz otomobil üretim sektörüne bir göz attığımızda benzinli ve dizel araçların yerini hibrit ve elektrikli araçların aldığı açık bir şekilde görülecektir.

Çizelge 2.1. Dünyada Elektrikli ve Hibrit Araç Sayısı.

Yıllar	Elektrikli Araç Sayısı	Hibrit Araç Sayısı
2016	490.000	280.000
2017	820.000	400.000
2018	1.400.000	630.000
2019	1.650.000	570.000
2020	2.200.000	980.000
2021	4.670.000	1.940.000
2022	7.410.000	2.840.000
2023	7.720.000	2.920.000

Kaynak: <https://ev.hedefilo.com/ev-gundem/blog/yil-yil-elektrikli-arac-kullanim-oranlari> (Erişim Tarihi: 06.01.2024)

2.1.2. Elektrikli Araç Türleri

Elektrikli araç türlerine geçmeden önce araç tanımları hakkında kısa bir bilginin verilmesinin hem literatürdeki çalışmalarda yer alan otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon gibi araçlar ve hem de bu çalışmada kullanacağımız panelvan türü elektrikli araç hakkında bilgi edinilmesinde yararlı olacaktır. Karayolları Trafik Yönetmeliğine göre araçlar şu şekilde tanımlanmıştır (Md. 3):

Otomobil: Yapısı itibariyle, sürücüsü dahil en çok 8 oturma yeri olan ve insan taşımak için imal edilmiş bulunan motorlu araçtır.

Minibüs: Yapısı itibariyle sürücüsü dahil 9 ile 15 oturma yeri olan ve insan taşımak için imal edilmiş bulunan motorlu araçtır.

Otobüs: Yapısı itibariyle, sürücüsü dahil en az 16 oturma yeri olan ve insan taşımak için imal edilmiş bulunan motorlu araçtır.

Kamyonet: İzin verilebilen azami yüklü ağırlığı 3,5 tonu geçmeyen ve yük taşımak için imal edilmiş motorlu araçtır.

Kamyon: İzin verilebilen azami yüklü ağırlığı 3,5 tondan fazla olan ve yük taşımak için imal edilmiş motorlu araçtır.

Tezimize konu olan araç, panelvan tipi elektrikli araçtır. Panelvan tipi araca yönelik örnek bir resim Şekil 2.1’de verilmiştir. Panelvan tipi araçlar, uzunlukları 3-5 metre arasında değişen ve yük taşımak için üretilmiş hafif ticari araçlardır. Kapalı kasa olan bu araçlarda ön koltuk haricinde koltuklar olmayıp bu alana tamamen yük konulmaktadır.



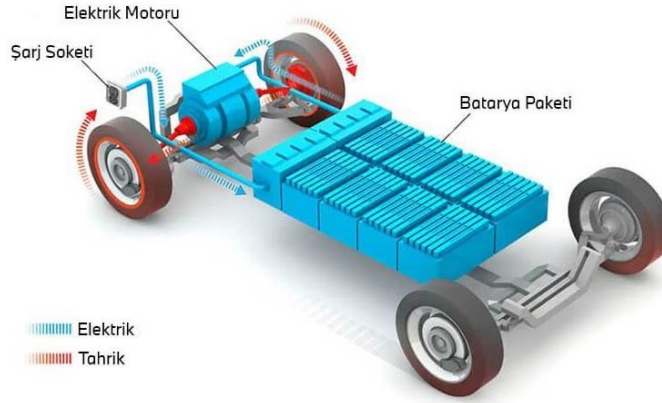
Şekil 2.1. Panelvan tipi araç.

<https://www.sifiraracal.com/mercedes-modelleri/sprinter-panelvan>. (Erişim tarihi: 24.11.2023, 09:40).

Elektrikli araçlar; yakıt/enerji kullanım türüne göre tam elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve plug in hibrit elektrikli araçlar olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır [7].

2.1.2.1. Tam Elektrikli Araçlar

Tam elektrikli araçlar, tamamen elektrikle çalışan araçlar olup bu araçlarda benzin, dizel veya yanabilen diğer yakıtlar kullanılmamaktadır. Bu araçlarda elektrik motoruna aktarılan güç, batarya ünitesinden elde edilen elektrik enerjisinden karşılanır ve aracın hareketi elektrik motoru tarafından sağlanır. Bu tür araçlarda tamamen elektrik kullanıldığı için en çevreci araçlardır. Yakıt ve bakım maliyeti, konvansiyonel araçlara göre çok daha düşüktür. Ancak, bu araçların maliyetinin yüksek olması, bu araçlara olan talebi olumsuz olarak etkileyen en önemli etkenlerden birisidir [8].

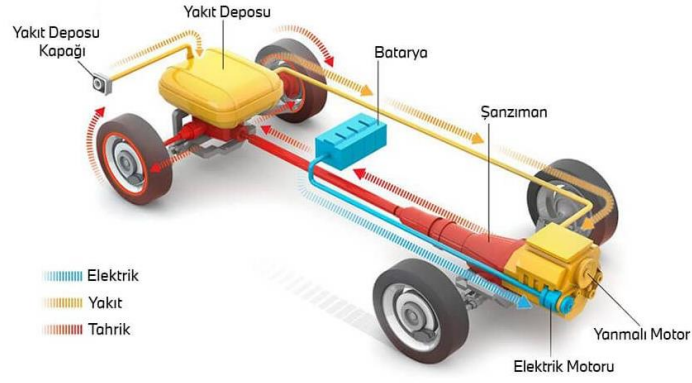


Şekil 2.2. Tam elektrikli araç.

<https://www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html> (Erişim tarihi: 10.11.2023, 12:40).

2.1.2.2. Hibrit Elektrikli Araçlar

Hibrit elektrikli araçlar, tam elektrikli araçlara içten yanmalı motor eklenerek geliştirilmiş olup birden fazla güç kaynağına sahiptirler. Sürüş mesafesi ve gücü, tam elektrikli araçlara göre daha fazladır. Bu tür araçlar, iki ya da daha fazla enerji dönüşüm teknolojilerini (içten yanmalı motorlar, yakıt pilleri, elektrik motorları) bir veya daha fazla enerji depolama teknolojileri (batarya, süperkapasitörler ya da volan) ile birleştirmektedir [8].

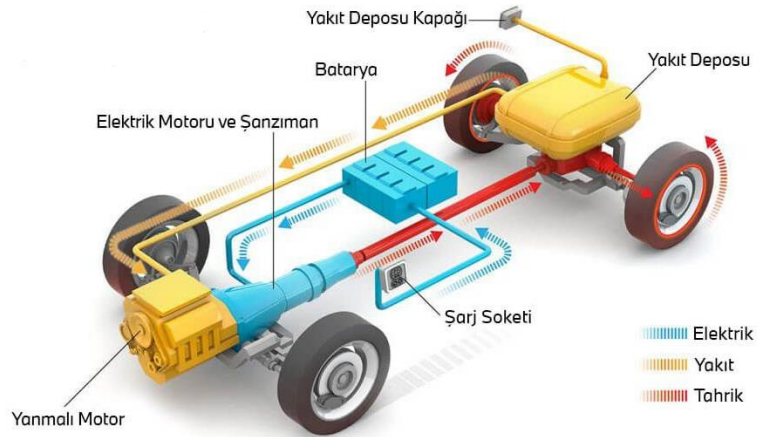


Şekil 2.3. Hibrit elektrikli araç.

<https://www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html> (Erişim tarihi: 10.11.2023, 12:44).

2.1.2.3. Plug in Hibrit Elektrikli Araçlar

Plug in hibrit elektrikli araçlar (PHEV), akaryakıt hazne girişine ek olarak şarj girişi de bulunan hibrit araç türleridir. Bu tür araçlar, içten yanmalı motor ile elektrik motoru birbirinden bağımsız bir şekilde çalışır. Ancak sürüş esnasında birbiri ile dönüşümlü bir şekilde devreye girer (<https://ev.hedefilo.com/ev-nedir/elektrikli-araclar-hakkinda>).



Şekil 2.4. Plug in hibrit elektrikli araç.

<https://www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html> (Erişim tarihi: 10.11.2023, 12:50).

2.1.3. Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri

Elektrikli araçlar; günümüz şarj teknolojileri kullanılarak kablolu şarj, kablosuz şarj ve batarya değiştirme olmak üzere üç şekilde şarj edilebilmektedir. Kablolu şarj etme yöntemi; AC (Alternative Current) alternatif akım tipi şarj üniteleri ile DC (Direct Current) kullanan doğru akım şarj üniteleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Elektrikli araçların neredeyse tamamı AC ve DC şarj istasyonlarında şarj edilmektedir [9].

Kablosuz (endüktif) şarj yönteminde elektromanyetik dalgalar yolu ile elektrikli araç bataryasına güç aktarılır. Güç aktarımı için bir elektromanyetik alan kullanılır ve araç bu elektromanyetik alan üzerine park edilerek şarj işlemi yapılır [10]. Elektrikli araç, elektromanyetik alan üzerinde şarj yuvasına getirildiğinde şarj işlemi otomatik olarak başlar. Kablosuz şarj yöntemi, kablolu şarj yöntemine göre daha uygun bir çözümdür [11]. Ancak kablosuz şarjın insan sağlığı üzerinde bir takım olumsuz etkileri olabilir. Çok ciddi olmamakla birlikte elektromanyetik dalgalara uzun süreli maruz kalınması durumunda dokularda yanma, sinir sistemi bozuklukları, kas kasılmaları ve gözde (retina kısmında) bozulmalar karşılaşılabilecek muhtemel problemlerdir [12].

Batarya değiştirme yönteminde ise araç bataryası batarya değişim istasyonlarında, şarj edilmiş başka bir batarya ile değiştirilir. Batarya değişiminin, konvansiyonel araçların akaryakıt istasyonlarındaki yakıt ikmali süresi gibi çok kısa bir sürede yapılabildiği bu yöntemin [11] çevre kirliliği ve maliyet bakımından dezavantajları bulunmaktadır. Çünkü bataryalar çevreye zararlı olabilecek bileşenler içerebilmekte, bataryaların sökülüp takılabilme özelliğinden dolayı batarya kutulamasının hasar görmesi ve içerisindeki zararlı bileşenlerin doğaya karışması riski de artmaktadır [13]. Ayrıca batarya değiştirme; batarya uyumluluğu, değiştirme esnasında bataryanın zarar görmesi ve mülkiyet sorunu gibi birtakım sorunlara da yol açabilir [14].

2.1.4. Elektrikli Araç Şarj İstasyonları

Kablosuz şarj yönteminin insan sağlığı üzerindeki bir takım olumsuz etkileri, batarya değiştirme yönteminde ise çevre üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alındığında kablolu şarj yöntemi ön plana çıkmaktadır. Nitekim günümüzde kablolu şarj istasyonlarına büyük yatırımlar yapılmaktadır [15].

Elektrikli araçların kablolu şarjları, alternatif akım (AC) ve doğru akım (DC) olarak iki şekilde yapılmaktadır. Bu nedenle kablolu şarj istasyonları, AC şarj istasyonları ve DC şarj istasyonları olmak üzere iki tip şarj istasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şebeke üzerinden sunulan AC enerji ile çalışan şarj istasyonları, şebeke ve elektrik tesisatının elverdiği ölçüde farklı hızlar sunmaktadır. Araç içerisinde bulunan çevirici, üreticinin sınırladığı enerji seviyesini geçmeyecek şekilde AC enerjiyi bataryalara iletmek üzere DC enerjiye dönüştürür [15]. Çünkü elektrikli araç bataryalarının yapıları gereği doğru akımla (DC) şarj olmaları gerekmektedir [16]. Günümüzde genellikle 380 V trifaz ile beslenen 22 kW hızında AC şarj istasyonları, fiyatının uygun olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır [15].

DC tipi şarj istasyonları, çok yüksek hızlarda ve çok kısa sürelerde şarj imkanı sunarlar. Çünkü DC güç için şarj sınırlamaları AC güce göre çok daha yüksek hızları desteklediğinden elektrikli araçlar DC güç ile çok yüksek hızlarda, çok kısa sürelerde şarj olabilirler. Avrupa'da halen birçok noktada DC şarj istasyonu ihtiyacı devam etmektedir. Yapılan analizlere göre planlanan bu yatırım maliyetinin, önümüzdeki 11 yıl için 20 Milyar Avro'yu bulması öngörülmektedir [15].

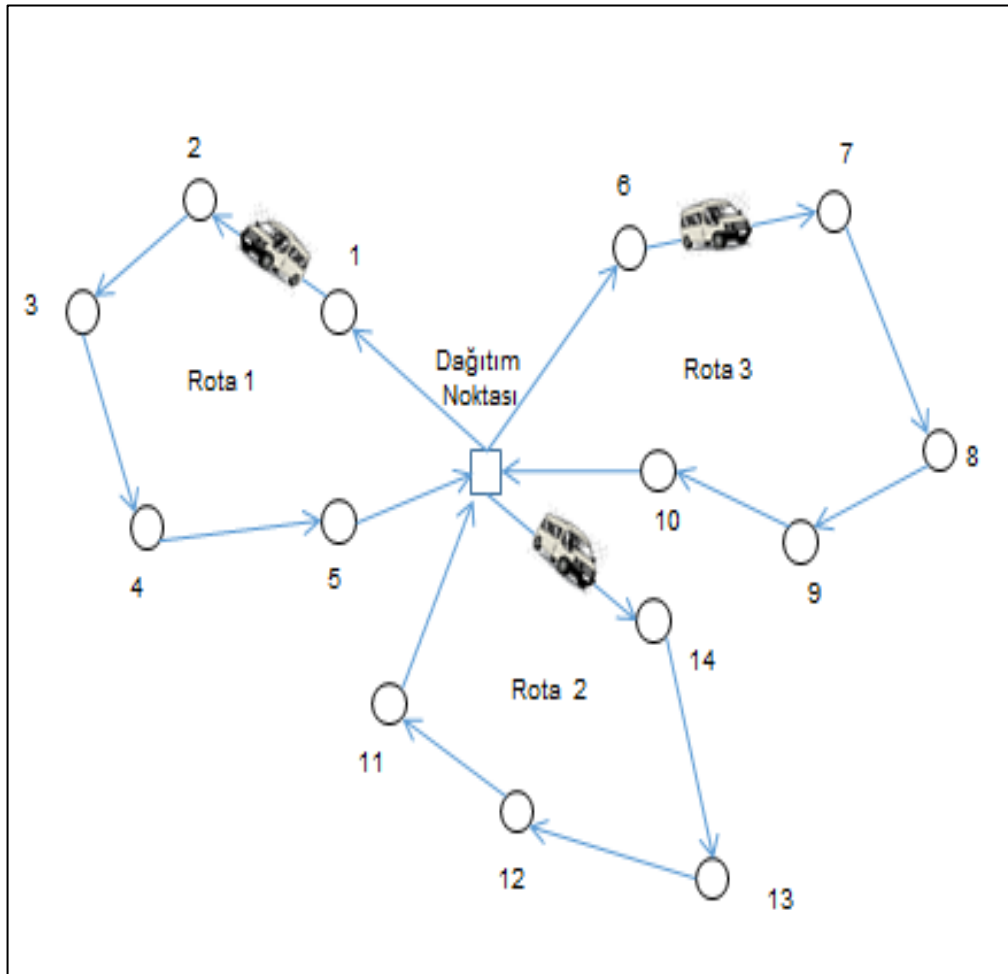
2.1.5. Klasik Araç Rotalama

Taşımacılık sektörünün CO₂ salınımına katkıda bulunan ana sektörlerden birisi olması ve elektrikli araçların fosil yakıtla çalışan araçlara göre ekonomik avantaj sağlaması nedeniyle günümüz taşımacılık sektöründe elektrikli araçlar tercih edilir hale gelmiştir. Ancak pil şarj süreleri ve kısıtlı pil kapasitesi, elektrikli araçların

yolda kalma riskini artırmakta ve bu durum elektrikli araç kullanımının yaygınlaşmasını olumsuz olarak etkilemektedir [17]. Bu kapsamda elektrikli araç rotalama konusu son yıllarda literatürde sık karşılaştığımız konular arasında yer almaktadır [18].

Klasik araç rotalama; fiziksel üretimin gerçekleştiği otomotiv, gıda, tekstil vb. sektörler ile hizmet sektörünün kargo taşımacılığı gibi farklı alanlarında konu olmaktadır [19]. Araç rotalama problemi 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından “The Truck Dispatching Problem” isimli makale ile literatüre kazandırılmıştır. Araç rotalama problemi, coğrafi olarak dağılmış konumlara (müşterilere) bir depodan belirli kısıtlar altında en az maliyetle teslimat rotaları tasarlama problemi olarak tanımlanmıştır [20].

Çizelge 2.2. Araç Rotalama Çizelgesi.



2.2. LİTERATÜR TARAMASI

Yeşil lojistik kavramı son zamanlarda hükümetlerin ve ticari kuruluşların yakın ilgisini çeken bir kavramdır. Çevresel politikalar, taşımacılık sistemini değiştirmeyi ve bu sistemin çevre ve ekoloji üzerinde daha az olumsuz etkisi olan sürdürülebilir bir dağıtım ağına kaydırılmasını gerekli görmektedir [21]. Bu kapsamda elektrikli araçlar, yeşil tedarik zincirini desteklemek için umut vaat eden ulaşım araçları olarak karşımıza çıkmaktadır [22]. Bu nedenle ulaşım sektöründe elektrikli araçların geçiş süreci hızlı bir şekilde ilerlemekte ve konvansiyonel araçlar, yerini elektrikli araçlara bırakmaktadır. Elektrik enerjisinin fosil yakıtlara göre daha ucuz olması nedeniyle özellikle taşımacılık sektöründe bu geçiş süreci daha da hızlı ilerlemektedir. Ancak elektrikli araçların, faydalarına rağmen benzinli ve dizel araçlara göre daha az sürüş mesafesinin olması, düşük pil kapasiteleri [23], sınırlı şarj yapısı, enerji tüketiminin yük ve yol eğimine bağlı olarak artması vb. nedenler araç rotalama problemini karşımıza çıkarmıştır. Araç rotalama problemi çevresel endişeler nedeniyle son yıllarda üzerinde oldukça yoğun çalışılan bir konu olup [18] yöneylem araştırmacıları, araç rotalama problemlerine birçok farklı teknik geliştirmişlerdir [24]. Yapılan literatür çalışmasında sezgisel çözüm yöntemlerine rastlansa da [25] genellikle meta sezgisel çözüm yöntemlerinin geliştirildiği görülmektedir [19]. Meta sezgisel yöntemler belirli bir amacı gerçekleştirmek veya belirlenen hedefe ulaşmak için doğal fenomenlerden esinlenen, ancak çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması tam olarak ispat edilemeyen yöntemler olup günümüzde sıklıkla tercih edilen çözüm yöntemleridir [26]. Genel olarak baktığımızda; genetik algoritma [27], karınca kolonisi algoritması [28], yapay arı kolonisi algoritması [29], benzetimli tavlama algoritması [30], tabu arama algoritması [31], parçacık sürü optimizasyonu algoritması [32], Bellman-Ford algoritması [33], kısıtlı dinamik programlama algoritması [34], uyarlanabilir geniş mahalle algoritması, değişken komşu arama algoritması [35], dal ve sınır algoritması [36], Levy uçuşları ile geliştirilmiş çok amaçlı balina optimizasyonu algoritması [37] literatürde sıklıkla kullanılan çözüm yöntemlerine örnek olarak verilebilir. Bu kapsamda;

Zhenfeng vd. bir çalışmasında, zaman pencereli kısıtlamalı akülü elektrikli araçlar için, araç rotalama problemini ele almış, çözüm için genetik algoritma önermiştir.

Zaman pencereli elektrikli araç rotalama problemi için model geliştirmede teslimat aralığı ve çoklu şarj istasyonları dikkate alınmıştır. Çözümde rastgele parametreler oluşturulmuştur. Sonuç olarak, genetik algoritmanın, zaman pencereli elektrikli araç rotalama problemlerinin çözümünde sağlam bir yöntem olduğu belirtilmiştir [27].

Mavrovouniotis vd. bir çalışmada Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile elektrikli araç rotalamayı ele almıştır. Çalışmanın amacı, elektrikli araçların günlük çalışmalarında enerjilerinin tükenmemesi açısından uygulanabilir çözümler üretmektir. Çalışmada, elektrikli minibüs filosunun toplam çalışma süresini en aza indiren bir sistem formülize edilmiştir. Şarj istasyonu ve elektrikli araçların teknik kapasitesine göre şarj süresi 1 ile 12 saat arasında değişebilmektedir. Bu nedenle şarj işlemi, elektrikli araçların çalışma süresini uzatmaktadır. Deneysel çalışma için, elektrikli araç rotalama problem örneklerini içeren bir kütüphaneden (<http://neo.lcc.uma.es/vrp/>) bilgiler alınarak örnek bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Elektrikli araç rotalama problemi senaryolarına yönelik simüle edilen farklı senaryolar, önerilen karınca kolonisi algoritmasının etkinliğini ve uygun sonuçlar verebileceğini göstermiştir [28].

