

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTRİKLİ KARGO TİCARİ ARAÇLARI İÇİN
ROTALAMA OPTİMİZASYONU

Hüseyin Feyzi KATAR

Yüksek Lisans Tezi

EKOBİLİŞİM ANABİLİM DALI

Ekobilisim

TEMMUZ 2023

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekobilişim Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ KARGO TİCARİ ARAÇLARI İÇİN ROTALAMA OPTİMİZASYONU

Tez Yazarı

Hüseyin Feyzi KATAR

Danışman

Doç.Dr.Mehmet YAZ

TEMMUZ 2023

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekobilim Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: ELEKTRİKLİ KARGO TİCARİ ARAÇLARI İÇİN ROTALAMA
OPTİMİZASYONU

Yazarı: Hüseyin Feyzi KATAR

İlk Teslim Tarihi: 10.06.2023

Savunma Tarihi: 10.07.2023

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç.Dr.Mehmet YAZ Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimler Yüksek Meslek Okulu	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Dr.Öğr.Üyesi Harun BİNGÖL Malatya Turgut ÖZAL Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr.Öğr.Üyesi Mehmet İlyas BAYINDIR Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Yüksek Meslek Okulu	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof.Dr.Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “ELEKTRİKLİ KARGO TİCARİ ARAÇLARI İÇİN ROTALAMA OPTİMİZASYONU” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

10.07.2023

Hüseyin Feyzi KATAR



ÖNSÖZ

Elektrikli araçların günümüzde artık hızla üretilmesi ile bu sektörde kendine sağlam yer bulmuştur. Ülkemizde dahil bir çok ülkede artık petrol türevli araçları bırakıp elektrikli araçlara yön vermiştir. Şarj alt yapısında gelişimi hızla devam ederken elektrikli araçlar her sektöre girmeye başlamıştır. Günümüzde ticaretin araçlar ile yapıldığını ve oldukça fazla maliyete neden olduğu görülmektedir. Bu çalışmada elektrikli araçların ticari araçları kullanılarak kargo dağıtımını kolaylıkla ve az maliyetle tamamlamaları sağlanacaktır. En kısa mesafe ve en iyi rotayla az enerji ile teslimat yapılmış olacaktır. Buda insanlar için temiz bir çevre aynı zamanda ekonomik bir katkısı olacaktır. Bu çalışmayla elektrikli araçların avantajları ile onlara olan ilginin dahada artması amaçlanıp elektrikli araç sektörünün ilerlemesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda şarj istasyon alt yapısının ülkemizde her alanda geliştirilmesi ve Elazığ ilinin bu konuda en ufak bir sorunu olmaması amaçlar arasında gelmektedir. Böylelikle enerji tüketimi ve çevreye zararın önüne geçilebilir.

Bu tez çalışmasında bilgi ve deneyimleri ile beni destekleyen ve her konuda yardımcı olan, sayın danışman hocam Doç.Dr. Mehmet YAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalar T.C Fırat Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulunun 18/03/2021 tarih ve 2021/04-40 sayılı izni ile gerçekleştirilmiştir.

Hüseyin Feyzi KATAR
ELAZIĞ, 2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Yeşil Lojistik Kavramı	2
1.2. Elektrikli Araçların Gelişimi ve Türleri.....	2
1.2.1. İçten Yanmalı Motorlu Hibrid Elektrikli Araçlar	3
1.2.2. Tamamen elektrikli olan araçlar	6
1.2.3. Akülü olan elektrikli araçlar	6
1.2.4. Yakıt hücreli elektrikli araçlar.....	7
1.2.5. Diğer elektrikli araçlar	7
1.3. Araç Rotalama Problemleri	7
1.3.1. Klasik Araç Rotalama Problemi (KARP).....	9
1.3.2. Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (ZKARP).....	9
1.3.3. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP)	9
1.3.4. Dağıtım ve Toplamalı araç Rotalama Problemleri (DTARP)	10
1.3.5. Stokastik Araç Rotalama Problemleri (SARP).....	10
1.3.6. Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP)	10
1.4. Genetik Algoritma Aşamaları.....	11
2. MODEL OLUŞTURMA	13
2.1. Elektrikli Kargo Araçlar İçin Çalışılan Model	13
2.2. Müşteri Sayı ve Belirlenen Konumların Senaryoları.....	18
2.2.1. 1. Senaryo.....	19
2.2.2. 2. Senaryo.....	22
2.2.3. 3. Senaryo.....	24
2.2.4. 4. Senaryo.....	26
2.2.5. 5. Senaryo.....	28
2.2.6. 6. Senaryo.....	30
2.2.7. 7. Senaryo.....	32
3. SONUÇ.....	36
ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ELEKTRİKLİ KARGO TİCARİ ARAÇLARI İÇİN ROTALAMA OPTİMİZASYONU