Jia vd. yapmış oldukları bir çalışmada, kapasiteli elektrikli araç rotalama problemi (CEVRP) iki aşamalı optimizasyon problemi olarak ele almış, CEVRP'yi iki alt probleme ayırarak iki aşamalı karınca kolonisi optimizasyon algoritması önermiştir. Sonuçta, iki aşamalı karınca kolonisi optimizasyon algoritmasının CEVRP çözümünde iyi bir performans sağladığı görülmüştür [38].

Zhang vd. yapmış oldukları bir çalışmada elektrikli araç rotalama problemi için Karınca Kolonisi Algoritması çözümü önermiştir. Önerilen Karınca Kolonisi Algoritmasının etkinliğini değerlendirmek için farklı problem örnekleri üzerinde kapsamlı sayısal deneyler yapılmıştır. İlk olarak, sayısal deneyler Karınca Kolonisi Algoritmasının küçük boyutlu örnekler için neredeyse optimal çözümler sunabildiğini göstermiş, ikinci olarak Karınca Kolonisi Algoritması büyük boyutlu problem örnekleri için Uyarlanabilir Geniş Mahalle Araması Algoritmasını hem çözüm kalitesi ve hem de hesaplama süresi açısından geride bıraktığı görülmüştür.

Üçüncü olarak ise, klasik mesafe minimizasyon hedefi yerine enerjiyi minimize eden hedefin kullanılmasının önemi gösterilmiştir [5].

Jia vd. makalesinde, elektrikli araç rotalama problem çözümü için güvene dayalı iki seviyeli Karınca Kolonisi Algoritmasını (ACO) önermiştir. Algoritma, bütün problemi üst düzey alt problemi olan kapasiteli araç rotalama problemi ve alt düzey alt problemi olan sabit rota araç şarj problemine bölmüştür. Üst düzey alt problem çözümünde müşteri hizmeti sırasını oluşturmak için bir ACO algoritması kullanılmıştır. Alt düzey alt problem çözümünde ise araçlara yönelik şarj programları oluşturmak için basit bir numaralama yaklaşımı önerilmiştir. İki alt problem arasında, müşteri hizmeti sıralarını seçmek için güvene dayalı bir seçim yöntemi önerilmiş ve yerel arama ve alt düzey optimizasyon yapılmıştır. Deneyler, önerilen algoritmanın en iyi bilinen sekiz çözümü güncellediğini ve benchmark'ın en iyi seviyesine ulaştığını göstermiştir [38].

Utama vd. zaman pencereli elektrikli araç rotalama problemini Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile çözmüştür. Çalışma, Endonezyalı bir dağıtım şirketinin örnek olay incelemesine uyarlanmış ve çalışmada 30 müşteri ile bir dağıtım merkezi ele alınmıştır. Sonuçlar, Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının toplam dağıtım maliyetini en aza indirebileceğini göstermiştir [29].

Yu vd. zaman pencereli elektrikli araç rotalama problemini Tavlama Benzetimi Algoritması ile çözümlenmiş ve sonuçlar bu algoritmanın problem çözümünde iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir [30].

Wang vd. bir çalışmada, elektrikli araç rotalama probleminin çözümü için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişler ve Tabu Arama Algoritması tasarlamışlardır. Önerilen modelin amacı en iyi rotalama stratejisini bulmaktır. Bu modelin verimliliğini test etmek için hesaplamalı deneyler yapılmıştır. Bu şekilde toplam hizmet mesafesi ve enerji tüketimi minimize edilecektir. Makalede öncelikle elektrikli araç rotalama problemi tanımlanmış ve matematiksel bir model geliştirilmiştir. Daha sonra Tabu Arama Algoritması tasarlanmış ve hesaplamalı deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak 3 elektrikli araç için optimum mesafeler

hesaplanmış ve bu kapsamda rota mesafeleri 131,82 km, 175,42 km ve 115,32 km olarak belirlenmiş, şarj olarak ise araçların bu dağıtım rotasında 1 veya 2 kez şarj edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca önerilen algoritmanın gelecekteki araştırmalarda daha fazla ana taşıyıcılı ve büyük ölçekli karmaşık EVRP'lerin pratik gereksinimlerin karşılanması açısından dikkate alınabileceği belirtilmiştir [31].

Asghari vd. kalabalık şehirler için büyük ölçekli elektrikli araç rotalama problemini ele almış ve problem çözümünde Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasını kullanmıştır. Deneysel çalışmalar, bir nakliye şirketinden alınan veriler kullanılarak yapılmış ve deney sonuçları önerilen yaklaşımın gerçek ölçekli problemleri yüksek verimlilikle çözebileceğini göstermiştir [32].

Bassoa vd. bir çalışmada, topoğrafya ve araç hızını dikkate alarak geliştirilmiş iki aşamalı araç rotalama problemini ele almıştır. Algoritma olarak Bellman-Ford Algoritması kullanılmıştır. Çalışmanın literatüre ana katkısı, enerji tüketimi tahmininde topoğrafya ve araç hızının (eğim, kavşaklar, trafik ışıkları, araç kütlesi, trafikte hızlanma ve frenleme etkileri) dikkate alınarak kesin enerji tahminidir. Makalede ele alınan problem, elektrikli ticari kamyonlar için malların kentsel dağıtımında en iyi rotaları bulmaktır. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları yüksek doğruluklu araç simülasyonlarına yönelik 100 testin sonuçları ile karşılaştırıldığında yalnızca % 2,28'lik bir ortalama enerji tahmin hatasını göstermiştir [33].

Ünal vd. bir çalışmada elektrikli araçlar için Gezgin Satıcı Problemini, araç hızlarının sürüş esnasında değişebildiği varsayımıyla ele almış, problem çözümü için Dinamik Programlama modeli geliştirmiş ve bu modele aracın enerji tüketimini; aracın boş ağırlığı, yol durumu, çekiş gücü ve sürücü deneyimi gibi birtakım unsurlardan oluşan bir enerji tüketim fonksiyonu ile detaylı olarak dahil etmiştir. Ayrıca, büyük ölçekli problemlerin çözümü için Kısıtlı Dinamik Programlama-Bağlantı Eleme Yaklaşımı algoritmasını önermiş, önerilen algoritma literatürde sıkça çalışılan 90 problem üzerinde uygulanmış ve bu problemlerin 51 tanesinde önerilen algoritmanın Kısıtlı Dinamik Programlama algoritmasından daha iyi sonuçlar ürettiğini gözlemiştir [34].

Goeke ve Schneider bir çalışmasında, elektrikli ticari araçlar ve konvansiyonel içten yanmalı ticari araçlardan oluşan karışık bir filonun rotalama optimizasyonunu ele almış, elektrikli ticari araçlar için seyahat edilen mesafenin lineer bir fonksiyonu olarak enerji tüketimini varsaymak yerine hız, eğim ve yük dağılımını içeren gerçekçi bir enerji tüketim modeli kullanmışlardır. Problemi çözmek için Uyarlanabilir Geniş Mahalle Algoritması geliştirmiş (ALNS) ve sonuç olarak ALNS'nin hem çözüm kalitesi hem de çalışma süresi açısından tüm karşılaştırma yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [35].

Zhang vd. zaman penceresi ve şarj istasyonlarıyla birlikte bulanık bir elektrikli araç rotalama problemini araştırmış ve bu problem için güvenilirlik teorisine dayalı bir bulanık optimizasyon modeli oluşturmuştur. Bu modelde, hizmet süresi, batarya enerji tüketimi ve seyahat süresi gibi üç belirsiz parametre dikkate alınmıştır. Problemi çözmek için, birçok yeni çıkarma algoritması ve mevcut ekleme algoritmalarıyla entegre edilmiş bir uyarlanabilir geniş mahalle araması (ALNS) algoritması önerilmiş ve bir bulanık simülasyon tasarlanmıştır. Algoritmanın performansını daha da iyileştirmek için, önerilen ALNS algoritması değişken mahalle algoritmasına entegre edilmiştir. Önerilen ALNS algoritmasının performansını doğrulamak için sayısal deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, önerilen ALNS algoritmasının FEVRPTW (zaman pencereci bulanık elektrikli araç rotalama problem) modelini ele almakta etkili olduğunu göstermiştir [36].

Dönmez, Koç ve Altıparmak bir makalede, zaman pencereci ve çoklu şarj cihazlarıyla kısmi şarj edilen karma filo araç rotalama problemini ele almıştır. Bu problem, araçların emisyon ve enerji tüketimi fonksiyonlarında gidilen mesafeyi ve taşınan yükü dikkate almaktadır. Çalışmada ilk olarak karışık tamsayıli matematiksel programlama formülasyonu geliştirilmiş ve Uyarlanabilir Geniş Mahalle Araması Algoritması (ALNS) temelli bir algoritma tasarlanmıştır. ALNS'nin performansını analiz etmek için kapsamlı hesaplamalı analizler yapılmış ve ALNS 30 örneği (28 küçük ölçekli ve 2 orta ölçekli örnek) optimal olarak çözmüştür. CPLEX (matematiksel modellerin optimizasyonu için kullanılan bir karar verme çözümleyicisidir) tarafından optimal olduğu kanıtlanmış 8 örnekte ALNS'nin ortalama hata payı % 0,86 olmuştur. CPLEX'in iki saat içinde herhangi bir çözüm

bulamadığı 28 örnekte ALNS geçerli çözümler üretmiştir. Sonuç olarak, ALNS'nin orta ve büyük boyutlu örneklerde CPLEX'ten daha başarılı bir şekilde daha iyi performans sağladığını göstermiştir [39].

Bruglieri vd. yapmış oldukları bir çalışmada, elektrikli araç filosunu yönlendirmek için Değişken Komşu Arama yöntemi ile üç aşamalı bir matematiksel sezgisel yöntem geliştirmiştir. Benchmark örnekleri ile yapılan uygulamalar ile elde edilen sayısal sonuçlar, önerilen yaklaşımın makul bir sürede iyi kalitede çözümler bulunduğunu göstermiştir [40].

Zhang vd. otonom elektrikli araç rotalama problemini ele almış ve şarj programları, belirsiz seyahat süresi ve belirsiz hizmet süresinin dikkate alındığı rota optimizasyonu sorununu incelemiştir. Çalışmanın amacı, paylaşımlı otonom elektrikli araçların işletme maliyetini en aza indirmektir. Problemi çözmek için bir dal ve sınır algoritması geliştirilmiştir. Özellikle, erişilebilir şarj programlarına sahip sağlam uygun rotaları belirlemek için özelleştirilmiş bir etiketleme algoritması, fiyatlandırma alt problemi için tanıtılmıştır. Önerilen algoritma, oluşturulan bir dizi örnekte test edilmiştir. Hesaplama sonuçları, önerilen algoritmanın hem çözüm kalitesi hem de hesaplama süresi açısından ticari çözümleyici CPLEX'i geride bıraktığını göstermiştir [36].

Zhou ve Zhao bir çalışmasında, pil değiştirme faktörünü ve karma zaman penceresi kısıtlarını göz önünde bulunduran elektrikli araç rota problemini ele almıştır. Bu problem, toplam dağıtım maliyetlerini en aza indirmeyi ve aynı zamanda pil kullanımını maksimize etmeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda toplam dağıtım maliyetlerini en aza indirmek ve pil kullanımının ortalama kullanımını aynı anda maksimize etmek için yeni bir matematiksel model oluşturulmuştur. Problemin çözümü için hibrit bir yapay zeka algoritması olan parçacık filtresi ve Levy uçuşları ile geliştirilmiş Çok Amaçlı Balina Optimizasyonu Algoritması geliştirilmiştir. Parçacık filtresi ve Levy uçuşları gibi komşuluk arama stratejileri, yerel aramayı ve genel aramayı sırasıyla güçlendirmek için Balina Optimizasyonu Algoritmasına dahil edilmiştir. Deneysel sonuçları, komşuluk arama stratejilerinin etkinliğini ve parçacık

filtresi ve Levy uçuşları ile geliştirilmiş çok amaçlı balina optimizasyonu algoritması performansını doğrulamıştır [37].

Literatürde, elektrikli araç rotalama problemlerinin çözümünde hibrit yöntemlerin de geliştirildiği yaygın olarak görülmüştür. Bu kapsamda;

Urazel ve Keskin yapmış oldukları bir çalışmada, zaman pencereli elektrikli araç rotalama problemi çözümünde Genetik Algoritma ile Benzetilmiş Tavlama Algoritmasını birleştirerek hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen hibrit algoritmanın etkinliğini göstermek için 25 müşteri, 2 şarj istasyonu, bir depo ve 3 özdeş elektrikli araçtan oluşan örnek bir vaka çalışmasına dayalı simülasyonlar gerçekleştirilmiş, hibrit algoritma ile elde edilen sonuçlar, Genetik Algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin sadece en iyi çözümü vermesi açısından değil aynı zamanda hesaplama zamanı açısından da Genetik Algoritmadan daha iyi performans sağladığını göstermiştir [41].

Hiermann vd. elektrikli araç rotalama problemini dal-fiyat yöntemiyle çözmüş ve ayrıca hibrit bir sezgisel yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşım, Geniş Mahalle Aramasını yerleşik bir yerel arama ve yoğunlaştırma için etiketleme prosedürüyle birleştiren hibrit bir buluşsal yöntemi bir araya getirmiştir. Uygulamada benchmark örnek seti kullanılmış ve sonuçlar küçük ölçekli problemlerde ALNS'nin optimal çözümler elde ettiğini göstermiştir [42].

Li vd. otuzdan fazla düğüme sahip araç rotalama problemini ele almış ve karışık sezgisel bir algoritma geliştirmiştir. Geliştirilen algoritma iki örnek üzerinde uygulanarak doğruluğu ispat edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen algoritmanın yalnızca daha iyi bir hesaplama hızına sahip olmakla kalmayıp aynı zamanda büyük ölçekli problemleri de hesaplayabileceğini göstermiştir [43].

Mao vd. zaman pencereli elektrikli araç rotalama problemini formüle etmek için bir karışık tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Problem çözümü için, iyileştirilmiş bir Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritması (ACO), ekleme

heuristiği ve geniş mahalle araması algoritması birleştirilerek hibrit bir model geliştirilmiştir. Algoritmanın performansını doğrulamak için açık veri kaynaklarına dayalı hesaplamalı deneyler kullanılmış ve sonuçlar, yeni tasarlanan modelin problem çözüme verimliliğini artırdığını göstermiştir [44].

Farahani, Zegordi ve Kashan, elektrikli araç rotalama problemini otonom elektrikli araçlar ve geleneksel araçları içeren karışık bir filo için ele almış ve matematiksel bir model geliştirmiştir. Modeli çözmek için değişken mahalle araması ve büyük mahalle araması birleştirilerek hibrit bir algoritma geliştirilmiştir. Sayısal sonuçlar, karışık filoda operasyonel maliyetin homojen filoya kıyasla ortalama olarak % 57,22 azaldığını göstermiştir [45].

Jie vd. makalesinde sınırlı pil sürüş menzilleri ve mevcut pil değiştirme istasyonlarında pil değiştirme stratejisini dikkate alan Pil Değiştirme İstasyonları ile İki Kademeli Kapasiteli Elektrikli Araç Yönlendirme Problem modelini sunmuştur. Ayrıca, gerçek dünya gereksinimlerini temsil etmek için araç kapasite kısıtlamaları da bu modele dahil edilmiştir. Problem çözümü için bir tamsayılı programlama modeli ve sütun üretimi ile uyarlanabilir büyük komşuluk arama yöntemini birleştiren bir hibrit algoritma önermişlerdir. Uygulamada geniş çaplı hesaplamalı deneyler gerçekleştirerek önerilen modelin uygulanabilirliğini ve önerilen hibrit algoritmanın verimliliğini göstermişlerdir [46].

Cömert ve Yazgan yapmış oldukları bir çalışmada şarj ve deşarj fonksiyonlarını dikkate alan bir araç rotalama problem çözümünü ele almış ve problem çözümü için hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir. Problem çözümünde ilk aşamada, çözüm süresini azaltmak için yerel arama ve benzetimli tavlama algoritmalarını entegre eden Hibrit Karınca Kolonisi Algoritması kullanılarak bir başlangıç çözümü elde edilmiştir. İkinci aşamada ise, ilk aşamadan elde edilen başlangıç çözümünü dikkate alan Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılarak problem çözülmüştür. Sonuç olarak, önerilen hiyerarşik yaklaşımın etkinliği, iyi bilinen test tabanlı örnekler üzerinde incelenmiş ve çoğu durumda en iyi yeni sonuçları elde ettiği görülmüştür [47].

Çizelge 2.3. Elektrikli araç rotalama problem çözümlerinde kullanılan algoritmalar.

Yazar	Yıl	Algoritma
Zhenfeng, G. vd.	2017	Genetik Algoritma
Mavrovouniotis, M. vd.	2020	Karınca Kolonisi Algoritması
Jia, Y. vd.	2022	Karınca Kolonisi Algoritması
Zhang, S. vd.	2018	Karınca Kolonisi Algoritması
Zhang, S. vd.	2018	Karınca Kolonisi Algoritması
Utama, D. M. vd.	2020	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
Yu, V. F., vd.	2022	Tavlama Benzetimi Algoritması
Wang, Q. vd.	2020	Tabu Arama Algoritması
Asghari, M. vd.	2023	Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması
Bassoa, R. vd.	2019	Bellman-Ford Algoritması
Goeke, D. ve Schneider,	2015	Uyarlanabilir Geniş Mahalle Algoritması
Zhang, S. vd.	2020	Uyarlanabilir Geniş Mahalle Algoritması
Dönmez, S. vd.	2022	Uyarlanabilir Geniş Mahalle Algoritması
Zhang, L. vd.	2022	Dal Sınır Algoritması
Zhou, B. ve Zhao, Z.	2022	Balina Optimizasyonu Algoritması
Urazel, B. ve Keskin, S.	2021	Hibrit Algoritma
Hiermann, G. vd.	2016	Hibrit Algoritma
Li, H. vd.	2020	Hibrit Algoritma
Mao, H. vd.	2020	Hibrit Algoritma
Farahani, M. vd.	2022	Hibrit Algoritma
Jie, W. vd.	2019	Hibrit Algoritma
Cömert ve Yazgan	2023	Hibrit Algoritma

Ayrıca birçok elektrikli araç rotalama probleminde karışık tamsayı programlama modeli, pekiştirmeli öğrenme modeli, olasıksal Bayes makine öğrenimi yaklaşımı ve Takviyeli Öğrenme Yöntemi model, yöntem ve yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Bu kapsamda;

Xiao vd. elektrikli araç rotalama problemini sürüş esnasında enerji tüketimini etkileyen faktörleri (klima, araç hızı, pil kapasitesi vb.) dikkate alarak ele almış ve yeni bir model geliştirmiştir. Solomon benchmark örnekleri üzerinde yapılan karşılaştırmalı deneyler; klima, araç hızı ve pil kapasitesi dikkate alınarak geliştirilen modelin etkisini ve verimliliğini göstermiştir. Bu kapsamda sürüş esnasında klimanın mümkün olduğunca az açık tutulması, her bir rotada sabit hız yerine daha esnek bir hızla seyahat edilmesini ve araç için büyük kapasiteli pillerin seçilmesini önermiştir [48].

Çimen ve Belbağ yapmış oldukları bir çalışmada elektrikli araç rotalama problemini ele almış, batarya kullanımının dinamik çevreden ciddi şekilde etkilendiği ve düşük batarya kapasitesine sahip araçların tüm müşterilerin ihtiyaçlarına cevap veremeyebileceği sonucuna varmıştır. Bu kapsamda, sürdürülebilir bir dinamik araç rotalama problemi için karma tamsayılı doğrusal programlama tabanlı bir çözüm algoritması önermiştir. Yapılan analizler sonucunda batarya kısıtlarının dinamik çevreden önemli bir şekilde etkilendiği ve batarya kapasitesinin altında olan elektrikli araçların tüm müşterilerin gereksinimlerini karşılayamadığı görülmüştür [49].

Aksoy vd. yapmış oldukları bir çalışmada; lojistik sektöründe kullanılan elektrikli kamyonlar için rota optimizasyonu yapan bir matematiksel model geliştirmiş, araç rotalama problemini açık uçlu araç rotalama konsepti ile birlikte dikkate almıştır. Problemin çözümü için karışık tamsayılı programlama modelini önermiş ve problemde; toplam mesafe minimizasyonu, kullanılan toplam araç sayısı minimizasyonu ve harcanan toplam enerji miktarı minimizasyonu olmak üzere üç farklı amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Önerilen model, örnek problemler üzerinde test edilerek doğrulanmış ve farklı amaç fonksiyonları için karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlar, önerilen model ile küçük boyutlu gerçek hayat uygulamalarında kısa işlem süreleri ile optimum sonuçların elde edilebileceğini göstermiştir [50].

Kabadurmuş ve Erdoğan bir çalışmasında; karbon salınımını en aza indirmek ve hizmet seviyesini en üst düzeye çıkarmak olmak üzere birbiriyle çelişen iki amaca sahip bir Yeşil Araç Rotalama Problemi tasarlamıştır. Problem, karbon salınımını azaltmak amacıyla Alternatif Yakıtlı Araçlar kullanan firmaların rotalama ile ilgili kararlarını en iyilemeyi amaçlamaktadır. Problem, Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama olarak modellenmiş ve çok amaçlı en iyileme yöntemi olan epsilon-kısıtı (ϵ -kısıtı) yöntemi ile çözülmüştür. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için ise kümeleme bazlı bir sezgisel geliştirilmiştir. Hazırlanmış olan bu sezgisel yöntem, karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli ile bulunan Pareto-optimal sonuçlara yakın sonuçlar bularak iyi bir performans ortaya koymuştur [25].

Hulagu ve Çelikoğlu yapmış oldukları bir çalışmada, bir üniversite yerleşkesine hizmet veren servis filosu için optimal bir rota planı sağlamayı hedefleyen elektrikli araç rotalama problemini ele almış ve problem çözümü için bir MILP (Karışık Tamsayılı Doğrusal Program) formülasyonu önermişlerdir. Formülasyonda; gerçek bir yol ağı dikkate alınarak, yol kesişimlerinin tamamı ve servis duraklarındaki zamana bağlı yolcu talebi ile birlikte araç dinamikleri, pil ve şarj özellikleri de açıkça ele alınmıştır. Bulgular, gerçek bir yol ağının, ađ karmaşıklık düzeyi ne olursa olsun kesin rota çözümlerinde önemli olduğunu göstermiş ve kesin yöntemler kullanarak çözümler elde etmek için ađ topolojisinin gerçekliği ile buna bağlı hesaplama yükü arasında bir denge yapılması gerektiği önerilmiştir [51].

Lin, Ghaddar ve Nathwani bir çalışmasında elektrikli araç rotalama problem için Pekiştirmeli öğrenme modeli geliştirmiştir. Yapılan sayısal çalışmalar, önerilen modelin mevcut yöntemlerle çözülemeyen büyük boyutlu zaman pencereli elektrikli araç rotalama problem örneklerini etkili bir şekilde çözebildiğini göstermiştir [52].

Basso, Kulcsar ve Sanchez-Diaz yapmış oldukları bir çalışmada, şans Kısıtlı ve kısmi şarjlı zamana bağlı Elektrikli Araç Rotalama Problemini ele almıştır. Çalışmada yönlendirme yöntemi iki aşamaya bölünmüştür; birincisi en iyi yolları bulmuş, ikincisi ise rotaları optimize etmiştir. Yol bağlantıları, patikalar ve güzergahlar için beklenen enerji tüketimini ve değişkenliği tahmin etmek için olasılıksal bir Bayesian makine öğrenimi yaklaşımı önerilmiştir. Enerji tahmini, Göteborg-İsveç'te toplu taşıma güzergahında çalışan elektrikli otobüslerden elde edilen verilerle ve yüksek doğruluklu bir araç modeline bağlı Lüksemburg şehrinde 24 saatlik trafik için gerçekçi simülasyonlarla doğrulanmıştır. Yönlendirme çözümleri, literatürde bulunanlara benzer şekilde problemin deterministik bir formülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, enerji tahmini için yüksek doğruluğun yanı sıra enerji tasarrufu ve rotalar için daha fazla güvenilir olduğunu göstermiştir [53].

Bassoa vd. yapmış oldukları bir çalışmada dinamik stokastik elektrikli araç rotalama problemini konu almış, problem çözümü için Güvenli Takviyeli Öğrenme yöntemini önermiştir. Araştırmanın amacı, enerji tüketimini en aza indirmek ve batarya

tükenmesi riskini de minimize etmektir. Temel fikir, Monte Carlo simülasyonlarını kullanarak tahmini ve güvenli bir rota planlaması yapabilmek için stokastik müşteri talepleri ve enerji tüketimini öğrenmektir. Yöntem olarak, Lüksemburg şehri için gerçekçi bir trafik modelinden elde edilen enerji tüketimi verilerine ve yüksek hassasiyetli bir araç modeline dayanan simülasyonlar kullanılmış ve değerlendirilmiştir. Sonuçlar, rota planlaması enerji tasarrufu sağlamanın mümkün olduğunu göstermiş, önerilen yöntemin, elektrikli ticari araçlarla taşıma operasyonlarını iyileştirme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir [54].

Literatürde elektrikli araç rotalama problem çözümlerinde kullanılan algoritmaların performansına gelince bu konuda çalışmadan çalışmaya birtakım farklılıklar yer almaktadır. Bu kapsamda genetik algoritmanın zaman pencereli elektrikli araç rotalama problemlerinin çözümünde sağlam bir yöntem olduğu [27], Karınca Kolonisi algoritmasının iyi sonuçlar verdiği [28], Tabu Arama algoritmasının iyi sonuçlar sağladığı [31], karışık tamsayılı doğrusal programlama tabanlı çözüm yönteminin eniyileyen bir dağıtım planı oluşturduğu [49], Uyarlanabilir Geniş Mahalle Algoritmasının iyi bir performans sağladığı [35], dal ve sınır algoritmasının hem çözüm kalitesi hem de hesaplama süresi açısından CPLEX'den daha iyi performans sağladığı [36], tavlama benzetimi yöntemiyle daha düşük sürüm değerleri sağlayan çevreci çözümler elde edildiği [26], farklı algoritmalar ve çözüm yöntemleri ile oluşturulan hibrit algoritmaların [37, 41, 42, 44, 45, 55, 56] iyi çözümler verdiği görülmüştür.

Elektrikli araçların harcamış olduğu enerji; aracın hızı, araç yükü, yol eğimi vb. faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle elektrikli araç rotalama problem çözümünde aracın harcadığı enerjinin tahmini, araçların şarj istasyonlarına yönlendirilmesi açısından önemlidir. Bu konuda yapılan literatür taramasında elektrikli araçların harcadığı enerjinin tahmininde topoğrafya ve araç hızı [33], dinamik çevre [49], boş araç ağırlığı, yol durumu, çekiş gücü, sürücü deneyimi [34], hız, eğim ve yük dağılımı [35], yükleme ve boşaltma zamanı [32] ve yük ağırlığı [46] faktörleri göz önünde tutulmuştur. Ancak yol zemin yapısı da araç hızına etki eden bir faktör olup bu faktör özellikle tarihi şehirlerde karşımıza çıkmaktadır. Gerek Avrupa ülkelerinde gerek ülkemizde ve gerekse diğer dünya ülkelerindeki birçok

tarihi şehir, geçmişten günümüze tarihi yapısını korumuştur. Talin, Prag, Riga, Dresten, Roma, Lüblıyana, Vıyana, Budapeşte, Matera, Safranbolu vb. birçok şehir tarihi dokusunu koruyan şehirler arasındadır. Geçmişten günümüze tarihi dokusunu koruyan şehirlerin gelecekte de bu dokularını koruyacağı aşıkardır. Bu nedenle bu faktörlerin elektrikli araç rotalama problem çözümünde dikkate alınması gerekmektedir. Literatürde elektrikli araç rotalama problemlerinde birçok kısıt ele alınmıştır. Ancak yol eğimi, yük miktarı, dağıtım mesafesi ve yol zemin yapısının hep birlikte kısıt olarak alınarak yapılan ve enerji minimizasyonunu amaçlayan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Tezimizin özgünlüğü, bu faktörlerin araç rotalama problem çözümünde dikkate alınması ve rotalamada enerji minimizasyonunun amaçlanmasıdır.

BÖLÜM 3

GENETİK ALGORİTMA

Genetik Algoritmanın (GA) anlaşılabilmesi için GA temel kavramlarının ve işlem adımlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu bölümde GA hakkında genel bir bilgi verildikten sonra sıra ile temel kavramlar ve işlem adımlarına değinilmiştir.

3.1. GİRİŞ

GA, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Temel ilkeleri ilk olarak Michigan Üniversitesinden John Holland tarafından 1975 yılında ortaya atılmıştır [57] ve sonrasında aynı üniversitedeki meslektaşları ve öğrencileri tarafından geliştirilmiştir [58]. GA; doğadan ilham alan ve en güçlü olanın hayatta kalması kavramını kullanan popülasyon tabanlı bir arama algoritmasıdır [59]. Optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan GA, bu tür problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar sunmaktadır [60]. Bu algoritmalar yapısı gereği, kötü bireyleri yani uygun olmayan çözümleri, operatörleri sayesinde elemektedir. Bu işlemler bir döngü içerisinde durdurma kriteri sağlanana kadar devam etmektedir [61]. Genel olarak en iyileme problemlerinin çözümünde GA, diğer yöntemlere göre en kısa zamanda daha iyi çözümler üretebilmektedir [62]. GA, geleneksel sezgisel yöntemlerinden daha etkili ve çözüm yaklaşımında yapılacak küçük değişikliklerle halledilebildiklerinden dolayı daha esneklerdir [63]. Ayrıca optimizasyon problemlerinin çözümü için yaygın olarak kullanılan GA ile başarılı çözümler sağlanmaktadır [27]. GA diğer yöntemlere göre en kısa zamanda daha iyi çözümler üretmesi, başarılı sonuçlar sağlanması ve optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmasından dolayı bu çalışmada yöntem olarak seçilmiştir.

3.2. TEMEL KAVRAMLAR

Genetik Algoritma işlem adımlarına geçilmeden önce temel kavramların bilinmesi, işlem adımlarının daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

3.2.1. Gen

Gen, canlıların özelliklerinden herhangi bir tanesini taşıyan parçaları olup rotalama problemlerinde konum değerlerini ifade etmektedir [64].

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	46	47	48	49	50
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	-----	----	----	----	----	----

Şekil 3.1. Genler.

Bu çalışmada kullandığımız müşteri lokasyonlarına ait konum değerlerinin her birisi bir geni göstermektedir.

3.2.2. Kromozom

Kromozom, genlerin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu çalışmada verilen müşteri lokasyonlarının (genlerin) bir araya gelmesiyle oluşan rotaların her biri bir kromozomu ifade etmektedir.

5	3	12	4	10	9	25	29	1	37	14	21	...	16	8	49	20	11
---	---	----	---	----	---	----	----	---	----	----	----	-----	----	---	----	----	----

33	14	16	32	18	4	2	13	15	44	13	27	...	21	7	41	36	37
----	----	----	----	----	---	---	----	----	----	----	----	-----	----	---	----	----	----

32	24	16	28	12	9	5	18	10	37	26	20	...	49	3	23	30	42
----	----	----	----	----	---	---	----	----	----	----	----	-----	----	---	----	----	----

Şekil 3.2. Kromozomlar.

Burada verilen kromozomlar 50 adet genden, yani 50 adet müşteri lokasyonundan oluşmuştur. Kromozomlar genlerden oluştuğu için bu genlerin özelliklerini taşırlar.

3.2.3. Popülasyon

Popülasyon, istenilen sayıda kromozomun bir araya gelmesiyle oluşur. Örneğin bu çalışmada kullandığımız müşteri lokasyonları ile oluşturulan dağıtım rotaları, popülasyonları oluşturmaktadır.

5	3	12	4	10	9	25	29	1	37	14	21	...	16	8	49	20	11
9	7	16	3	14	4	26	20	8	49	11	33	...	44	2	1	24	12
14	9	21	8	19	2	25	24	6	38	10	28	...	39	4	7	23	18
2	6	14	7	28	1	4	27	9	3	19	8	...	5	3	44	20	22
6	3	42	8	14	9	21	20	1	38	16	24	...	13	4	41	7	10
41	4	22	5	1	6	24	28	8	50	26	33	...	11	2	43	29	38
21	2	29	6	14	4	27	23	1	33	14	24	...	26	3	42	28	31
48	7	16	3	8	42	19	17	6	43	29	44	...	35	9	1	20	19

Şekil 3.3. Örnek popülasyonlar.

Popülasyon büyüklüğünün Algoritma çözüm başarısını etkilemesinden dolayı çok iyi tanımlanması gerekir. Bu kapsamda deneysel çalışmalar yapılması, popülasyon büyüklüğünün belirlenmesine yardımcı olacaktır.

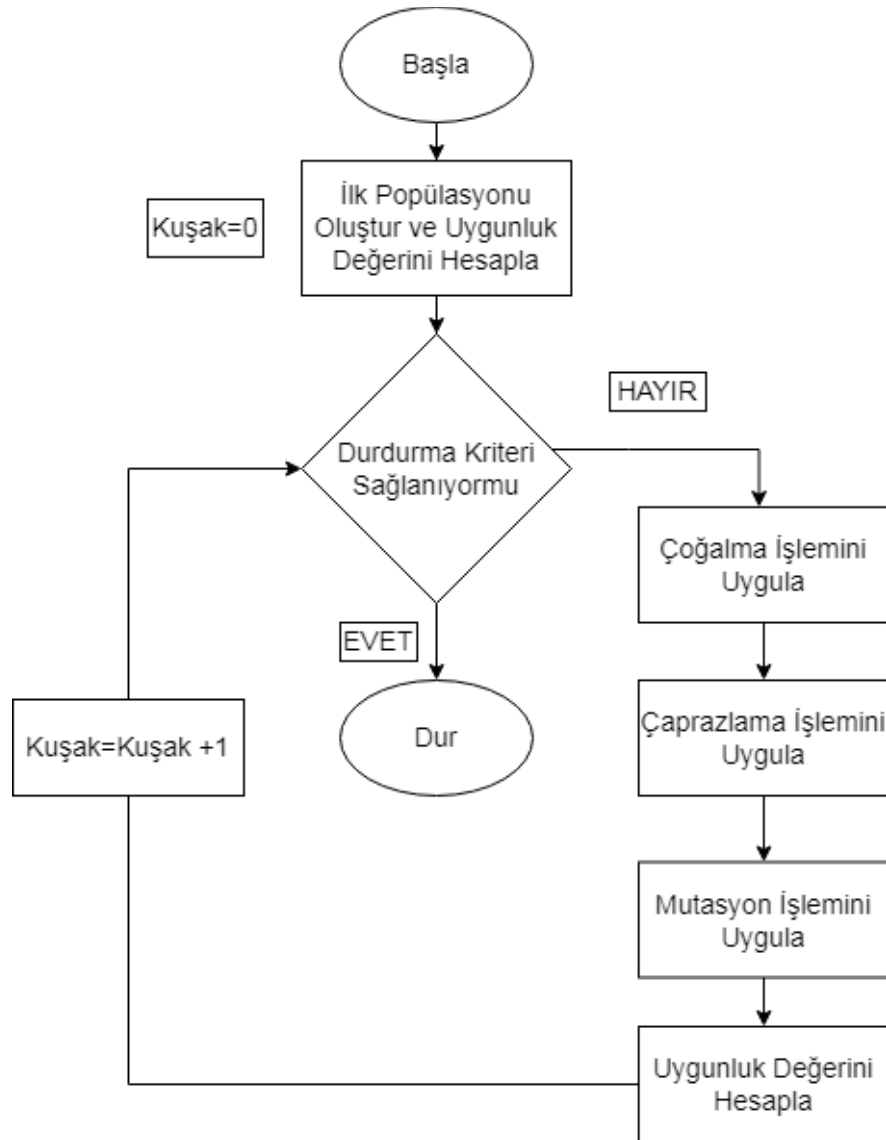
3.2.4. Uygunluk Fonksiyonu ve Uygunluk Değeri

Uygunluk fonksiyonu, oluşturulan her bir kromozomun uyumunun hesaplanması için kullanılan fonksiyon olarak tanımlanır. Fonksiyon sonucu ortaya çıkan değer ise uygunluk değerini ifade eder. Kromozom kalitesi bu uygunluk değerlerine göre

ölçülür. Uygunluk değeri yüksek olan kromozomlar seçilerek yeni oluşturulacak popülasyonda kullanılırlar. Uygunluk değeri en iyi olan kromozom optimum sonucu verir [64].

3.3. GENETİK ALGORİTMA AKIŞ ŞEMASI

Genetik Algoritmanın genel işleyişi için Şekil 3.4’de örnek bir akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.4. Genetik algoritma akış şeması [61].

3.4. GENETİK ALGORİTMA İŞLEM ADIMLARI

3.4.1. Kodlama

Popülasyona konu olan kromozomların kodlandığı işlem adımdır. Kodlama ile, probleme özgü bilgilerin, genetik algoritmanın kullanacağı formata çevrilmesine olanak tanır. Kodlama; İkili Kodlama, Sekizli Kodlama, Onaltılı Kodlama, Permutasyon Kodlama, Değer Kodlama ve Ağaç Kodlama olarak sınıflandırılabilir [65].

İkili Kodlama: İkili kodlama yaygın olarak kullanılan kodlamadır. Bu kodlamada her kromozom 1 veya 0 dizisi olarak temsil edilir.

Kromozom1	101010110010
Kromozom2	010010010101

Şekil 3.5. İkili kodlama.

Sekizli Kodlama: Bu kodlamada kromozomlar sekizlik (0-7) sayılar kullanılarak temsil edilir.

Kromozom1	06231745
Kromozom2	42670543

Şekil 3.6. Sekizli kodlama.

Onaltılı Kodlama: Bu kodlamada kromozomlar onaltılı sayı sistemi (0-9, A-F) kullanılarak temsil edilir.

Kromozom1	97AE
Kromozom2	A2C6

Şekil 3.7. Onaltılı kodlama.

Permutasyon Kodlama: Permutasyon kodlama, sıralama problemlerinde kullanılır. Burada herbir kromozom, bir dizideki konumu temsil eder. Permutasyon kodlama yalnızca belirli bir sıraya sahip problemler için kullanışlıdır.

Kromozom1	1 5 2 4 5 2 6 7 6 9 8
Kromozom2	8 6 3 7 3 9 6 3 2 5 8

Şekil 3.8. Permutasyon kodlama.

Değer Kodlama: Değer kodlamada her bir kromozom bir dizi değer olarak temsil edilir. Değer; tam sayı, gerçek sayı, karakter veya herhangi bir nesne olabilir. Bu kodlama genellikle sınır ağlarında ağırlık bulmak için kullanılır.

Kromozom1	3.14, 1.23, 2.12, 0.34, 4.62
Kromozom2	ABLJEIGJDHSDLDTLFHGT

Şekil 3.9. Değer kodlama.

Ağaç Kodlaması: Ağaç kodlaması esas olarak Genetik Algoritma için program veya ifadeleri geliştirmek için kullanılır.

3.4.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Başlangıç popülasyonu, popülasyon genişliği belirlenerek kromozomlar arasından rastgele oluşturulur. Büyük popülasyonlarda, arama etkinliği artmakta ancak popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak arama süresi de artmaktadır. Küçük popülasyonlarda ise, çözüm uzayını yeterli örnekleyememe ve zamansız yakınsama durumu oluşabilmektedir [66].

3.4.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Bir kromozom için uygunluk fonksiyonu, o kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksek olursa, yaşama ve çoğalma şansı da o kadar yüksek olur. Bu şekilde bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksek olacaktır [61].

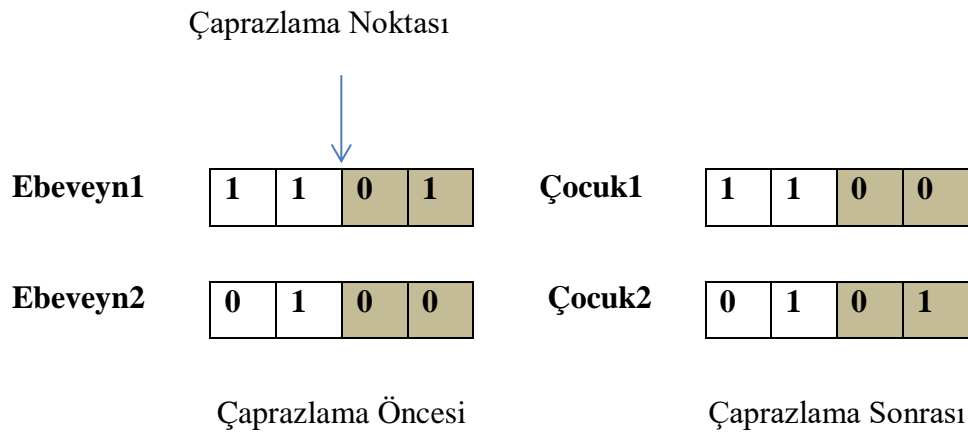
3.4.4. Seçim İşlemi

Çaprazlama işleminin gerçekleştirilmesi için öncelikle çaprazlanacak bireylerin seçilmesi gerekmektedir. Seçim işleminde yaygın olarak rulet tekeri, turnuva, kararlı durum, rastgele ve sıralama yöntemleri kullanılmaktadır [67].