Hüseyin Feyzi KATAR

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Ekobilisim Anabilim Dalı

Temmuz 2023, Sayfa: x + 40

Dünya artık yenilenebilir enerjiye hızla geçmeye başlamıştır. Artık dünyada petrol kullanımı giderek azalmakta ve daha temiz ve sağlıklı ekosistem için çalışmalar hızla ilerlemektedir. Bu konu kapsamında elektrikli araçların gelişimi bayağı yol katetmiştir. Tüketim toplumunda yeri oldukça fazla olan ulaşımda artık elektrikli araçlar yer bulmaya başlamıştır. En fazla ulaşımda yer kaplayan ticari araçlar gün geçtikçe çevre kirliliğine fazlaca neden olup canlılara zarar vermektedir. Böylece fosil yakıtlarda tüketimi artmıştır. Bu tezde amacımız bunun önüne geçer elektrikli ticari araçlarla gidilebilecek en kısa ve tüketimi en aza indirerek çoğu yönden avantaj sağlanmasını oluşturmaktır. Bu tez çalışması ile günümüzdeki kargo şirketlerinin hem yenilenebilir enerji ile maliyeti indirip hem de zamandan tasarruf ederek gideceği yere en kısa zamanda gitmesi amaçlanmaktadır. Bu tezde, aracın şarj durumuna göre gidebileceği menzil göz önüne alınarak en uygun rota hesaplanarak optimum zamanda ve/veya enerji tüketimi ile hedefe gitmesi sağlanacaktır. Hesaplanacak rotalar mobil ortamda harita üzerinde kullanıcılara gösterilerek en uygun güzergah ile gideceği yere ulaşması sağlanmış olacaktır. Örnek olarak Elazığ il haritası üzerinde, belirlenen senaryolara göre optimizasyon amacıyla, hedef adreslere elektrikli bir ticari araç ile en kısa sürede teslimat yapıldığında ne kadarlık bir enerji tüketimi olacağı hesaplanmıştır. Bilgisayar ortamında yapılacak benzetimler aracılığı ile hesaplamalar yapılmıştır. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP), Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (ZKARP), Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP) gibi yöntemler kullanılmıştır. Ayrıca Google Maps gibi internet üzerindeki haritalama sistemleri kullanılmıştır. Aracın şarjına göre rotalamalar tamamlandığı zaman mobil uygulamalarda kullanmak üzere hedef konum paylaşımı yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama, EARP, Optimum, Optimizasyon, Menzil

ABSTRACT

ROUTING OPTIMIZATION FOR ELECTRIC CARGO COMMERCIAL VEHICLES

Hüseyin Feyzi KATAR

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Eco-informatics

July 2023, Pages: x + 40

The world has now started to rapidly switch to renewable energy. Now, the use of oil in the world is gradually decreasing and studies for a cleaner and healthier ecosystem are progressing rapidly. In this context, the development of electric vehicles has come a long way. Electric vehicles have begun to find a place in transportation, which has a great place in the consumer society. Commercial vehicles, which take up the most space in transportation, cause environmental pollution day by day and harm living things. Thus, the consumption of fossil fuels has increased. In this thesis, our aim is to prevent this and to create an advantage in most aspects by minimizing consumption and as short as possible with electric commercial vehicles. With this thesis, it is aimed that today's cargo companies will go to their destination as soon as possible by reducing the cost with renewable energy and saving time. In this thesis, the most suitable route will be calculated by taking into account the range that the vehicle can travel according to its state of charge, and it will be ensured that it goes to the destination at the optimum time and/or with energy consumption. The routes to be calculated will be displayed to the users on the map in the mobile environment, and it will be ensured that they reach their destination with the most suitable route. For example, on the Elazig province map, for the purpose of optimization according to the determined scenarios, how much energy consumption will be when the delivery is made to the target addresses by an electric commercial vehicle in the shortest time has been calculated. Calculations were made through simulations to be made in the computer environment. Methods such as Capacity Constrained Vehicle Routing Problem (KKARP), Time Constrained Vehicle Routing Problem (ZKARP), Electric Vehicle Routing Problems (EARP) were used. In addition, mapping systems on the internet such as Google Maps have been used. When the routings are completed according to the vehicle's charge, the target location will be shared for use in mobile applications..