3.4.5. Çaprazlama İşlemi

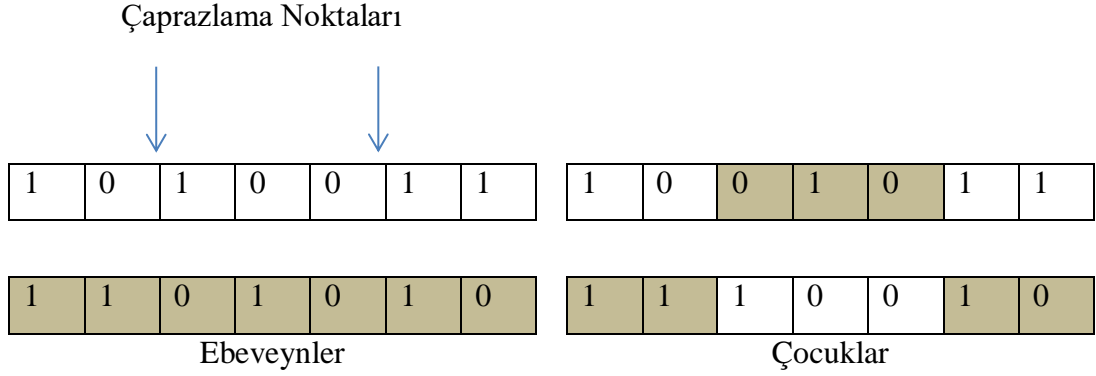
Çaprazlama işlemi, seçilen iki veya daha fazla kromozom genlerini birleştirerek yeni kromozomlar elde etmek amacıyla gerçekleştirilir. Çaprazlama işlemi şu şekillerde yapılabilir:

Tek Noktalı Çaprazlama: En yaygın olarak kullanılan çaprazlama işlemlerinden birisidir [68]. Tek nokta çaprazlama işlemi için kromozomda çaprazlama yapılacak bölge kullanıcı tarafından rastgele seçilebilir.



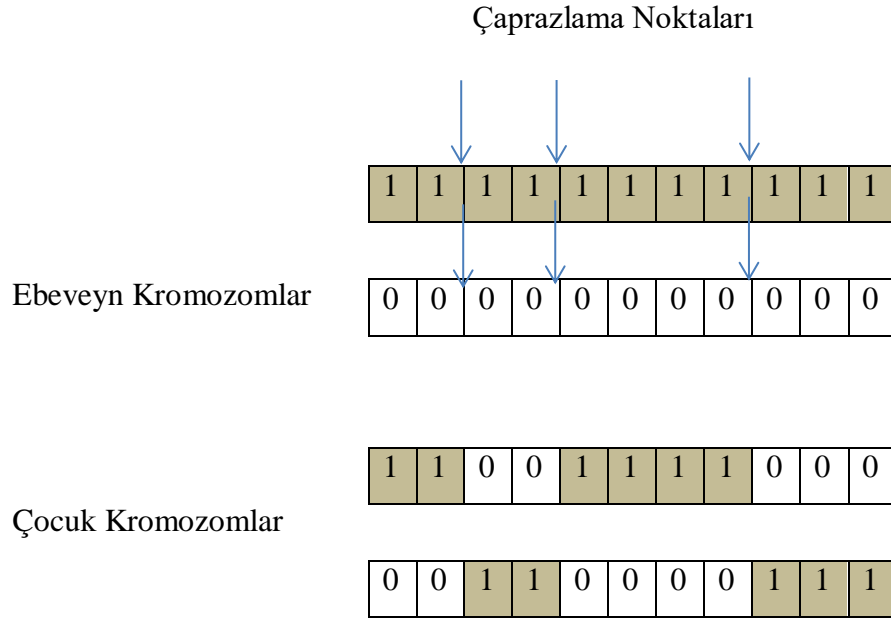
Şekil 3.10. Tek Noktalı çaprazlama [69].

Çift Noktalı Çaprazlama: En yaygın olarak kullanılan çaprazlama işlemlerinden birisidir [68]. İki noktalı çaprazlama işleminde rastgele iki nokta belirlenerek bu noktalar arasında kalan bölümler karşılıklı yer değiştirir ve bu şekilde yeni kromozomlar elde edilir [69].



Şekil 3.11. Çift noktalı çaprazlama [69].

Çok Noktalı Çaprazlama: Çok noktalı çaprazlama işleminde kromozomlar ikiden daha fazla parçalara ayrılır ve bir atlanarak elde edilen çiftler arasında değiştirilmek suretiyle yeni kromozomlar oluşturulur [69].



Şekil 3.12. Çok noktalı çaprazlama [69].

3.4.6. Mutasyon İşlemi

Mutasyon işlemi, çaprazlama işleminden sonraki adımdır. Mutasyon, genetik arama sürecine rastgele bir şekilde yeni bilgiler ekler [68]. Örneğin, ikili bir kodlamanın kullanıldığı bir dizide, mutasyon operatörü ile rastgele seçilen eleman değeri 1 ise 0, 0 ise 1 olarak değiştirilerek yeni bir dizi elde edilir. Mutasyon işleminin amacı, yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önlemek ve sonuca daha hızlı ulaşılmasını sağlamaktır [66].

Mutasyon Öncesi	1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0
Mutasyon Sonrası	1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0

Şekil 3.13. Mutasyon işlemi [70].

3.4.7. Algoritmanın Sonlandırılması

Genetik Algoritma akış şemasında verilen işlemler, optimal çözüm sağlanıncaya kadar devam eder. Optimal çözüm sağlandıktan sonra ise algoritma sonlandırılmaktadır.

BÖLÜM 4

ELEKTRİKLİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEM ÇÖZÜMÜ

Bu çalışma, ülkemizin önemli turizm şehirlerinden birisi olan Safranbolu ilçesinde elektrikli araç rotalama optimizasyonunu konu almaktadır. Çalışmada; yol eğimi, dağıtımına konu olan yük miktarı ve müşteri lokasyonları arası mesafenin yanısıra yol zemin yapısı da kısıt olarak alınmış, ayrıca klasik mesafe minimizasyonu yerine enerjiyi minimize eden bir yaklaşım ele alınmıştır. Literatürde elektrikli araç rotalama problem çözümünde; eğim, kavşaklar, trafik ışıkları, araç kütlesi, trafikte hızlanma ve frenleme etkileri, çekiş gücü, sürücü deneyimi, arazi topoğrafyası vb. kısıtlar farklı şekillerde ele alınarak mesafe minimizasyonu veya enerji minimizasyonu ele alınmıştır. Ancak; yol zemin yapısı, yol eğimi, mesafe ve dağıtımına konu olan paket ağırlıklarının hep birlikte kısıt olarak alınarak enerji minimizasyonunu amaçlayan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde eksik olan konu bu dört kısıtın enerjiyi minimize eden bir yaklaşım ile birlikte ele alınmamasıdır. Yol zemin yapısı, müşteri lokasyonları arası mesafe, eğim ve araç yükünün de enerji harcama miktarını etkilemesi nedeniyle enerji minimizasyonu, klasik mesafe minimizasyonuna göre daha önemli bir hale gelmektedir [5].

4.1. GİRİŞ

Bu çalışmada lojistik sektöründe elektrikli araç rotalama problem çözümü için Genetik algoritma kullanılmış ve problem çözümü için Java uygulaması ile bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelde başlangıç popülasyonu oluşturularak çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler sonucu elde edilen kromozomlar (dağıtım rotaları) arasından, harcanan enerji miktarına göre en düşük değere sahip iki kromozom seçilmekte ve yeni birey oluşturulmaktadır. Bu işlem, belirlenen iterasyon sayısına ulaşılması ile sonlandırılmakta ve en düşük değere sahip olan kromozom, dağıtım rotası olarak belirlenmektedir.

4.2. ÇALIŞMAYA KONU OLAN SAFRANBOLU İLÇESİNİN TANITIMI

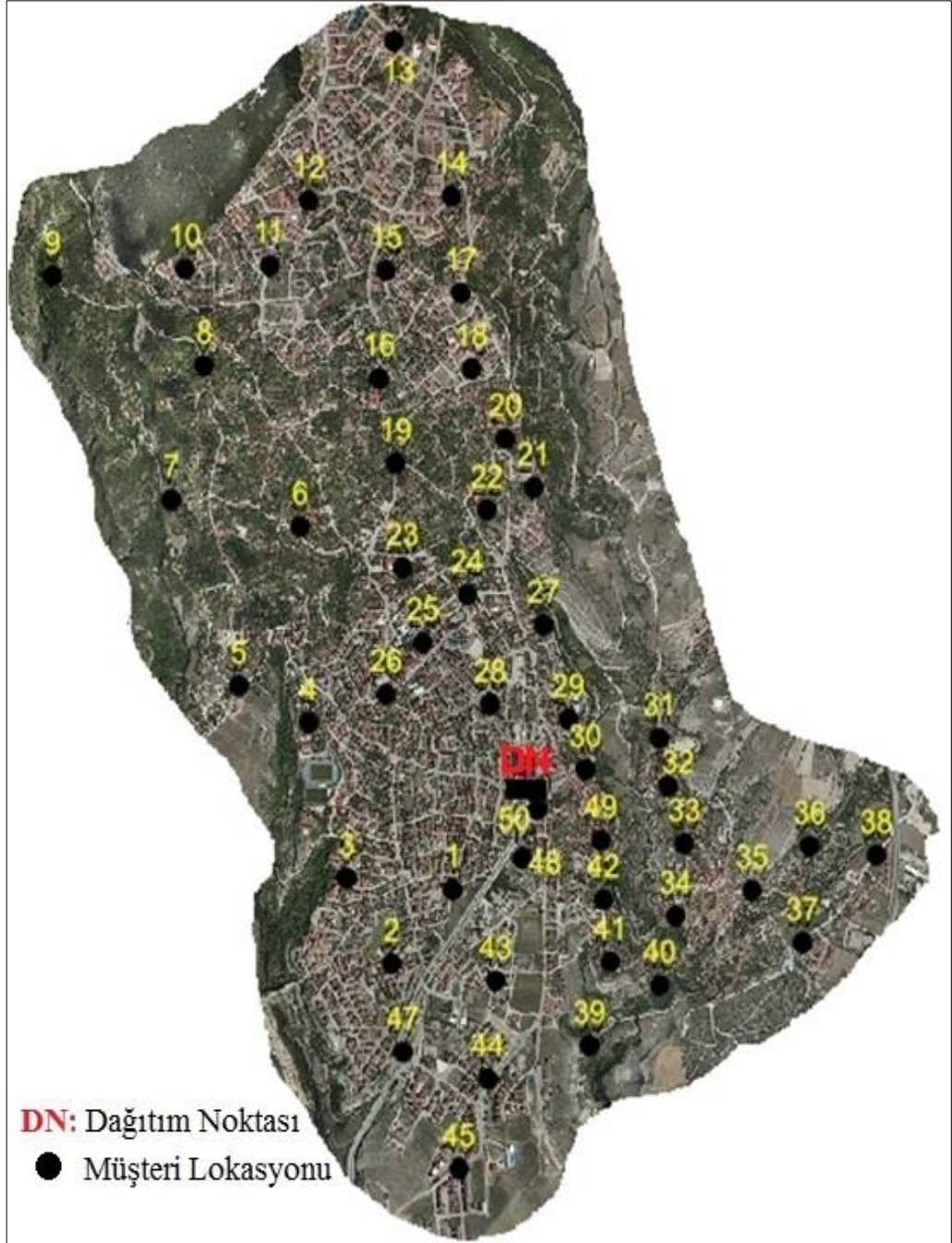
Bu çalışmada elektrikli araç rotalama optimizasyonu için, tarihi bölgelerindeki yol zemin yapısının çoğunlukla taş kaplama olan ve eğimli bir arazi topoğrafyasına sahip Safranbolu ilçesi seçilmiştir. Safranbolu şehri, ülkemizin önemli tarihi şehirlerinden birisi olup ilçenin tarihi bölgelerinde yol zemin yapısı genelde taş kaplama yollardır. Ayrıca eğimli bir arazi topoğrafyasına sahiptir. Safranbolu 70.000 nüfusu ile Karabük ilinin merkez ilçesinden sonra ikinci büyük ilçesidir. Safranbolu, sahip olduğu kültürel miras ile Unesco Dünya Miras listesine girmeyi başarmış ve ülkemizin en önemli turizm şehirlerinden birisi olmuştur. Safranbolu kentsel sit alanı 180 ha olup bu alanda 1297 adet tescilli yapı bulunmaktadır. Sit bölgesi kent dokusunda yollar oldukça dardır. Bu bölgelerdeki tescilli yapılar nedeniyle yol genişlikleri orijinal genişliğini korumuştur. (Safranbolu Koruma Amaçlı Revizyon + İlave Nazım ve Uygulama İmar Planı Açıklama Raporu, 2010). Ayrıca bu yolların orijinal taş zemin yapısı birçok yerde korunmuştur.

4.3. PROBLEM TANIMI

Lojistik sektöründe benzinli veya dizel araçların yakıt maliyetinin her geçen gün daha da artması, bu sektörde elektrikli araç kullanımını daha cazip hale getirmiştir. Ancak araç yakıt tüketiminin yol uzunluğu, yol eğim, araç yükü vb. nedenlere bağlı olarak değişmesi, aracın enerji tüketimi konusundaki tahminleri zorlaştırmakta ve elektrikli araçların yolda kalma riskini artırmaktadır. Bu kapsamda elektrikli araç rotalama problemi özellikle lojistik sektöründe çalışılan konular arasında yer almıştır.

Bu çalışma ile lojistik sektöründe elektrikli araç rotalama problemi ele alınmıştır. Çalışmada; araç yükü, yol eğimi, yol zemin yapısı ve yol uzunluğu dikkate alınmıştır. Ayrıca yol zemin yapısının araç hızını etkileyen faktörler arasında olması ve Safranbolu şehrinin tarihi bölgelerindeki yol zemin yapısının çoğunlukla taş kaplama olması nedeniyle yol zemin yapısı da dikkate alınarak kısıt sayısı artırılmıştır. Bu kapsamda bu çalışma ile; araç yükü, yol eğimi, yol uzunluğu ve yol zemin yapısı olmak üzere 4 kısıt dikkate alınarak dağıtım aracının minimum enerji

ile dağıtım işlemini gerçekleştirmesi amaçlanmaktadır. Problem çözümü, ülkemizin önemli tarihi şehirlerinden birisi olan Safranbolu şehri için ele alınmıştır. Safranbolu şehrinin eğimli yapısı ve şehirde tarihi bölgelerin yer alması ve bu bölgelerde zemin yapısı taş olan zengin bir yol ağının olması, Safranbolu şehrini problem çözümünde örnek olarak almamızdaki en önemli etmenlerdir.



Şekil 4.1. Müşteri lokasyonları

Problem çözümünde elektrikli araç rotalama optimizasyonu amacıyla Safranbolu’da dağıtım yapan kargo firmaları ile görüşülmüş ancak verilerin gizliliği nedeniyle herhangi bir veri seti elde edilememiştir. Bu nedenle Safranbolu ilçesinde 50 adet örnek müşteri lokasyonları belirlenmiştir. Dağıtım noktası ise şehrin merkezinde Kıranköy olarak anılan bölgede seçilmiştir. Belirlenen bu lokasyonların genel bir görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir. Müşteri lokasyonlarının belirlenmesi sürecinde Safranbolu ilçesinde hemen hemen her mahallesi dikkate alınmış, bu şekilde şehrin en yüksek noktasından en düşük noktaya kadar birçok lokasyona ulaşılmış ve Safranbolu’nun tarihi bölgeleri de uygulama alanına alınmıştır. Safranbolu’nun tarihi bölgelerindeki yolların taş zemin yapısının araç hızını etkilemesi nedeniyle bu çalışmamızda yol zemin yapısı da kısıt olarak alınmıştır. Bu kapsamda Safranbolu’nun hem yeni yerleşkeleri ve hem de tarihi bölgeleri dikkate alınarak müşteri lokasyonlarının her bölgeden seçilmesine özen gösterilmiştir. Belirlenen bu lokasyonların Safranbolu Dijital İmar Planları üzerinden gerçek kot ve koordinat değerleri okunarak bu değerlere yönelik veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra bu veri seti kullanılarak müşteri lokasyonları arasındaki mesafe ve eğimler hesaplanmış, Genetik Algoritma ile yapılan deneysel çalışmalar sonunda, dağıtım için örnek seçilen panelvan türü ticari araçlar için enerji minimizasyonunu amaçlayan optimum rotalama planı oluşturulmuştur. Elektrikli araç türü olarak tam elektrikli (bataryalı) araç tipi ele alınmıştır.

4.4. VARSAYIMLAR

Problem çözümünde şu varsayımlar dikkate alınmıştır:

- a. Her müşteri lokasyonuna mutlaka uğranmalıdır.
- b. Her müşteri lokasyonu rotada 1 kez yer almalıdır.
- c. Dağıtım noktasına geri dönülmesi sürecinde de enerji tüketimi olacaktır.
- d. Rotalama işlemi, Dağıtım Noktasından başlayıp Dağıtım Noktasında sona erecektir.
- e. Araç batarya kapasitesi 150 kW alınacaktır.
- f. Kısıtlar; zemini asfalt olan yollar için 1,0, zemini taş kaldırım olan yollar için 1,5 ve zemini asfalt ve taş kaldırım olan yollar (yol güzergahının bir kısmı asfalt, diğer kısmı taş kaldırım olan yollar) için 1,2 kısıtları alınacaktır.

- g. Enerji Tüketim Katsayısı (ETK) 0,3 alınacaktır. (Dağıtıma konu olan aracın düz yolda ve boş olarak harcamış olduğu enerji 100 km’de 30 kW olarak varsayılmıştır).
- h. Mazotlu araçta Yakıt Tüketim Katsayısı (YKT) 0,1 alınacaktır. (Dağıtıma konu olan aracın düz yolda ve boş olarak harcamış olduğu yakıt 100 km’de 10 litre olarak varsayılmıştır).
- i. Aşağı doğru eğimlerde eğim katsayısı 0 olarak alınacaktır.
- j. Eğim değerleri ondalık hanesi 2 rakam alındığından eğim değeri 0,00 olarak yuvarlanan değerler 0,01 olarak alınacaktır.
- k. Araç batarya kapasitesi 150 kW olarak varsayılmıştır. Bu değerden, dağıtımda harcanan enerji miktarını (X_{ij}) çıkardığımızda kalan enerji ile bir sonraki dağıtım noktasına ulaşamıyorsa araç, dağıtım noktasındaki şarj istasyonuna yönlendirilecektir.

4.5. VERİLER

Genler: 50 müşteri lokasyonudur.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	46	47	48	49	50
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	-----	----	----	----	----	----

Şekil 4.2. 50 adet gen.

Kromozomlar: 50 müşteri lokasyonu kullanılarak oluşturulan araç rotaların her birisidir.

24	16	7	38	17	5	22	19	15	48	10	28	...	13	9	42	30	17
----	----	---	----	----	---	----	----	----	----	----	----	-----	----	---	----	----	----

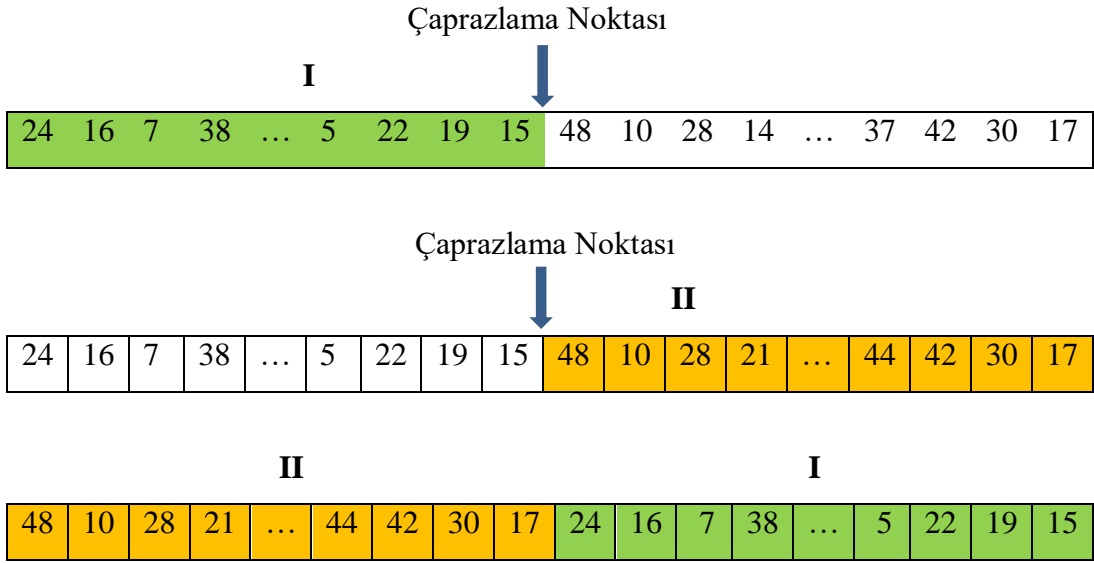
Şekil 4.3. Örnek kromozom.