Keywords: Vehicle routing, EARP, Optimum, Optimization, Apartment

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Elektrikli araç türleri	3
Şekil 1.2. Prototiplerde kullanılan Ford Transit Van modeli	3
Şekil 1.3. Bir seri hibrid elektrikli aracın iç yapısı	4
Şekil 1.4. Paralel hibrid elektrikli aracın yapısı	5
Şekil 1.5. Ford elektrikli ticari araç	6
Şekil 1.6 Araç rotalama problemleri çeşitleri (Weise ve diğerleri, 2010)	8
Şekil 1.7. Genetik Algoritma akış şeması	11
Şekil 1.8. Genetik Algoritma temel yapısı	12
Şekil 2.1. 1. Senaryo için seçilen müşteriler ve şarj istasyonu konumları	19
Şekil 2.2. 1. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW Olan Elektrikli Araç Rotası	20
Şekil 2.3. 1. Senaryo, Batarya Kapasitesi 41 KW Olan Elektrikli Araç Rotası	21
Şekil 2.4. 2. Senaryo için seçilen müşteriler ve şarj istasyonu konumları	22
Şekil 2.5. 2. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW Olan Elektrikli Araç Güzergâhı	23
Şekil 2.6. 3. Senaryo için seçilen müşteriler ve şarj istasyonu konumları	24
Şekil 2.7. 3. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW ve 41 KW Olan Elektrikli Araçların Güzergahı	25
Şekil 2.8. 4. Senaryo da seçilmiş olan müşterilerin konum ve şarj merkezlerin konumu	26
Şekil 2.9. 4. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW ve 41 KW Olan Elektrikli Araç Güzergahı	27
Şekil 2.10. 5. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları konumları	28
Şekil 2.11. 5. Senaryo, Batarya Kapasitesi 41 KW ve 22 KW Olan Elektrikli Araçların Rotası	29
Şekil 2.12. 6. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları Konumları	30
Şekil 2.13. 6. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW Olan Elektrikli Araç Rotası	31
Şekil 2.14. 6. Senaryo, Batarya Kapasitesi 41 KW Olan Elektrikli Aracın Rotası	32
Şekil 2.15. 7. Senaryo Seçilmiş Müşteri Konumları ve Şarj Merkezlerinin Konumları	33
Şekil 2.16. 7. Senaryo, Batarya Kapasitesi 41 KW Olan Elektrikli Araç Rotası	34
Şekil 2.17. Senaryo rota maliyet grafiği	35

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Model de Kullanılan Kümeler	14
Tablo 2.2. Model 'deki Karar Değişkenleri	14
Tablo 2.3. Model 'deki Değişkenler	14
Tablo 2.4. 1.Senaryonun Mesafeleri (km)	19
Tablo 2.5. 2.Senaryo Mesafeleri (km)	22
Tablo 2.6. 3.Senaryonun Mesafeleri (KM)	24
Tablo 2.7. 4.Senaryonun Konum Mesafeleri (km).....	26
Tablo 2.8. 5. Senaryonun Konum Mesafeleri (km).....	28
Tablo 2.9. 6.Senaryo Konum Mesafeleri (km).....	30
Tablo 2.10. 7.Senaryo Konum Mesafeleri (km).....	33

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

X_{ij}	: Düğüm
C	: Müşteri
S	: Şarj merkezi
D_i	: Batarya seviyesi
B	: Pil Kapasitesi
DA	: Başlangıç
n	: Düğüm sayısı

Kısaltmalar

CO2	: Karbondioksit
ARP	: Araç Rotalama Problemleri
KARP	: Klasik Araç Rotalama Problemleri
ZKARP	: Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri
KKARP	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri
DTARP	: Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemleri
SARP	: Stokastik Araç Rotalama Problemleri
EARP	: Elektrikli Araç Rotalama Problemleri
PARP	: Periyodik Araç Rotalama Problemleri
KM	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
KW	: Kilowatt
TL	: Türk Lirası

1. GİRİŞ

Tüm dünyada benzindeki fiyat artışı, benzinli araçların çevremize olumsuz şekilde verdiği kirlilik ve araçların fiyatlarının fazla olması benzinle kullanılan araçlara karşı ilgi alanının azaldığı görülmektedir. Benzinli araçlardaki zararlı gaz salınımı hem şirketlerin hem de insanların elektrikli araçlara olan isteğini arttırmıştır. Bu sera gazları ve CO2 sürümü git gide çoğalmakta ve dünyamıza her yeni gün fazlasıyla zararlar oluşturmaktadır. Bunun sonucunda dünya önü alınamayacak bir hasar yaratmaktadır. Eğer kontrol altına alınmaz ise dünyanın dengesi bozulacaktır. Dünyada birçok araç benzin gibi yakıtlar kullanmaktadır.CO2 salınımı en fazla ise ulaşımda oluşmaktadır.