Başlangıç Popülasyonu: Rastgele oluşturulan araç rotaları olup bu değer 50 olarak alınmıştır.

5	3	12	4	10	9	25	29	1	37	14	21	...	16	8	49	20	11
2	5	11	26	19	13	32	4	33	16	10	23	...	14	9	1	4	7
35	32	19	28	24	9	44	25	22	42	14	26	...	5	2	12	33	11

Şekil 4.4. Örnek popülasyonlar.

Çaprazlama: 20 müşteri lokasyonunda 6 lokasyon çaprazlanmıştır. Bu kapsamda çaprazlama oranı % 30 (0,3) olup en yaygın olarak kullanılan tek noktalı çaprazlama [68] yapılmıştır. Bu kapsamda kromozomun orta noktasından ayırma işlemi yapılarak Parent 1'den I, Parent 2'den ise II alınmış ve aşağıdaki şekilde çaprazlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5. Örnek çaprazlama.

Mutasyon oranı: 50 genden 15 gen alınmıştır. Bu kapsamda mutasyon oranı 0,3'tür.

24	16	7	38	17	5	22	19	15	48	10	28	...	44	9	42	30	17
----	----	---	----	----	---	----	----	----	----	----	----	-----	----	---	----	----	----

Şekil 4.6. Örnek mutasyon oranı.

Lokasyonlar arası mesafeler (L): Lokasyonlara ait gerçek koordinat değerleri kullanılarak Eşitlik 5.1 formülü ile hesaplanmıştır. Dağıtım aracının sadece bir kez uğradığı müşteri lokasyonları arasındaki uzaklığın metre cinsinden değeridir.

$$L_{ij} = \sqrt{(Y_i - Y_j)^2 + (X_i - X_j)^2} \quad (5.1.)$$

Lokasyonlar arası eğim (M): Lokasyonlara ait gerçek kot değerleri kullanılarak Eşitlik 5.2 formülü ile hesaplanmıştır.

$$M_{ij} = \frac{H_j - H_i}{L_{ij}} \quad (5.2.)$$

Lokasyonlar arası yük miktarı (W): Her bir müşteri lokasyonuna uğranıldığında, o lokasyona ait paket teslim edileceğinden bu ağırlık toplam yükten çıkartılarak geri kalan ağırlık ile diğer müşteri lokasyonuna gidilmektedir. Yük miktarları her bir lokasyon için varsayımsal olarak verilmiştir. Her bir müşteri lokasyonuna teslim edilecek paket ağırlıklarına ait yük değerleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Elektrikli Araç Enerji Tüketim Katsayısı (ETK): 0,3 olarak alınmıştır. Elektrikli aracın 100 km’de 30 kW enerji harcadığı varsayılarak bu değer; $30/100=0,3$ olarak hesaplanmıştır. (<https://torasarj.com/haberler/elektrikli-araba-100-kmde-ne-kadar-yakar/>Erişim tarihi 24.12.2023, 11:00)

Mazotlu Araç Yakıt Tüketim Katsayısı (YTK): 0,1 olarak alınmıştır. Mazot yakıtlı aracın 100 km’de 10 litre mazot harcadığı varsayılarak bu değer; $10/100=0,1$ olarak hesaplanmıştır. (<https://arabamkacyakar.com/ford/transit/ortalama-yakit-tuketimi/1332>. Erişim tarihi: 24.12.2023, 10:57)

Kısıtlar: Lokasyonlar arası güzergahlar için varsayımsal olarak alınmıştır. Müşteri lokasyonları arasındaki kısıt değerleri Çizelge 5.5.’de verilmiştir.

Genetik İşlemler ve Kullanılan Yöntemler: Kodlama işlemi için permutasyon kodlama, seçme işlemi için Rulet Çarkı yöntemi, çaprazlama işlemi için tek noktalı

çaprazlama yöntemi, mutasyon yöntemi için karşılıklı yer değiştirme yöntemi ve durdurma kriteri için iterasyon sayısı kullanılmıştır.

4.6. PROBLEM ÇÖZÜMÜ

Problemin amacı, minimum enerji ile tüm müşterilerin bir kez ziyaret edilmesi ve paketlerin teslim edilmesidir. Bu kapsamda amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$(X)_{ij} = L_{ij}/1000 \times W_{ij} \times M_{ij} \times K_{ij} \times ETK \quad (4.1)$$

Burada;

$(X)_{ij}$: Dağıtım sürecinde müşteri lokasyonları arasında harcanan minimum enerji miktarının kW cinsinden değerini,

$L_{ij}/1000$: Müşteri lokasyonları arasındaki mesafenin km cinsinden değerini,

W_{ij} : Müşteri lokasyonlarına gidilmesi sürecinde araçta yer alan paketlerin kilogram cinsinden yük ağırlığını,

M_{ij} : Müşteri lokasyonları arasındaki eğimi,

K_{ij} : Kısıtları,

ETK: Enerji Tüketim Katsayısını

İfade etmektedir. Problem Genetik Algoritma ile çözülmüş ve Java uygulaması geliştirilmiştir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde müşteri lokasyonları, bu lokasyonların yük miktarları, lokasyonlara yönelik kısıtlar, lokasyonlar arası mesafe ve eğimler, Taguchi Deneysel Tasarımı ve deneysel çalışmalar konusunda bilgiler verilmiştir.

5.1. MÜŞTERİ LOKASYON SENARYOLARI

Dağıtımına konu olan müşteriler için Karabük ili Safranbolu ilçesi genelinde 50 adet müşteri lokasyonu belirlenmiştir. Bu lokasyonlara ait koordinat (x,y) ve kot değerleri, dijital imar planları üzerinden okunarak gerçek değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Müşteri lokasyonlarına ait koordinat ve kot değerleri.

N.N.	X	Y	KOT	N.N.	X	Y	KOT
D.N.	4568312	473373	497	26	4568732	472693	534
1	4567877	473006	478	27	4569034	473435	526
2	4567554	472717	466	28	4568686	473182	509
3	4567953	472516	479	29	4568623	473553	509
4	4568608	472328	520	30	4568403	473632	496
5	4568768	471998	533	31	4568540	473981	452
6	4569465	472287	589	32	4568330	474023	447
7	4569582	471678	587	33	4568079	474099	462
8	4570170	471835	636	34	4567762	474058	441
9	4570561	471120	600	35	4567874	474419	432
10	4570593	471742	674	36	4568067	474691	453
11	4570606	472143	663	37	4567645	474656	473
12	4570892	472327	685	38	4568028	475005	492
13	4571589	472728	710	39	4567194	473257	397
14	4570910	473000	669	40	4567459	473983	411
15	4570587	472692	652	41	4567562	473750	465
16	4570114	472659	633	42	4567833	473718	483
17	4570488	473045	625	43	4567478	473209	469
18	4570156	473095	596	44	4567049	473172	439
19	4569742	472737	608	45	4566656	473036	413
20	4569850	473255	572	46	4565937	472981	419
21	4569636	473388	556	47	4567167	472772	433
22	4569537	473168	559	48	4568013	473335	486
23	4569285	472771	572	49	4568094	473706	493
24	4569167	473075	541	50	4568227	473406	497
25	4568957	472866	538				

5.2. MÜŞTERİ LOKASYONLARI ARASI MESAFE ve EĞİM HESABI

Belirlemiş olduğumuz müşteri lokasyonları arasındaki mesafeler aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır. Burada müşteri lokasyonları arasındaki mesafeleri L_{ij} olarak tanımladığımızda lokasyonlar arası mesafe şu şekilde hesaplanır:

$$L_{ij} = \sqrt{(Y_i - Y_j)^2 + (X_i - X_j)^2} \quad (5.1.)$$

Elektrikli araç rotalamada en uygun güzergâhın bulunabilmesi için 50 adet müşteri lokasyonlarının birbirleri arasındaki mesafelerin hesaplanması gerekmektedir. Bu da $50 \times 50 = 2500$ adet verinin elde edilmesi demektir. Bu değerleri hesaplamak için bir Excel tablosu oluşturulmuş ve bu tabloda gerekli formülasyon işlemleri yapılarak lokasyonlar arası 2500 adet mesafe değeri hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 5.2'de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 5.2.a'da 10 ve 5 nolu müşteri lokasyonları arası mesafe değeri (1843 m) gösterilmiştir. Müşteri lokasyonları arasındaki eğimi ise şu şekilde hesaplanır:

$$M_{ij} = \frac{H_j - H_i}{L_{ij}} \quad (5.2.)$$

Formülde müşteri lokasyonları i ve j noktaları olarak tanımlanmış ve i ve j noktaları arasındaki eğim hesaplanmıştır. Buradaki H_i ve H_j değerleri, i ve j noktalarına ait kot değerleridir. Eğimin pozitif değer çıkması i noktasından j noktasına yukarı doğru bir eğimin olduğunu, negatif çıkması ise i noktasından j noktasına aşağı yönde bir eğimin olduğunu göstermektedir.

Müşteri lokasyonları arasındaki eğimler, aracın enerji tüketimini etkilemesinden dolayı optimizasyon işleminde bu eğimlerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle tüm müşteri lokasyonları arasındaki eğim hesaplanmıştır. Hesaplanan eğim değerleri için bir Excel tablosu oluşturulmuş ve bu tabloda 2500 adet eğim değeri gösterilmiştir. Bu değerler Çizelge 5.3'de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 5.3.a'da 13 ve 8 nolu müşteri lokasyonları arası örnek bir eğim değeri (-0,04) gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. a. Müşteri lokasyonları arası mesafe değerleri matrisi.

	Dağ.N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Dağ.N.	0	569	1002	929	1086	1449	1584	2118	2412	3183	2804	2603	2784	3340	2625	2375	1938	2201	1865	1565	1543	1324	1242	1144	905	820
1	569	0	433	496	997	1345	1743	2161	2575	3280	2996	2862	3091	3722	3033	2728	2264	2611	2281	1884	1989	1800	1668	1427	1292	1089
2	1002	433	0	447	1123	1411	1959	2279	2761	3405	3192	3106	3361	4035	3368	3033	2561	2952	2629	2188	2358	2187	2034	1732	1652	1411
3	929	496	447	0	681	966	1529	1832	2319	2958	2751	2679	2945	3642	2996	2640	2166	2590	2278	1803	2036	1895	1713	1356	1337	1063
4	1086	997	1123	681	0	367	858	1171	1638	2296	2070	2007	2284	3008	2398	2012	1542	2012	1728	1206	1550	1477	1252	809	933	641
5	1449	1345	1411	966	367	0	755	875	1411	1996	1843	1844	2149	2914	2365	1947	1500	2014	1769	1223	1659	1639	1400	930	1149	888
6	1584	1743	1959	1529	858	755	0	620	837	1601	1253	1150	1428	2169	1611	1193	748	1273	1063	528	1042	1114	884	516	842	770
7	2118	2161	2279	1832	1171	875	620	0	609	1127	1013	1125	1462	2265	1874	1428	1116	1640	1529	1071	1600	1711	1491	1133	1457	1342
8	2412	2575	2761	2319	1638	1411	837	609	0	815	433	534	874	1677	1380	953	826	1251	1260	998	1456	1642	1476	1288	1595	1592
9	3183	3280	3405	2958	2296	1996	1601	1127	815	0	623	1024	1252	1909	1912	1572	1603	1926	2016	1813	2250	2449	2290	2087	2401	2371
10	2804	2996	3192	2751	2070	1843	1253	1013	433	623	0	401	657	1402	1297	950	1035	1307	1422	1309	1686	1904	1774	1664	1952	1985
11	2603	2862	3106	2679	2007	1844	1150	1125	534	1024	401	0	340	1144	909	549	713	910	1053	1048	1345	1578	1481	1463	1714	1801
12	2784	3091	3361	2945	2284	2149	1428	1462	874	1252	657	340	0	804	673	476	846	824	1064	1221	1395	1644	1595	1667	1880	2009
13	3340	3722	4035	3642	3008	2914	2169	2265	1677	1909	1402	1144	804	0	731	1003	1477	1146	1479	1847	1817	2062	2099	2304	2447	2636
14	2625	3033	3368	2996	2398	2365	1611	1874	1380	1912	1297	909	673	731	0	446	866	424	760	1197	1090	1332	1383	1641	1745	1958
15	2375	2728	3033	2640	2012	1947	1193	1428	953	1572	950	549	476	1003	446	0	474	367	590	846	927	1178	1153	1304	1471	1639
16	1938	2264	2561	2166	1542	1500	748	1116	826	1603	1035	713	846	1477	866	474	0	537	438	380	652	872	769	837	1034	1175
17	2201	2611	2952	2590	2012	2014	1273	1640	1251	1926	1307	910	824	1146	424	367	537	0	336	807	672	918	959	1234	1321	1541
18	1865	2281	2629	2278	1728	1769	1063	1529	1260	2016	1422	1053	1064	1479	760	590	438	336	0	547	345	597	623	929	989	1221
19	1565	1884	2188	1803	1206	1223	528	1071	998	1813	1309	1048	1221	1847	1197	846	380	807	547	0	529	660	477	458	667	796
20	1543	1989	2358	2036	1550	1659	1042	1600	1456	2250	1686	1345	1395	1817	1090	927	652	672	345	529	0	252	325	744	706	974
21	1324	1800	2187	1895	1477	1639	1114	1711	1642	2449	1904	1578	1644	2062	1332	1178	872	918	597	660	252	0	241	710	564	856
22	1242	1668	2034	1713	1252	1400	883,9	1491	1476	2290	1774	1481	1595	2099	1383	1153	769	959	623	477	325	241	0	470	382	654
23	1144	1427	1732	1356	809,1	930	516,4	1133	1288	2087	1664	1463	1667	2304	1641	1304	837	1234	929	458	744	710	470	0	326	341
24	905	1292	1652	1337	933	1149	842,5	1457	1595	2401	1952	1714	1880	2447	1745	1471	1034	1321	989	667	706	564	382	326	0	296
25	820	1089	1411	1063	641,3	888,3	770,3	1342	1592	2371	1985	1801	2009	2636	1958	1639	1175	1541	1221	796	974	856	654	341	296	0

Çizelge 5.2. b. Müşteri lokasyonları arası mesafe değerleri matrisi.

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Dağ.N.	799	725	420	359	275	649	650	762	878	1134	1341	1446	1657	1124	1049	839	590	850	1279	1690	2407	1293	301	398	91
1	910	1234	828	925	818	1179	1113	1112	1058	1413	1696	1666	2005	728	1063	808	713	448	844	1221	1940	748	356	733	532
2	1178	1645	1224	1357	1248	1603	1519	1478	1357	1732	2040	1941	2337	649	1270	1033	1039	498	680	953	1638	391	770	1127	963
3	799	1419	990	1235	1203	1578	1553	1588	1554	1905	2178	2162	2490	1061	1548	1294	1208	840	1117	1397	2069	827	821	1198	931
4	385	1186	858	1225	1320	1654	1718	1848	1926	2216	2424	2519	2739	1692	2015	1765	1591	1433	1773	2076	2750	1508	1170	1471	1143
5	696	1461	1187	1562	1674	1996	2072	2211	2293	2581	2783	2885	3097	2016	2378	2127	1958	1769	2082	2353	2997	1778	1535	1836	1508
6	838	1226	1187	1520	1714	1930	2074	2281	2457	2660	2781	2987	3074	2469	2627	2400	2171	2190	2573	2907	3596	2349	1791	1973	1669
7	1324	1840	1751	2106	2282	2528	2658	2850	2996	3230	3372	3553	3672	2863	3134	2894	2687	2602	2941	3226	3871	2651	2282	2515	2196
8	1675	1962	2004	2312	2520	2695	2859	3082	3277	3457	3547	3786	3826	3298	3459	3236	3001	3022	3395	3714	4385	3146	2627	2795	2499
9	2412	2773	2787	3111	3312	3503	3661	3877	4058	4255	4356	4583	4638	3988	4221	3989	3767	3724	4068	4350	4984	3775	3376	3574	3267
10	2090	2301	2390	2676	2893	3038	3213	3446	3658	3816	3883	4145	4150	3721	3853	3636	3394	3443	3822	4144	4818	3577	3032	3178	2893
11	1953	2035	2183	2433	2659	2765	2952	3196	3429	3556	3597	3884	3852	3589	3645	3442	3189	3305	3703	4050	4744	3496	2854	2959	2693
12	2191	2163	2366	2579	2810	2875	3073	3325	3577	3672	3684	3996	3921	3813	3812	3621	3360	3526	3935	4295	4998	3751	3050	3119	2875
13	2857	2651	2938	3079	3312	3296	3507	3768	4052	4082	4032	4390	4227	4427	4316	4155	3884	4139	4562	4943	5658	4422	3627	3629	3430
14	2200	1926	2231	2353	2585	2565	2775	3037	3321	3351	3308	3661	3511	3725	3588	3431	3160	3438	3865	4254	4973	3750	2916	2903	2714
15	1855	1722	1963	2144	2378	2419	2620	2876	3138	3216	3217	3537	3449	3440	3384	3205	2939	3152	3570	3946	4659	3421	2653	2691	2466
16	1382	1330	1521	1738	1968	2056	2246	2493	2737	2849	2884	3176	3139	2981	2967	2775	2515	2693	3108	3478	4189	2949	2207	2275	2029
17	1791	1505	1807	1933	2166	2161	2369	2629	2908	2953	2928	3268	3145	3301	3171	3010	2739	3014	3441	3832	4551	3332	2492	2484	2290
18	1480	1172	1473	1600	1833	1843	2048	2307	2580	2638	2629	2957	2859	2966	2839	2675	2405	2680	3108	3500	4221	3006	2156	2151	1954
19	1011	994	1146	1385	1611	1730	1910	2150	2380	2514	2574	2843	2843	2601	2601	2404	2146	2313	2728	3100	3813	2575	1829	1912	1656
20	1251	836	1166	1263	1495	1498	1703	1962	2237	2293	2289	2612	2526	2656	2499	2341	2069	2372	2802	3201	3923	2726	1839	1813	1630
21	1140	604	972	1026	1257	1246	1452	1712	1990	2041	2040	2360	2280	2446	2257	2105	1833	2165	2596	3001	3721	2545	1624	1574	1409
22	935	569	851	992	1225	1286	1479	1730	1986	2081	2117	2407	2377	2345	2232	2059	1791	2059	2488	2884	3605	2403	1533	1540	1331
23	558	710	726	1025	1233	1421	1575	1794	1994	2170	2274	2499	2563	2147	2192	1982	1734	1859	2272	2642	3355	2118	1391	1514	1234
24	579	384	493	724	945	1102	1265	1494	1715	1865	1955	2195	2241	1981	1934	1741	1481	1694	2120	2511	3231	2023	1183	1245	997
25	284	574	416	764	945	1190	1316	1514	1688	1893	2030	2219	2332	1806	1869	1652	1410	1518	1932	2307	3022	1792	1054	1204	908

Çizelge 5.2.c. Müşteri lokasyonları arası mesafe değerleri matrisi.

	Dağ.N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	799	910	1178	798,9	385,5	695,9	837,9	1324	1675	2412	2090	1953	2191	2857	2200	1855	1382	1791	1480	1011	1251	1140	935	558	579	284
27	725	1234	1645	1419	1186	1461	1226	1840	1962	2773	2301	2035	2163	2651	1926	1722	1330	1505	1172	994	836	604	569	710	384	574
28	420	828	1224	990,4	857,6	1187	1187	1751	2004	2787	2390	2183	2366	2938	2231	1963	1521	1807	1473	1146	1166	972	851	726	493	416
29	359	925	1357	1235	1225	1562	1520	2106	2312	3111	2676	2433	2579	3079	2353	2144	1738	1933	1600	1385	1263	1026	992	1025	724	764
30	275	818	1248	1203	1320	1674	1714	2282	2520	3312	2893	2659	2810	3312	2585	2378	1968	2166	1833	1611	1495	1257	1225	1233	945	945
31	649	1179	1603	1578	1654	1996	1930	2528	2695	3503	3038	2765	2875	3296	2565	2419	2056	2161	1843	1730	1498	1246	1286	1421	1102	1190
32	650	1113	1519	1553	1718	2072	2074	2658	2859	3661	3213	2952	3073	3507	2775	2620	2246	2369	2048	1910	1703	1452	1479	1575	1265	1316
33	762	1112	1478	1588	1848	2211	2281	2850	3082	3877	3446	3196	3325	3768	3037	2876	2493	2629	2307	2150	1962	1712	1730	1794	1494	1514
34	878	1058	1357	1554	1926	2293	2457	2996	3277	4058	3658	3429	3577	4052	3321	3138	2737	2908	2580	2380	2237	1990	1986	1994	1715	1688
35	1134	1413	1732	1905	2216	2581	2660	3230	3457	4255	3816	3556	3672	4082	3351	3216	2849	2953	2638	2514	2293	2041	2081	2170	1865	1893
36	1341	1696	2040	2178	2424	2783	2781	3372	3547	4356	3883	3597	3684	4032	3308	3217	2884	2928	2629	2574	2289	2040	2117	2274	1955	2030
37	1446	1666	1941	2162	2519	2885	2987	3553	3786	4583	4145	3884	3996	4390	3661	3537	3176	3268	2957	2843	2612	2360	2407	2499	2195	2219
38	1657	2005	2337	2490	2739	3097	3074	3672	3826	4638	4150	3852	3921	4227	3511	3449	3139	3145	2859	2843	2526	2280	2377	2563	2241	2332
39	1124	728	649	1061	1692	2016	2469	2863	3298	3988	3721	3589	3813	4427	3725	3440	2981	3301	2966	2601	2656	2446	2345	2147	1981	1806
40	1049	1063	1270	1548	2015	2378	2627	3134	3459	4221	3853	3645	3812	4316	3588	3384	2967	3171	2839	2601	2499	2257	2232	2192	1934	1869
41	839	808	1033	1294	1765	2127	2400	2894	3236	3989	3636	3442	3621	4155	3431	3205	2775	3010	2675	2404	2341	2105	2059	1982	1741	1652
42	590	713	1039	1208	1591	1958	2171	2687	3001	3767	3394	3189	3360	3884	3160	2939	2515	2739	2405	2146	2069	1833	1791	1734	1481	1410
43	850	448	497,8	840,2	1433	1769	2190	2602	3022	3724	3443	3305	3526	4139	3438	3152	2693	3014	2680	2313	2372	2165	2059	1859	1694	1518
44	1279	844	680	1117	1773	2082	2573	2941	3395	4068	3822	3703	3935	4562	3865	3570	3108	3441	3108	2728	2802	2596	2488	2272	2120	1932
45	1690	1221	953	1397	2076	2353	2907	3226	3714	4350	4144	4050	4295	4943	4254	3946	3478	3832	3500	3100	3201	3001	2884	2642	2511	2307
46	2407	1940	1638	2069	2750	2997	3596	3871	4385	4984	4818	4744	4998	5658	4973	4659	4189	4551	4221	3813	3923	3721	3605	3355	3231	3022
47	1293	748	390,9	826,6	1508	1778	2349	2651	3146	3775	3577	3496	3751	4422	3750	3421	2949	3332	3006	2575	2726	2545	2403	2118	2023	1792
48	301	356	769,8	821,2	1170	1535	1791	2282	2627	3376	3032	2854	3050	3627	2916	2653	2207	2492	2156	1829	1839	1624	1533	1391	1183	1054
49	398	733	1127	1198	1471	1836	1973	2515	2795	3574	3178	2959	3119	3629	2903	2691	2275	2484	2151	1912	1813	1574	1540	1514	1245	1204
50	91	532	963,1	931,2	1143	1508	1669	2196	2499	3267	2893	2693	2875	3430	2714	2466	2029	2290	1954	1656	1630	1409	1331	1234	997	908

Çizelge 5.2.d. Müşteri lokasyonları arası mesafe değerleri matrisi.

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
26	0	801	491	867	995	1302	1389	1550	1675	1927	2106	2244	2417	1638	1812	1577	1363	1356	1750	2104	2810	1567	964	1197	874
27	801	0	430	428	661	736	917	1163	1416	1521	1585	1849	1865	1849	1668	1505	1234	1572	2002	2411	3130	1981	1026	978	808
28	491	430	0	376	532	812	913	1100	1273	1480	1631	1805	1938	1494	1465	1259	1007	1208	1637	2035	2756	1573	690	791	511
29	867	428	376	0	234	436	554	771	998	1145	1267	1474	1569	1459	1241	1079	807	1196	1619	2034	2746	1652	648	551	422
30	995	661	532	234	0	375	398	568	770	948	1111	1274	1423	1266	1007	849	576	1017	1430	1846	2550	1506	490	318	286
31	1302	736	812	436	375	0	214	476	782	797	853	1121	1145	1528	1081	1005	754	1313	1696	2108	2788	1829	834	524	655
32	1389	917	913	554	398	214	0	262	569	604	718	933	1027	1370	872	815	583	1178	1538	1943	2610	1708	758	395	626
33	1550	1163	1100	771	568	476	262	0	320	380	592	706	907	1222	631	624	454	1074	1386	1776	2416	1610	767	393	709
34	1675	1416	1273	998	770	782	569	320	0	378	703	609	984	982	312	367	347	895	1137	1506	2119	1417	765	484	801
35	1927	1521	1480	1145	948	797	604	380	378	0	334	330	606	1346	602	738	702	1273	1495	1843	2412	1792	1093	746	1073
36	2106	1585	1631	1267	1111	853	718	592	703	334	0	423	316	1679	933	1068	1001	1595	1829	2175	2731	2120	1357	985	1295
37	2244	1849	1805	1474	1274	1121	933	706	609	330	423	0	518	1470	698	910	957	1457	1599	1898	2392	1944	1371	1051	1379
38	2417	1865	1938	1569	1423	1145	1027	907	984	606	316	518	0	1937	1170	1339	1302	1878	2078	2400	2910	2393	1670	1301	1611
39	1638	1849	1494	1459	1266	1528	1370	1222	982	1346	1679	1470	1937	0	773	615	788	288	168	582	1287	486	823	1006	1044
40	1812	1668	1465	1241	1007	1081	872	631	312	602	933	698	1170	773	0	255	458	774	909	1242	1822	1246	853	693	961
41	1577	1505	1259	1079	849	1005	815	624	367	738	1068	910	1339	615	255	0	273	547	773	1154	1798	1055	613	534	749
42	1363	1234	1007	807	576	754	583	454	347	702	1001	957	1302	788	458	273	0	621	955	1360	2034	1157	423	261	503
43	1356	1572	1208	1196	1017	1313	1178	1074	895	1273	1595	1457	1878	288	774	547	621	0	431	840	1558	536	550	791	774
44	1750	2002	1637	1619	1430	1696	1538	1386	1137	1495	1829	1599	2078	168	909	773	955	431	0	416	1128	417	978	1174	1201
45	2104	2411	2035	2034	1846	2108	1943	1776	1506	1843	2175	1898	2400	582	1242	1154	1360	840	416	0	721	575	1390	1586	1614
46	2810	3130	2756	2746	2550	2788	2610	2416	2119	2412	2731	2392	2910	1287	1822	1798	2034	1558	1128	721	0	1248	2106	2276	2329
47	1567	1981	1573	1652	1506	1829	1708	1610	1417	1792	2120	1944	2393	486	1246	1055	1157	536	417	575	1248	0	1016	1316	1235
48	964	1026	690	648	490	834	758	767	765	1093	1357	1371	1670	823	853	613	423	550	978	1390	2106	1016	0	380	225
49	1197	978	791	551	318	524	395	393	484	746	985	1051	1301	1006	693	534	261	791	1174	1586	2276	1316	380	0	328
50	874	808	511	422	286	655	626	709	801	1073	1295	1379	1611	1044	961	749	503	774	1201	1614	2329	1235	225	328	0

Çizelge 5.3. a. Müşteri lokasyonları arası eğim değerleri matrisi.

	Dağ.N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Dağ.N	0,00	-0,03	-0,03	-0,02	0,02	0,02	0,06	0,04	0,06	0,03	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,07	0,05	0,05
1	0,03	0,00	-0,03	0,00	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06	0,04	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,07	0,05	0,06
2	0,03	-0,04	0,00	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05
3	0,02	0,05	-0,03	0,00	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,04	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,07	0,05	0,06
4	-0,02	0,04	-0,05	-0,06	0,00	0,04	0,08	0,06	0,07	0,03	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,05	0,04	0,07	0,03	0,02	0,03	0,06	0,02	0,03
5	-0,02	0,07	-0,05	-0,06	-0,04	0,00	0,07	0,06	0,07	0,03	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05	0,04	0,06	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01
6	-0,06	0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,07	0,00	0,00	0,06	0,01	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,06	0,03	0,01	0,04	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,06	-0,07
7	-0,04	0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	0,00	0,00	0,08	0,01	0,09	0,07	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04	0,02	0,01	0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03	-0,04
8	-0,06	0,04	-0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,08	0,00	-0,04	0,09	0,05	0,06	0,04	0,02	0,02	0,00	-0,01	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06
9	-0,03	0,05	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,01	-0,01	0,04	0,00	0,12	0,06	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,03
10	-0,06	0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,08	-0,07	-0,09	-0,09	-0,12	0,00	-0,03	0,02	0,03	0,00	-0,02	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07
11	-0,06	0,07	-0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,07	-0,05	-0,06	0,03	0,00	0,06	0,04	0,01	-0,02	-0,04	-0,04	-0,06	-0,05	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,07	-0,07
12	-0,07	0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,07	-0,02	-0,06	0,00	0,03	-0,02	-0,07	-0,06	-0,07	-0,08	-0,06	-0,08	-0,08	-0,08	-0,07	-0,08	-0,07
13	-0,06	0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,06	-0,03	-0,04	-0,03	0,00	-0,06	-0,06	-0,05	-0,07	-0,08	-0,06	-0,08	-0,07	-0,07	-0,06	-0,07	-0,07
14	-0,07	0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,02	-0,04	0,00	-0,01	0,02	0,06	0,00	-0,04	-0,04	-0,10	-0,10	-0,05	-0,09	-0,08	-0,08	-0,06	-0,07	-0,07
15	-0,07	0,05	-0,06	-0,07	-0,07	-0,06	-0,05	-0,05	-0,02	-0,03	0,02	0,02	0,07	0,06	0,04	0,00	-0,04	-0,07	-0,09	-0,05	-0,09	-0,08	-0,08	-0,06	-0,08	-0,07
16	-0,07	0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,04	0,00	-0,02	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,04	0,00	-0,01	-0,08	-0,07	-0,09	-0,09	-0,10	-0,07	-0,09	-0,08
17	-0,06	0,04	-0,05	-0,06	-0,05	-0,05	-0,03	-0,02	0,01	-0,01	0,04	0,04	0,07	0,07	0,10	0,07	0,01	0,00	-0,09	-0,02	-0,08	-0,08	-0,07	-0,04	-0,06	-0,06
18	-0,05	0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,01	-0,01	0,03	0,00	0,05	0,06	0,08	0,08	0,10	0,09	0,08	0,09	0,00	0,02	-0,07	-0,07	-0,06	-0,03	-0,06	-0,05
19	-0,07	0,04	-0,06	-0,07	-0,07	-0,06	-0,04	-0,02	0,03	0,00	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,07	0,02	-0,02	0,00	-0,07	-0,08	-0,10	-0,08	-0,10	-0,09
20	-0,05	0,03	-0,04	-0,05	-0,03	-0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,00	-0,06	-0,04	0,00	-0,04	-0,03
21	-0,04	0,03	-0,04	-0,04	-0,02	-0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,07	0,08	0,06	0,00	0,01	0,02	-0,03	-0,02
22	-0,05	0,04	-0,05	-0,05	-0,03	-0,02	0,03	0,02	0,05	0,02	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,10	0,07	0,06	0,10	0,04	-0,01	0,00	0,03	-0,05	-0,03
23	-0,07	0,03	-0,06	-0,07	-0,06	-0,04	0,03	0,01	0,05	0,01	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,04	0,03	0,08	0,00	-0,02	-0,03	0,00	-0,10	-0,10
24	-0,05	0,03	-0,05	-0,05	-0,02	-0,01	0,06	0,03	0,06	0,02	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09	0,06	0,06	0,10	0,04	0,03	0,05	0,10	0,00	-0,01
25	-0,05	0,03	-0,05	-0,06	-0,03	-0,01	0,07	0,04	0,06	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,05	0,09	0,03	0,02	0,03	0,10	0,01	0,00

Çizelge 5.3.b. Müşteri lokasyonları arası eğim değerleri matrisi.

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Dağ.N	0,05	0,04	0,03	0,03	0,00	-0,07	-0,08	-0,05	-0,06	-0,06	-0,03	-0,02	0,00	-0,09	-0,08	-0,04	-0,02	-0,03	-0,05	-0,05	-0,03	-0,05	-0,04	-0,01	0,00
1	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02	-0,02	-0,03	-0,01	-0,03	-0,03	-0,01	0,00	0,01	-0,11	-0,06	-0,02	0,01	-0,02	-0,05	-0,05	-0,03	-0,06	0,02	0,02	0,04
2	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02	-0,01	-0,01	0,00	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	0,01	-0,11	-0,04	0,00	0,02	0,01	-0,04	-0,06	-0,03	-0,08	0,03	0,02	0,03
3	0,07	0,03	0,03	0,02	0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	0,01	-0,08	-0,04	-0,01	0,00	-0,01	-0,04	-0,05	-0,03	-0,06	0,01	0,01	0,02
4	0,04	0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,04	-0,03	-0,04	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	-0,07	-0,05	-0,03	-0,02	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,06	-0,03	-0,02	-0,02
5	0,00	0,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,04	-0,03	-0,04	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	-0,07	-0,05	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,06	-0,03	-0,02	-0,02
6	-0,07	-0,05	-0,07	-0,05	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,08	-0,07	-0,05	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,05	-0,07	-0,06	-0,05	-0,06
7	-0,04	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,07	-0,06	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,06	-0,04	-0,04	-0,04
8	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,04	-0,07	-0,07	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06
9	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,02	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03
10	-0,07	-0,06	-0,07	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,07	-0,06	-0,06
11	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,08	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06
12	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,05	-0,05	-0,08	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06
13	-0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,05	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06
14	-0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,05	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06
15	-0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,05	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06
16	-0,07	-0,08	-0,08	-0,07	-0,07	-0,09	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,08	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06
17	-0,05	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,08	-0,08	-0,06	-0,06	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,07	-0,07	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,05
18	-0,04	-0,06	-0,06	-0,05	-0,05	-0,08	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,04	-0,07	-0,07	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05
19	-0,07	-0,08	-0,09	-0,07	-0,07	-0,09	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,08	-0,08	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06
20	-0,03	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,08	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
21	-0,02	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,08	-0,08	-0,05	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,07	-0,06	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04
22	-0,03	-0,06	-0,06	-0,05	-0,05	-0,08	-0,08	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,07	-0,07	-0,05	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
23	-0,07	-0,06	-0,09	-0,06	-0,06	-0,08	-0,08	-0,06	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,08	-0,07	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,07	-0,06	-0,05	-0,06
24	-0,01	-0,04	-0,06	-0,04	-0,05	-0,08	-0,07	-0,05	-0,06	-0,06	-0,05	-0,03	-0,02	-0,07	-0,07	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04
25	-0,01	-0,02	-0,07	-0,04	-0,04	-0,07	-0,07	-0,05	-0,06	-0,06	-0,04	-0,03	-0,02	-0,08	-0,07	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,06	-0,05	-0,04	-0,05

Çizelge 5.3.c. Müşteri lokasyonları arası eğim değerleri matrisi.

	Dağ.N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	-0,05	0,03	-0,06	-0,07	-0,04	0,00	0,07	0,04	0,06	0,03	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05	0,04	0,07	0,03	0,02	0,03	0,07	0,01	0,01
27	-0,04	0,01	-0,04	-0,03	-0,01	0,00	0,05	0,03	0,06	0,03	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,06	0,08	0,06	0,05	0,06	0,06	0,04	0,02
28	-0,03	0,01	-0,04	-0,03	0,01	0,02	0,07	0,04	0,06	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,06	0,09	0,05	0,05	0,06	0,09	0,06	0,07
29	-0,03	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,02	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04
30	0,00	-0,06	-0,02	-0,01	0,02	0,02	0,05	0,04	0,06	0,03	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04
31	0,07	-0,04	0,01	0,02	0,04	0,04	0,07	0,05	0,07	0,04	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
32	0,08	-0,03	0,01	0,02	0,04	0,04	0,07	0,05	0,07	0,04	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
33	0,05	-0,05	0,00	0,01	0,03	0,03	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
34	0,06	-0,06	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06
35	0,06	-0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
36	0,03	-0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
37	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
38	0,00	-0,05	-0,01	-0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
39	0,09	-0,12	0,11	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08
40	0,08	-0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
41	0,04	-0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04
42	0,02	-0,04	-0,02	0,00	0,02	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
43	0,03	-0,13	-0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05
44	0,05	-0,10	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
45	0,05	-0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
46	0,03	-0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
47	0,05	-0,01	0,08	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,04	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,06
48	0,04	-0,01	-0,03	-0,01	0,03	0,03	0,06	0,04	0,06	0,03	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05
49	0,01	0,00	-0,02	-0,01	0,02	0,02	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
50	0,00	-0,94	-0,03	-0,02	0,02	0,02	0,06	0,04	0,06	0,03	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05

Çizelge 5.3.d. Müşteri lokasyonları arası eğim değerleri matrisi.

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
26	0,00	-0,01	-0,05	-0,03	-0,04	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02	-0,08	-0,07	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06	-0,04	-0,06	-0,05	-0,03	-0,04
27	0,01	0,00	-0,04	-0,04	-0,05	-0,10	-0,09	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,03	-0,02	-0,07	-0,07	-0,04	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05	-0,03	-0,05	-0,04	-0,03	-0,04
28	0,05	0,04	0,00	0,00	-0,02	-0,07	-0,07	-0,04	-0,05	-0,05	-0,03	-0,02	-0,01	-0,07	-0,07	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,03	-0,05	-0,03	-0,02	-0,02
29	0,03	0,04	0,00	0,00	-0,06	-0,13	-0,11	-0,06	-0,07	-0,07	-0,04	-0,02	-0,01	-0,08	-0,08	-0,04	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,03	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03
30	0,04	0,05	0,02	0,06	0,00	-0,12	-0,12	-0,06	-0,07	-0,07	-0,04	-0,02	0,00	-0,08	-0,08	-0,04	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04	-0,03	-0,04	-0,02	-0,01	0,00
31	0,06	0,10	0,07	0,13	0,12	0,00	-0,02	0,02	-0,01	-0,03	0,00	0,02	0,03	-0,04	-0,04	0,01	0,04	0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	0,04	0,08	0,07
32	0,06	0,09	0,07	0,11	0,12	0,02	0,00	0,06	-0,01	-0,02	0,01	0,03	0,04	-0,04	-0,04	0,02	0,06	0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	0,05	0,12	0,08
33	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	-0,02	-0,06	0,00	-0,07	-0,08	-0,02	0,02	0,03	-0,05	-0,08	0,00	0,05	0,01	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	0,03	0,08	0,05
34	0,06	0,06	0,05	0,07	0,07	0,01	0,01	0,07	0,00	-0,02	0,02	0,05	0,05	-0,04	-0,10	0,07	0,12	0,03	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	0,06	0,11	0,07
35	0,05	0,06	0,05	0,07	0,07	0,03	0,02	0,08	0,02	0,00	0,06	0,12	0,10	-0,03	-0,03	0,04	0,07	0,03	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,05	0,08	0,06
36	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,00	-0,01	0,02	-0,02	-0,06	0,00	0,05	0,12	-0,03	-0,05	0,01	0,03	0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	0,02	0,04	0,03
37	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	-0,02	-0,03	-0,02	-0,05	-0,12	-0,05	0,00	0,04	-0,05	-0,09	-0,01	0,01	0,00	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	0,01	0,02	0,02
38	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	-0,03	-0,04	-0,03	-0,05	-0,10	-0,12	-0,04	0,00	-0,05	-0,07	-0,02	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	0,00	0,00	0,00
39	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05	0,00	0,02	0,11	0,11	0,25	0,25	0,03	0,02	0,07	0,11	0,10	0,10
40	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,04	0,04	0,08	0,10	0,03	0,05	0,09	0,07	-0,02	0,00	0,21	0,16	0,07	0,03	0,00	0,00	0,02	0,09	0,12	0,09
41	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	-0,01	-0,02	0,00	-0,07	-0,04	-0,01	0,01	0,02	-0,11	-0,21	0,00	0,07	0,01	-0,03	-0,05	-0,03	-0,03	0,03	0,05	0,04
42	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	-0,04	-0,06	-0,05	-0,12	-0,07	-0,03	-0,01	0,01	-0,11	-0,16	-0,07	0,00	-0,02	-0,05	-0,05	-0,03	-0,04	0,01	0,04	0,03
43	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	-0,01	-0,02	-0,01	-0,03	-0,03	-0,01	0,00	0,01	-0,25	-0,07	-0,01	0,02	0,00	-0,07	-0,07	-0,03	-0,07	0,03	0,03	0,04
44	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	-0,25	-0,03	0,03	0,05	0,07	0,00	-0,06	-0,02	-0,01	0,05	0,05	0,05
45	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	-0,03	0,00	0,05	0,05	0,07	0,06	0,00	0,01	0,03	0,05	0,05	0,05
46	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	-0,02	0,00	0,03	0,03	0,03	0,02	-0,01	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03
47	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	-0,07	-0,02	0,03	0,04	0,07	0,01	-0,03	-0,01	0,00	0,05	0,05	0,05
48	0,05	0,04	0,03	0,04	0,02	-0,04	-0,05	-0,03	-0,06	-0,05	-0,02	-0,01	0,00	-0,11	-0,09	-0,03	-0,01	-0,03	-0,05	-0,05	-0,03	-0,05	0,00	0,02	0,05
49	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	-0,08	-0,12	-0,08	-0,11	-0,08	-0,04	-0,02	0,00	-0,10	-0,12	-0,05	-0,04	-0,03	-0,05	-0,05	-0,03	-0,05	-0,02	0,00	0,01
50	0,04	0,04	0,02	0,03	0,00	-0,07	-0,08	-0,05	-0,07	-0,06	-0,03	-0,02	0,00	-0,10	-0,09	-0,04	-0,03	-0,04	-0,05	-0,05	-0,03	-0,05	-0,05	-0,01	0,00

5.3. MÜŞTERİ LOKASYONLARINA AİT YÜK DEĞERLERİ

Bir aracın taşıdığı yük miktarı, o aracın enerji tüketimini etkilemesinden dolayı, optimizasyon işleminde yük miktarları da dikkate alınmıştır. Problem çözümünde her müşteri lokasyonuna teslim edilecek paketlerin ağırlıkları, teslim sonrasında toplam ağırlıktan düşülerek bir sonraki lokasyona gidilmiş ve her lokasyonda teslim edilen paketlerin ağırlıkları her teslimat sonrasında düşülerek aracın enerji tüketimi bu değerlere göre hesaplanmıştır. Müşteri lokasyonlarına yönelik senaryoların oluşturulması sürecinde her lokasyon için yük miktarları tanımlanmıştır. Dağıtım noktasındaki toplam yük miktarı 569,30 kg (müşteri lokasyonları için varsayımsal olarak tanımlanan paket ağırlıkları toplamı) olup her dağıtım noktasına yapılan teslimat sonrasında teslim edilen yük miktarı bu değerden düşülmüştür. Buna göre müşteri lokasyonlarına dağıtılacak paketlerin ağırlıkları şu şekildedir:

Çizelge 5.4. Müşteri lokasyonları yük değerleri.