Karbondioksit emisyonu ayrıca elektrik üretimiyle de fazlaca olmaktadır. Ulaşımdan sonra ise en büyük kategoride elektrik üretimidir. Dünyanın artan nüfusu sonucunda elektrik tüketimi artmak zorunda kalmış ve elektrik üretimi fosil yakıtlar ile olmaya başlamıştır. Fosil yakıtlara yönelimde CO2 salınımını arttırdığı için çevre kirliliği zaman ilerledikçe artmaya devam ederek çevreye zararlar vermektedir. İnsanların yaşadığı evlerde ısınma ve elektrik gereksinimlerinde tüketilen yakıtlarda karbondioksit miktarı daha da çoğalmaktadır. Tarımsal ve hayvansal üretim ise karbondioksit miktarının fazlalaşmasındaki bir başka nedendir. Ama tarımsal ve hayvansal üretim diğerlerine göre karbondioksit miktarını fazla arttırmamaktadır. CO2 miktarı çoğaldıkça, çevrenin bozulması fazlalaşmakta ve insanların sağlığına kalıcı olumsuzluklar vermektedir. İklimlerin seyrinde gitmemesi ve küresel ısınma faktörü çevrenin bozulmasına ve canlıların yaşamlarını azaltmakta ve ölümlere sebep olmaktadır. Bunun sonucunda canlıların sayılarının, türlerin yok olmasına sebep olurken bazende canlıların sayısının artmasına neden olmaktadır. Buda ekosisteme derin yaralar vermektedir. Karbondioksit salınımını günümüzde ülkeler çok fazla yollara başvurmaktadır. Ulaşımda yeşil lojistik kavramı oldukça başvurulan yöntem arasındadır. Bu CO2 salınımını elle tutulur miktarda azaltmaktadır. Böylelikle elektrikli araçlar kullanımını arttırmaya yönelik bir yöntem olmaktadır. Bu tez çalışması ile günümüzdeki kargo şirketlerinin hem yenilenebilir enerji ile maliyeti indirip hem de zamandan tasarruf ederek gideceği yere en kısa zamanda gitmesi amaçlanmaktadır. Bu tezde, aracın şarj durumuna göre gidebileceği menzil göz önüne alınarak en uygun rota hesaplanarak optimum zamanda ve/veya enerji tüketimi ile hedefe gitmesi sağlanacaktır. Hesaplanacak rotalar mobil ortamda harita üzerinde kullanıcılara gösterilerek en uygun güzergâh ile gideceği yere ulaşması sağlanmış olacaktır. Örnek olarak Elazığ il haritası üzerinde, belirlenen senaryolara göre en uygun şekle sokma amacıyla, hedef adreslere elektrikli bir ticari araç ile en kısa sürede teslimat yapıldığında ne kadarlık bir enerji tüketimi olacağı hesaplanacaktır. Bilgisayar ortamında yapılacak benzetimler aracılığı ile hesaplamalar yapılacaktır. Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (ZKARP), Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP), Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP) gibi yöntemler kullanılacaktır. Ayrıca Google Maps gibi internet üzerindeki haritalama sistemleri kullanılacaktır. Excel

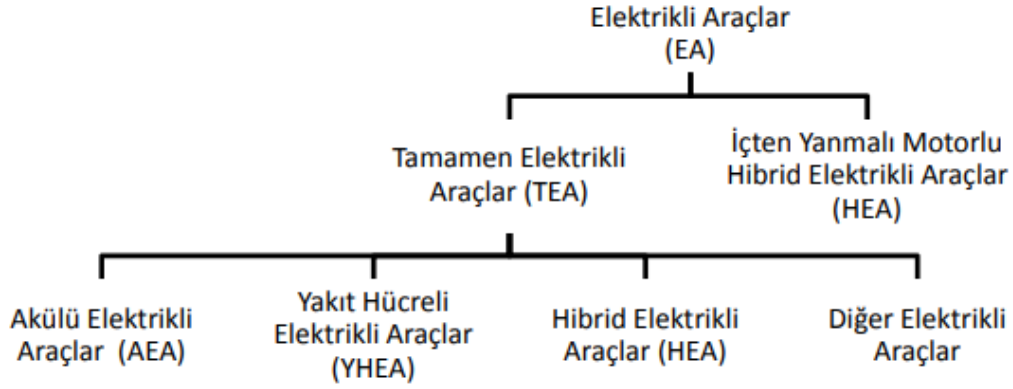
programında çözdürmelerle çalışılacaktır. Aracın şarjına göre rotalamalar tamamlandığı zaman mobil uygulamalarda kullanmak üzere hedef konum paylaşımı yapılacaktır.