N.N	Yük (Kg)	N.N	Yük (Kg)	N.N	Yük (Kg)	N.N	Yük (Kg)	N.N	Yük (Kg)
1	5,20	11	57,00	21	17,20	31	2,00	41	16,00
2	1,70	12	0,30	22	20,00	32	9,00	42	14,00
3	9,60	13	0,70	23	0,70	33	34,60	43	3,60
4	6,40	14	16,00	24	14,00	34	0,30	44	9,00
5	3,00	15	13,60	25	21,20	35	3,00	45	16,80
6	3,60	16	9,00	26	12,00	36	8,00	46	11,20
7	14,80	17	1,60	27	35,20	37	80,00	47	1,40
8	0,80	18	7,20	28	5,80	38	1,10	48	0,70
9	1,80	19	0,50	29	18,60	39	1,20	49	18,00
10	10,00	20	18,00	30	6,00	40	7,60	50	0,30

5.4. KISITLAR

Yol zemini taş ile kaplı olan bölgelerde yol kısıtı katsayısı 1,5 olarak, yolun bir kısmı taş kaplama ve bir kısmı diğer kaplama malzemeleri ile kaplı olan yollarda 1,2 ve zemini taş kaplama olmayan yollarda ise 1,0 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.5.d. Müşteri lokasyonlarına ait kısıt değerleri.

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
26	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
27	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
28	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
29	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
31	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
32	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
33	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
34	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
35	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
36	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
37	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
38	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
39	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
40	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
41	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
42	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
43	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
44	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
45	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
46	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5
47	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5
48	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5
49	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0

Müşteri lokasyonları arası kısıt değerleri Çizelge 5.5’de verilmiştir. Çizelge 5.5.a’da ise 10 ve 12 nolu müşteri lokasyonları arası örnek kısıt değeri (1,0) gösterilmiştir.

5.5. TAGUCHI DENEY TASARIMI VE DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Kaliteyi geliştirmek için gerçek koşullar altında, temel fonksiyonları ideal fonksiyonlara yaklaştırmak amacıyla parametre tasarım yöntemlerinin uygulanması gerekir [71]. Bu kapsamda Taguchi yöntemi mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Taguchi yöntemi, Genichi Taguchi tarafından kaliteyi artırmak için geliştirilen istatistiksel bir yöntem olup sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı prosedürlerini içerir. Taguchi yöntemi, çeşitli koşullar altında sürekli ve optimal bir şekilde çalışan süreçlerin tasarlanması için güçlü ve etkili bir yöntem sağlar. Taguchi deney tasarımı yaklaşımının, istatistik konusunda sınırlı bilgisi olan kullanıcılar tarafından uygulanması ve benimsenmesi oldukça kolay olduğundan mühendislikte ve bilimsel topluluklarda geniş bir popülerlik kazanmıştır [72].

5.5.1. Taguchi Deney Tasarımı İle Parametrelerin Belirlenmesi

Genetik Algoritma ile yapılacak deneysel çalışmalar için öncelikle en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle Çizelge 5.6’de verilen parametreler ve faktör seviyeleri kullanılarak GA ile 100’ün üzerinde çalışma gerçekleştirilmiş ve en iyi sonuçların Çizelge 5.7’de verilen parametre ve faktör seviyeleri ile yapılan çalışmalarda yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

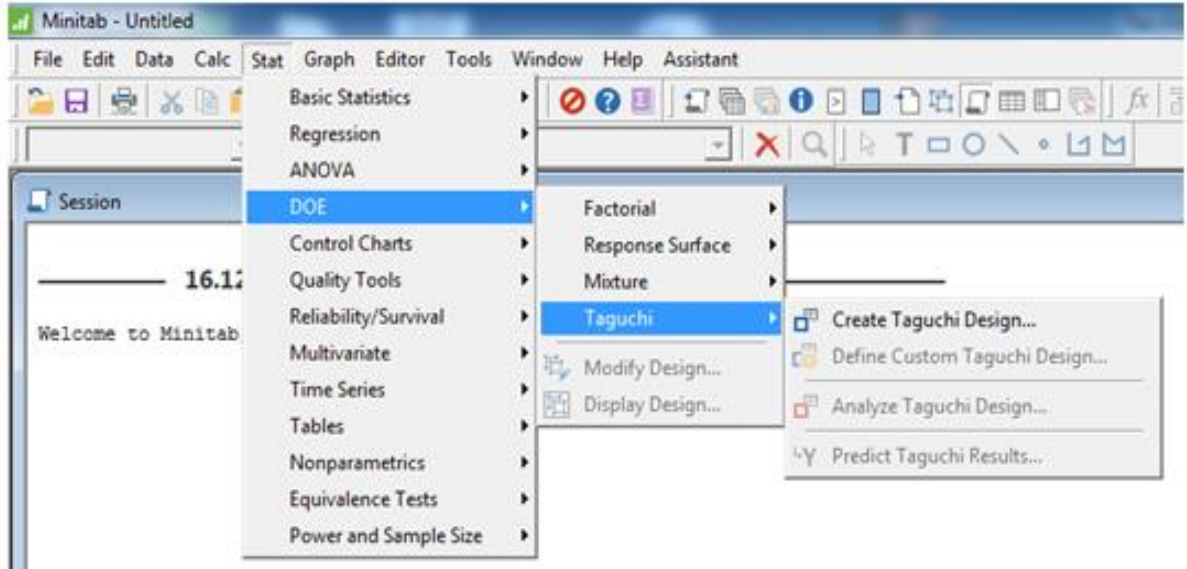
Çizelge 5.6. Parametreler ve faktör seviyeleri (4x6).

Parametreler	Faktör Seviyeleri					
	1	2	3	4	5	6
Popülasyon Büyüklüğü	10	20	30	40	50	60
Mutasyon Oranı	0.10	0.20	0.30	0,01	0,02	0,03
Çaprazlama Oranı	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
İterasyon Sayısı	2000	3000	5000	7000	9000	10000

Çizelge 5.7. Parametreler ve faktör seviyeleri (4x3).

Parametreler	Faktör Seviyeleri		
	1	2	3
Popülasyon Büyüklüğü	30	40	50
Mutasyon Oranı	0.10	0.20	0.30
Çaprazlama Oranı	0,10	0,20	0,30
İterasyon Sayısı	2000	3000	5000

Genetik Algoritma ile yapacağımız rotalama çalışmalarında kullanmak üzere en uygun parametre değerlerinin bulunması için Çizelge 5.7'deki parametreler ve faktör seviyeleri kullanılarak minitab programı (Versiyon 17) ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmada 4 parametre ve 3 faktör seviyesi kullanılacaktır. Diğer bir deyişle $P=4$ (Parametre Sayısı) ve $S=3$ (Seviye sayısı) alınacaktır. Bu değerleri Çizelge 5.8.'da verilen Ortogonal Dizi Seçim Tablosundaki değerlerle karşılaştırdığımızda deney sayısını $L=9$ olarak buluruz. Dokuz adet deneysel çalışmada kullanacağımız parametrelerin kombinasyonunu bulmak için Minitab programında Stat menüsü altında yer alan DOE, Taguchi ve Create Taguchi Design işlem adımları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1. Minitab işlem adımları.

Çizelge 5. 8. Ortogonal dizi seçim tablosu.

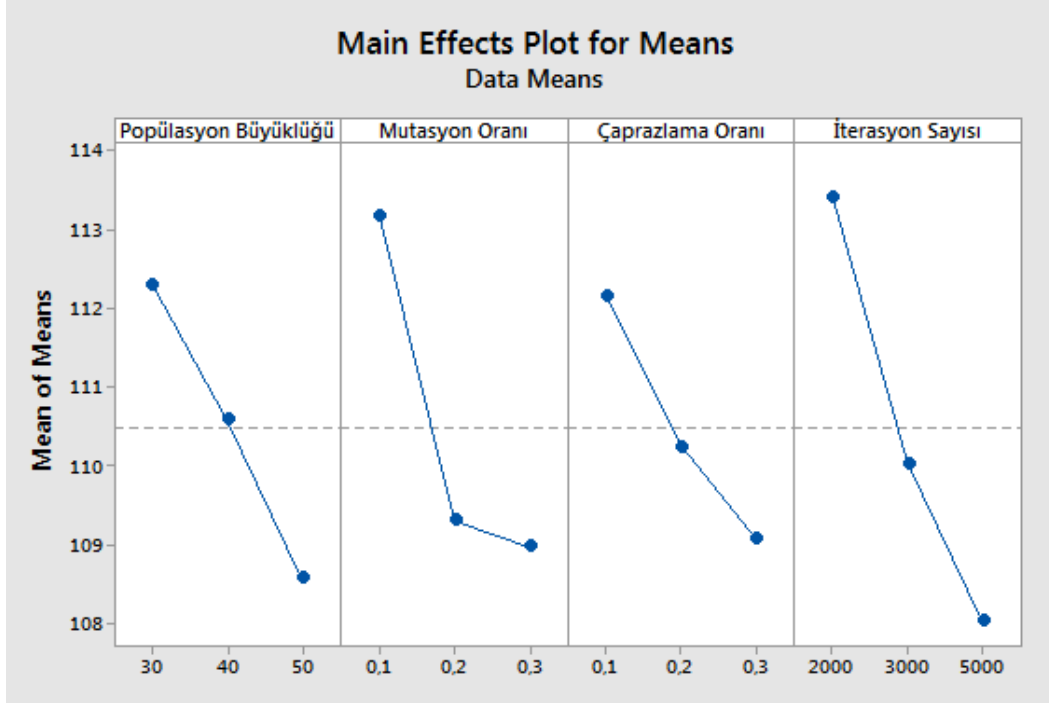
		Seviye Sayısı						
		2	3	4	5			
Parametre Sayısı	P=2, S=2	L4	P=2, S=3	L9	P=2, S=4	L16	P=2, S=5	L25
	P=3, S=2		P=3, S=3		P=3, S=4		P=3, S=5	
	P=4, S=2	L8	P=4, S=3	L18	P=4, S=4	P=4, S=5		
	P=5, S=2		P=5, S=3		P=5, S=4	P=5, S=5		
	P=6, S=2		P=6, S=3		P=6, S=4	P=6, S=5		
	P=7, S=2	L11	P=7, S=3	L27	P=7, S=4	L32	P=7, S=5	L50
	P=8, S=2		P=8, S=3		P=8, S=4		P=8, S=5	
	P=9, S=2		P=9, S=3		P=9, S=4		P=9, S=5	
	P=10, S=2		P=10, S=3		P=10, S=4		P=10, S=5	
	P=11, S=2	L16	P=11, S=3	L36	P=11, S=5			
	P=12, S=2		P=12, S=3		P=12, S=5			
	P=13, S=2		P=13, S=3		P=13, S=5			
	P=14, S=2	L32	P=14, S=3	L36	P=14, S=5			
	P=15, S=2		P=15, S=3		P=15, S=5			
	P=16, S=2		P=16, S=3		P=16, S=5			
	P=17, S=2		P=17, S=3		P=17, S=5			
	P=18, S=2		P=18, S=3		P=18, S=5			
	P=19, S=2		P=19, S=3		P=19, S=5			
	P=20, S=2		P=20, S=3		P=20, S=5			
	P=21, S=2		P=21, S=3		P=21, S=5			
	P=22, S=2		P=22, S=3		P=22, S=5			
	P=23, S=2		P=23, S=3		P=23, S=5			
	P=24, S=2							
	P=25, S=2							
	P=26, S=2							
	P=27, S=2							
	P=28, S=2							
	P=29, S=2							
	P=30, S=2							
	P=31, S=2							

Taguchi Deneş tasarımı ile gerekleştirilen bu işlem adımları sonrasında en uygun popülasyon sayıları, mutasyon oranları, çaprazlama oranları ve iterasyon sayılarına yönelik kombinasyonlar elde edilmiştir. Bu kombinasyonlar izelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Taguchi deneş tasarımı ile elde edilen parametreler.

D. N.	Popülasyon	Mutasyon	aprazlama	İterasyon	Sonuçlar (kW)
1	30	0,1	0,1	2000	119,54
2	30	0,2	0,2	3000	110,42
3	30	0,3	0,3	5000	106,92
4	40	0,1	0,2	5000	110,56
5	40	0,2	0,3	2000	110,90
6	40	0,3	0,1	3000	110,28
7	50	0,1	0,3	3000	109,38
8	50	0,2	0,1	5000	106,60
9	50	0,3	0,2	2000	109,74

Genetik Algoritma ile yapacağımız uygulamalarda kullanacağımız en iyi parametre değerlerini belirlemek için izelge 5.9’da verilen parametre değerleri kullanılarak Genetik Algoritma ile 9 adet (L=9) deneşsel çalışma gerçekleştirilmiş ve her bir deneşsel çalışmada genetik algoritma 50’şer kez çalıştırılmıştır. Elde edilen ortalama sonuçlar izelge 5.9’da ‘‘Sonuçlar’’ sütünunda verilmiştir. Bu sonuç değerlerini Minitab programı ile Taguchi Deneş Tasarımı kapsamında yürüttüğümüz ‘‘Create Taguchi Design’’ işlem sürecindeki tabloda ‘‘Sonuçlar’’ sütünuna girerek gerekli işlemleri gerçekleştirdikten sonra şekil 5.2’de gösterilen parametre değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.2. Parametre değerleri tablosu.

Amacımız minimum yakıt ile dağıtım işlemini gerçekleştirmek olduğu için grafikte gösterilen ortalama çizgisinin en altında yer alan parametreler alınmıştır. Bu kapsamda popülasyon sayısı 50, mutasyon oranı 0,3, çaprazlama oranı 0,3 ve iterasyon sayısı 5000 alınmıştır. Nitekim, ortalama çizgisinin üzerindeki parametre değerlerini kullandığımızda, ortalama çizgisinin en altında yer alan parametre değerlerini kullanarak bulduğumuz 104,02 değerinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

5.6. DENEYSEL SONUÇLAR

Minitab ile bulduğumuz parametre değerlerini kullanarak Genetik algoritma ile yapılan uygulama sonucunda, dağıtımda harcanan enerji miktarı ortalaması 104,02 kW olarak bulunmuştur. Çizelge 5.9’da bulduğumuz ortalama değerlere baktığımızda en düşük değerin sekizinci deneysel çalışmaya ait olan 106,60 olduğunu görürüz. Bu durum bizlere Taguchi Yöntemi ile bulduğumuz nihai parametre değerlerine yönelik kombinasyonun Çizelge 5.9’da verilen kombinasyonlardan daha uygun bir sonuç verdiğini göstermiştir. Bu

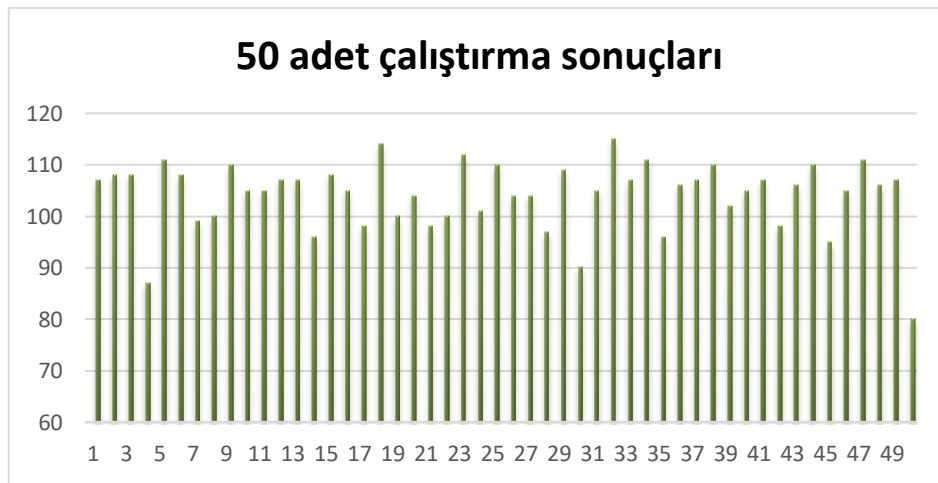
kapsamda parametre değerlerinin belirlenmesinde Taguchi Yönteminin kullanılması yerinde bir karar olmuştur.

Taguchi yöntemi ile bulduğumuz parametre değerlerini kullanarak GA ile yaptığımız 50 adet çalıştırma sonucu elde edilen sonuçlar Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Harcanan enerji miktarı sonuçları (kW).

Ç.N.	Sonuç	Ç.N.	Sonuç	Ç.N.	Sonuç	Ç.N.	Sonuç	Ç.N.	Sonuç
1	107	11	105	21	98	31	105	41	107
2	108	12	107	22	100	32	115	42	80
3	108	13	107	23	112	33	107	43	106
4	87	14	96	24	101	34	111	44	110
5	111	15	108	25	110	35	96	45	95
6	108	16	105	26	104	36	106	46	105
7	99	17	98	27	104	37	107	47	111
8	100	18	114	28	97	38	110	48	106
9	110	19	100	29	109	39	102	49	107
10	105	20	104	30	90	40	105	50	98
Ortalama									104,02

Çizelge 5.10'da verilen 50 adet çalıştırma sonucu değerleri grafiksel olarak Şekil 5.3'de ayrıca gösterilmiştir. Grafikteki dikey değerler enerji miktarını (kW), yatay değerler ise çalıştırma numarasını göstermektedir. Bu grafikte, dağıtımda harcanan en düşük enerji miktarı 42 nolu çalıştırmaya ait 80 kW değeridir.



Şekil 5.3. 50 adet çalıştırma sonucu elde edilen değerler grafiği.

Amaç fonksiyonumuz minimizasyon (en az enerji ile tüm müşteri lokasyonlarının dolaşılması) olduğu için en düşük değerin 42 nolu çalıştırma sonucu elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle en iyi sonuç 80 kW olarak alınmıştır.

50 adet çalışmanın aritmetik ortalaması 104,02 ve standart sapması 6,79'dur.

Dağıtımda mazotlu araç kullanılması durumunda ise dağıtım aracının tüketeceği yakıt miktarını hesaplamak için Eşitlik 4.1'de yer alan ETK (0,3) yerine YTK (0,1) kullanılmıştır. Bu şekilde dağıtım aracının mazot miktarı 26,67 litre bulunmuştur.

1 kW için elektrik bedeli 1,72 TL'dir (<https://satis.powerenerji.com/1kw-kac-tl-elektrik-birim-fiyatlari>. Erişim: 11.12.2023/09:47). Dağıtımda toplamda 104,02 kW enerji tüketildiğinden günlük harcanan enerji bedeli; $1,72 \times 80 = 137,60$ TL'dir. Bir ayda 26 iş günü olduğunu dikkate aldığımızda aylık enerji bedeli; $137,60 \times 26 = 3577,60$ TL bulunmuştur. Mazotun 1 litresi 36,23 TL'dir (<https://www.tppd.com.tr/karabuk-akaryakit-fiyatlari/> Erişim: 11.12.2023/09:41). Dağıtımda 26,67 litre mazot tüketildiğinden yakıt bedeli; günlük $36,23 \times 26,67 = 966,25$ TL, aylık ise $966,25 \times 26 = 25122,50$ TL bulunmuştur. Bu kapsamda mazot ile elektrik enerjisi arasındaki aylık fiyat farkı; $25122,50 - 3577,60 = 21544,90$ TL olacaktır. Bu sonuçlara göre, dağıtımda mazotlu araç yerine elektrikli araç kullanılması durumunda aylık 21,544.90 TL tutarında bir kazanç elde edilecektir. Bu değerlere yönelik hesaplamalar Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Enerji/yakıt tüketim fiyat tablosu.

Enerji/Yakıt Türü	Birim	Birim Fiyatı (TL)	Günlük Tüketim Miktarı	Günlük Tüketim Fiyatı (TL)	Aylık (26 gün) Tüketim Fiyatı (TL)
Elektrik	kW	1,72	80	137,60	3577,60
Mazot	Litre	36,23	26,67	966,25	25122,50

BÖLÜM 6

TARTIŞMA ve SONUÇ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunu geleceğimizi yaşamsal açıdan tehdit eden en önemli küresel sorunlardan birisidir. Ulaşım sektörünün küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarının salınımında %29'luk bir paya sahip olması bu sektörde yapılacak olan çalışmaların, iklim değişikliği ile mücadeledeki önemini ortaya koymaktadır. Ülkemiz ulaşım sektöründe yük taşımacılığının önemli bir payı olup yük taşımacılığında karayolu taşımacılığı deniz, hava ve demiryolu taşımacılığına göre daha çok tercih edilmektedir. Ülkemizde 2014 yılı itibarıyla yurtiçi yük taşımacılığının % 89,5'i karayolu ile yapılmıştır. Ulaşım sektörünün küresel ısınmaya olan etkisini göz önüne aldığımızda bu sektördeki yeşil dönüşüm, iklim değişikliği ile mücadele açısından önemli katkılar sağlayacağı düşünülebilir. Bu çalışmada bir kargo firmasının, dağıtım filosunda mazotlu araç yerine elektrikli araç kullanması durumunda elde edeceği ekonomik kazanç görülmüştür. Bu kapsamda taşımacılık sektöründe elektrikli araç kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır. Ancak elektrikli araçların benzinli ve dizel araçlara göre daha az sürüş mesafesinin olması, sınırlı şarj yapısı, enerji tüketiminin yük ve yol eğimine bağlı olarak artması vb. nedenler, bu araçların yolda kalma riskini artırmakta ve bu durum elektrikli araçların lojistik sektöründe yaygınlaşmasını olumsuz olarak etkilemektedir. Elektrikli araçların yolda kalma riskini ortadan kaldırmak için bu araçların enerji tüketim durumlarına göre dağıtım rotalarının oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle elektrikli araç rotalama problemleri günümüz literatüründe yoğun bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda elektrikli araç rotalama problem çözümünde çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışma ile Safranbolu ilçesinde kargo taşımacılığı konu alınarak 50 adet müşteri lokasyonu belirlenmiş ve bu lokasyonlara ait güncel ve gerçekçi konum değerleri elde edilerek araç rotalama problemi Genetik Algoritma ile çözülmüştür. Safranbolu ilçesi Unesco Dünya Miras Listesinde olan ve sadece ülkemizde değil diğer birçok ülkede de tanınırlığı olan tarihi bir şehrimizdir.

Özellikle tarihi bölgedeki taş kaplama yolları adeta tarihin ayak izleri olmuştur. Bu nedenle bu yollar orijinal yapısını korumuş ve günümüze kadar ulaşmışlardır. Ancak bu yollar araç hızını olumsuz olarak etkilediğinden bu bölgedeki yakıt tüketimi normal yollara göre daha fazla olmaktadır. Tezimizde yol zemin durumları da göz önünde tutulmuş ve problem çözümünde kısıt olarak eklenmiştir.

Elektrikli araç rotalama problemine yönelik yaptığımız deneysel çalışmalarda Genetik Algoritma ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Dağıtım filosunda mazotlu araçlar yerine elektrikli araçlar kullanılması durumunda ekonomik açıdan önemli kazançlar sağlandığı görülmüştür. Bu kazanç, lojistik sektöründe elektrikli araç kullanımını daha cazip bir hale getirebilir, ulaşım sektörünün ve ulaşım sektöründe önemli bir yere sahip olan taşımacılık sektörünün CO₂ salınımına olan katkısını dikkate aldığımızda iklim değişikliği ile mücadele çalışmalarına da önemli katkılar sağlayabilir. Bu nedenle bu çalışmanın, elektrikli araç ile dağıtım yapan lojistik firmaları için yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Yapay zekâ teknolojisinin her geçen gün daha da gelişmesi nedeniyle önerilen yaklaşım büyük ölçekli daha karmaşık elektrikli araç problem çözümünde dikkate alınarak daha verimli sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Abid, M., Tabaa, M., Chakir, A. ve Hachimi, H., “Routing and charging of electric vehicles: Literature review”, *Energy Reports*, 8, 556-578 (2022).
2. Mavrovouniotis, M., Ellinas, G. ve Polycarpou, M., “Ant colony optimization for the electric vehicle routing problem”, *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence SSCI*, 1234-1241 (2018).
3. Xiao, Y., Zuo, X., Kaku, I., Zhou., S. ve Pan, X., “Development of energy consumption optimization model for the electric vehicle routing problem with time Windows”, *Journal of Cleaner Production* 225, 647-663 (2019).
4. Afroditi, A., Boile, M., Theofanis, S., Sdoukopoulos, E. ve Margaritis, D., “Electric vehicle routing problem with industry constraints: trends and insights for future research”, *Transportation Research Procedia* 3, 452-459 (2014).
5. Zhang, S., Gajpalb, Y., Appadoob, S., S. ve Abdulkaderb, M., M., S., “Electric vehicle routing problem with recharging stations for minimizing energy consumption”, *International Journal of Production Economics*, 203, 404–413 (2018).
6. Kocabey, S., “Elektrikli otomobillerin dünü, bugünü ve geleceği”, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(1), 16-23 (2018).
7. Chellaswamy, C. and Ramesh, R., “Future renewable energy option for recharging full electric vehicles”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 824–838 (2017).
8. Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F. ve Tırıs, M., “Elektrikli araçlar”, *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü*, Gebze (2003).
9. Karapınar, F. ve Daldaban, F., “Elektrikli Araçların şarj yöntemleri ve şarj istasyon tipleri”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 38(3), 549-556 (2022).
10. Dericioglu, C., Yirik, E., Unal, E., Cuma, M., U. Onur, B. ve Tumay, M., “A review of charging technologies for commercial electric vehicles”, *International Journal of Advances on Automotive and Technology Promech Corp.* Press, Istanbul, 2(1), 61-70 (2018).
11. Yazıcı, V. ve Özdemir, E., “Elektrikli araç şarj yöntemleri”, https://www.emo.org.tr/ekler/9c5dbdf6be2ec98_ek.pdf (Erişim Tarihi: 14.07.2023).
12. Pashaei A., Aydın E., Polat. M., Yıldırım E., Aydemir M., T., “Elektrikli araçlar için temassız güç aktarım sistemleri”, *EMO Bilimsel Dergi*, 6(11), 1-12 (2016).

13. Erhan, K., Ayaz, M. ve Özdemir, E. “Elektrikli Araç şarj istasyonlarının güç kalitesi üzerine etkileri”, *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, 1-5 (2013).
14. Keskin, M. ve Çatay, B., “Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows”, *Transportation Research Part C*, 65, 111-127 (2016).
15. Nurmhammed, M. ve Karadağ, T., “Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması ve enerji şebekesi üzerine etkisi konulu derleme çalışması”, *GU J Sci, Part A*, 8(2), 218-233 (2021).
16. Durmuş, F., S. ve Kaymaz, H., “Elektrikli araç şarj yöntemleri”, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi*, 3(2), 123-139 (2020).
17. Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J., E. ve Villegas, J., G., “The electric vehicle routing problem with nonlinear charging function”, *Transportation Research Part B*, 87-110 (2017).
18. Xiao, J., Du, J., Cao, Z., Zhang, X ve Niu, Y., “A diversity-enhanced memetic algorithm for solving electric vehicle routing problems with time windows and mixed backhauls”, *Applied Soft Computing*, 134, 1-14 (2023).
19. Koç, Ç. ve Özceylan, E., “Yeşil ve elektrikli araç rotalama problemleri üzerine bir literatür taraması ve araştırma öngörülleri”, *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 17 (1), 1041-1053 (2018).
20. Kumar, S., N. ve Panneerselvam, R., “A Survey on the vehicle routing problem and its variants”, *Intelligent Information Management*, 66-74 (2012).
21. Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Chung, S. H. ve Lam, H. Y., “Survey of green vehicle routing problem: Past and future trends”, *Expert Systems with Applications*, 41, 1118–1138 (2014).
22. Xiao, Y., Zuo, X., Kaku, I., Zhou., S. ve Pan, X., “Development of energy consumption optimization model for the electric vehicle routing problem with time Windows”, *Journal of Cleaner Production* 225, 647-663 (2019).
23. Bahramia, S., Nourinejad, M., Amirjamshidia, G. ve Roordaa, M., J., “The plugin hybrid electric vehicle routing problem: A powermanagement strategy model”, *Transportation Research Part C*, 111, 318–333 (2020).
24. Dişkaya, F. ve Erdal Dinçer, S., “Yeşil lojistik yönetiminde araç rotalama optimizasyonu için bir model önerisi”, *Beykoz Akademi Dergisi*, 6(1), 29-46 (2018).
25. Kabadurmuş, Ö. ve Erdoğan, M., S., “Karbon salınımını azaltan ve hizmet kalitesini arttıran iki amaçlı yeşil araç rotalama Problemi”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 103-112 (2023).

26. Şahin, Y., Karagül, K. ve Aydemir, E., “Heterojen filolu yeşil araç rotalama probleminin tavlama benzetimi yöntemi ile çözümü”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9, 65-82 (2021).
27. Zhenfeng, G., Yang, L., Xiaodan, J. ve Sheng, G., “The electric vehicle routing problem with time windows using genetic algorithm”, *IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference IAEAC*, Chongqing, China, 635-639 (2017).
28. Mavrovouniotis, M., Menelaou, C., Timotheou, S., Ellinas, G., Panayiotou C. ve Polycarpou, M., “A benchmark test suite for the electric capacitated vehicle routing problem”, *IEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Glasgow, UK, 1-8 (2020).
29. Utama, D., M., Fitria, T., A. ve Garside, A., K., “Artificial bee colony algorithm for solving green vehicle routing problems with time windows”, *J. Phys.: Conf. Ser.* **1933**, 1-6 (2021).
30. Yu, V., F., Susanto, H., Jodiawan, P., Ho, T., W., Lin, S., W. ve Huang, Y., T., “A simulated annealing algorithm for the vehicle routing problem with parcel lockers”, *In IEEE Access*, 10, 20764-20782 (2022).
31. Wang, Q., Peng S. ve Liu, S., “Optimization of electric vehicle routing problem using tabu search”, *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Hefei, China, 2220-2224 (2020).
32. Asghari, M., Mirzapour Al-e-hashem, S., M., J. ve Afshari, H., “Disruption management for the electric vehicle routing problem in a geographically flexible network”, *Expert Systems with Applications*, 214, 1-16 (2023).
33. Bassoa, R., Kulcsár, B., Egardt, B., Lindrotha, P. ve Sanchez-Diaz, I., “Energy consumption estimation integrated into the electric vehicle routing problem”, *Transportation Research Part D*, 69, 141-167 (2019).
34. Ünal, V., Yavrucu, E., Soysal, M. ve Çimen, M., “Elektrikli araçlar için dinamik gezgin satıcı problemi üzerine bir çalışma”, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 57(2), 970-996 (2022).
35. Goeke, D. ve Schneider, M., “Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles”, *European Journal of Operational Research*, 245(1), 81-99 (2015).
36. Zhang, L., Liu, Z., Yu, L., Fang, K., Yao, B. ve Yu, B., “Routing optimization of shared autonomous electric vehicles under uncertain travel time and uncertain service time”, *Transportation Research Part E*, 157, 1-21 (2022).
37. Zhou, B. ve Zhao, Z., “Multi-objective optimization of electric vehicle routing problem with battery swap and mixed time windows”, *Neural Computing and Applications*, 34, 7325–7348 (2022).

38. Jia, Y., H., Yi Mei, Y. ve Zhang, M., “A bilevel ant colony optimization algorithm for capacitated electric vehicle routing problem”, *IEEE Transactions on Cybernetics*, 52(10), 10855- 10868 (2022).
39. Dönmez, S., Koç, Ç. ve Altıparmak. F., “The mixed fleet vehicle routing problem with partial recharging by multiple chargers: Mathematical model and adaptive large neighborhood search”, *Transportation Research Part E*, 167 (2022).
40. Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., Pisacane, O. ve Suraci, S., “A three-phase matheuristic for the time-effective electric vehicle routing problem with partial recharges”, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 58, 95-102 (2017).
41. Urazel, B. ve Keskin, K., “Hybrid solution approach for electric vehicle routing problem with soft time-windows”, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 994-1006 (2021).
42. Hiermann, G., Puchinger, J., Ropke, S. ve Hartl, R., F., “The Electric Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations”, *European Journal of Operational Research*, 252, 995-1018 (2016).
43. Li, H., Li, Z., Cao, L., Wang, R. ve Ren, M., “Research on optimization of electric vehicle routing problem with time window”, *Research on Optimization of EVRPTW*, 8, 146707- 146718 (2020).
44. Mao, H., Shi, J., Zhou, Y. ve Zhang, G., “The electric vehicle routing problem with time windows and multiple recharging options”, *IEEE Access*, 8, 114864-114875 (2020).
45. Farahani, M., Zegordi, S., H. ve Kashan, A., H., “A tailored meta-heuristic for the autonomous electric vehicle routing problem considering the mixed fleet”, *IEEE Access*, 8207-8222 (2023).
46. Jie, W., Yang, J., Zhang, M. ve Huang, Y., “The two-echelon capacitated electric vehicle routing problem with battery swapping stations: Formulation and efficient methodology”, *European Journal of Operational Research*, 272, 879-904 (2019).
47. Cömert, S. E. ve Yazgan, H. R., “A new approach based on hybrid ant colony optimization-artificial bee colony algorithm for multi-objective electric vehicle routing problems”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 123 (2023) 106375.
48. Xiao, Y., Zhang, Y., Kaku, I., Kang, R. ve Pan, X., “Electric vehicle routing problem: A systematic review and a new comprehensive model with nonlinear energy recharging and consumption”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 1-21 (2021).
49. Çimen, M. ve Belbağ, S., “Elektrikli araç varsayımı altında sürdürülebilir dinamik araç rotalama problemleri: Karma tamsayılı doğrusal programlama tabanlı bir çözüm algoritması”, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 57(3), 1572-1592 (2022).

50. Aksoy, A., Ene Yalçın, S., Küçüköğlü, İ. ve Öztürk, N., “Elektrikli kamyonlar için açık uçlu rotalama optimizasyonu”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 1-10 (2018).
51. Hulagu, S. ve Celikoglu, H., B., “An electric vehicle routing problem with intermediate nodes for shuttle fleets”, *In IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(2), 1223-1235 (2022).
52. Lin, B., Ghaddar, B. ve Nathwani, J., “Vehicle routing problem with time windows”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 11528-11538 (2022).
53. Basso, R., Kulcsár, B. ve Sanchez-Diaz, I., “Electric vehicle routing problem with machine learning for energy prediction”, *Transportation Research Part B*, 145, 24-55 (2021).
54. Basso, R., Kulcsár, B., Sanchez-Diaz, I ve Qu, X., “Dynamic stochastic electric vehicle routing with safe reinforcement Learning”, *Transportation Research Part E*, 145, 1-21 (2022).
55. Yang, S., Ning, L., Tong, L., C. ve Shang, P., “Integrated electric logistics vehicle recharging station location–routing problem with mixed backhauls and recharging strategies”, *Transportation Research Part C*, 140, 1-27 (2022).
56. Kyriakakis, N., A., Stamadianos, T., Marinaki, M. ve Marinakis, Y., “The electric vehicle routing problem with drones: An energy minimization approach for aerial deliveries”, *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 1-17 (2022).
57. Çalışkan, F., Yüksel, H. ve Dayık, M., “Genetik Algoritmaların Tasarım Sürecinde Kullanılması”, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 6(2), 21-27 (2016).
58. Mitchell, M. ve Forrest, S., “Genetic algorithms and artificial life”, *Artificial Life*, 1: 267-289 (1994).
59. Katoch, S., Chauhan, S. S. ve Kumar, V., “A review on genetic algorithm: Past, present, and future”, *Multimedia Tools and Applications*, 80:8091–8126 (2020).
60. Şahin, Y., “Sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin gezgin satıcı problemi çözüm performanslarının kıyaslanması”, *BAİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(4), 911-932 (2019).
61. Emel, G., G. ve Taşkın, Ç., “Genetik algoritmalar ve uygulama alanları”, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, XXI (1), 129-152 (2002).
62. Şen, Z., “Genetik algoritmalar ve en iyileme yöntemleri”, *İstanbul: Su Vakfı* (2014).
63. İşçi, Ö. ve Korukoğlu, S., “Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama”, *Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 10, Sayı 2, 191-208 (2003).

64. Yücel, A., “Mesafe kısıtlı çok yönlü kümelenmiş açık araç rotalama probleminin genetik algoritma ile çözümü ve bir uygulama”, Doktora Tezi. *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı* (2016).
65. Kumar, A., Encoding schemes in genetic algorithm”, *International Journal of Advanced Research in IT and Engineering*, 2(3), 1-7 (2013).
66. Yurtçu, Ş., İçağa, Y., “Evrimsel algoritmaların inşaat mühendisliği sistemlerinde kullanımı”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 51-59 (2006).
67. Şahin, Y., “Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemlerin Gezgin Satıcı Problemi Çözüm Performanslarının Kıyaslanması”. *BAİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 19, Sayı: 4/Kış: 911-932 (2019).
68. Mathew, T. V., “Genetic algorithm”, *Indian Institute of Technology Bombay*, Mumbai-400076.
69. Okur, E., “Genetik algoritma ile araç rotalama probleminin çözümü ve bir uygulama denemesi”, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü* (2019).
70. Lambora, A., Gupta, K. ve Chopra, K., Genetic algorithm-a literature review”, *International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (Com-IT-Con)*, India, 14th -16th Feb, 380-384 (2019).
71. Taguchi, G. ve Tsai, S. C., “ *Quality Engineering (Taguchi Methods) For The Development Of Electronic Circuit Technology*”, IEEE Transactions on Reliability, Vol:444, No:2 (1995).
72. Karna, S. K. ve Sahai, R., “*An Overview on Taguchi Method*”, International Journal of Engineering and Mathematical Sciences, Volume 1 (2012).
73. İnternet: Dünyada Elektrikli ve Hibrit Araç Sayısı, <https://ev.hedef filo.com/ev-gundem/blog/yil-yil-elektrikli-arac-kullanım-oranları>
74. İnternet: Mercedes Sprinter Panelvan, <https://www.sifiraracal.com/mercedes-modelleri/sprinter-panelvan>.
75. İnternet: Elektrikli Araçlar, <https://ev.hedef filo.com/ev-nedir/elektrikli-araclar-hakkında>.
76. İnternet: Elektrikli Otomobil Türleri, <https://www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html>.

77. İnternet: Elektrikli Araba 100 Km'de Ne KadarYakar? <https://torasarj.com/haberler/elektrikli-araba-100-kmde-ne-kadar-yakar/>
78. İnternet: Ford-Transit-Transit Minibüs 2.2 TDCi (155 hp) Yakıt Tüketimi, <https://arabamkacyakar.com/ford/transit/ortalama-yakit-tuketimi/1332>
79. İnternet: Elektrik Birim Fiyatları, <https://satis.powerenerji.com/1kw-kac-tl-elektrik-birim-fiyatlari>.
80. İnternet: Akaryakıt Fiyatları, <https://www.tppd.com.tr/karabuk-akaryakit-fiyatlari/>

ÖZGEÇMİŞ

Yılmaz OLCAY lisans öğrenimini 1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde tamamlamıştır. Millî Eğitim Bakanlığı bünyesinde 17 yıl teknik öğretmen olarak görev yapmıştır. Daha sonra Safranbolu Belediyesine geçerek 12 yıl mühendis olarak görev yapmış ve sonrasında da Karabük Üniversitesine geçmiştir. Olcay, halen bu üniversitede görev yapmakta olup yerel, bölgesel, ulusal ve uluslararası birçok projede koordinatör ve araştırmacı olarak yer almış, bu projeler kapsamında uluslararası düzeyde hazırlanan üç adet kitabın bölüm yazarlığını yapmıştır. Ayrıca teknik öğretmen olarak görev yaptığı süreçte yazmış olduğu Kadastro Bilgisi isimli kitabı M. E. B. Talim ve Terbiye Kurulunun 08/05/2000 gün ve 83 sayılı kararı ile ders kitabı olarak kabul edilmiştir.