1.1. Yeşil Lojistik Kavramı

Dünyada artık çevre kirliliğini önlemek ve benzinli araca olan alışkanlığı azaltmak için ülkeler birçok kanun ve düzenlemeler çıkarmaktadır. Bununla birlikte, ekonomik verim fazlalaşırken, benzinli arabalara olan zorunluluğu kaldırmak amacıyla yapılan çalışmaların ve yasaların ilerleyebilmesi adına ve iyi bir finansal sisteme destek vermektedirler. Günümüzde benzinli araçların en çok faydalandığı ulaşım yani taşımacılık sektöründe büyük önem kazanmaktadır. Taşımada az maliyetle kısa sürede verimi fazla şekilde bir malı istenilen yere taşınmasına önem verilmektedir. Bunun için son zamanlarda ortaya yeşil lojistik kavramı fazlaca karşımıza gelmektedir. Yeşil lojistik, lojistik işlemlerinin esnasında çevreye vermiş olduğu zararların hafifletmek ve de işlemlerin sürekli olarak yapılması söylenebilir. Devletler bu ilkenin yönelmesi için hem şirketlere hem de kişilere bazı teşvikler vermektedirler. Devletler yaptıkları yasa teklifleriyle olaya desteklerini göstermektedirler. Buna bir örnek verilirse İngiltere devletinin mecliste kabul ettiği kanunla 2050 yılına kadar sera gazı salınımını sıfıra indirmeye çalışılacaktır. İngiltere burada, endüstriye bir yeşil büyüme oluşturmak istediklerini söylemiş bu kavramın değerini ortaya koymuştur. Devletler sadece yasalarla bu gibi önlemler almayıp çevreye zararı minimum olan ürünlerinde almaya yönlendirmiştir. Devletlerin yaptığı bu olaylar elektrikli arabaların kullanımını yaygınlaştırarak elektrikli araçların geleceğine katkıda bulunmaktadır. Buda yeşil lojistik kavramının zamanla artarak yaygınlaşması ve kabul edilmesini sağlamaktadır. Bunlardan ötürü yeşil lojistik anlayışı, sadece firmalar anlamında değil tüm insanlar tarafından da kabullenmesi bayağı önemlidir.

1.2. Elektrikli Araçların Gelişimi ve Türleri

Elektrikli araçlar ilk olarak 1830 senelerinde sahneye çıkmıştır. 19.yüzyılının sonunda ise ticari kullanılabilen araçlar piyasada yer almaya başlamıştır. Elektrikli araçlar oldukça uzun geçmişe sahip olsa da benzinli ve motorinli araçların gerisinde kalmıştır. Bunun en büyük sebepleri başında elektrik enerjisinin depolanması problemidir. Son zamanlarda görüldüğü üzere elektrikli araçlar giderek önem kazanmaktadır. Bunun sebebi ise ekonomik ve çevre kirliliğine olumlu etkisinden dolayıdır. Elektrikli araçlar genel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlar Şekil 1.1 de gösterildiği üzere full elektrikli ve hibrid elektrikli araçlardır.



Full elektrikli araçlarda hibrid sistem uygulamalarında yakıt hücresi, süper kapasitörler ve akülerin birlikte kullanılır.

1.2.1. İçten Yanmalı Motorlu Hibrid Elektrikli Araçlar

Hibrid elektrikli araçlar adı altında günümüzde bilinmektedir. Piyasada konvansiyonel içten yanmalı motorları ile birlikte elektrik motorunun da kullanılması sonucu üretilen araçlardır. Hibrid denmesinin nedeni bu yüzdendir. İki farklı enerji türünün birlikte kullanıldığı araçlar için kullanılır. Hibrid araç dendiği vakit akla ilk içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birlikte kullanıldığı araçlar gelmektedir. Bu araçlar tamamen elektrikli araçlara dönüş aşamasında bayağı başarı sağlamaktadır. İlk kez hibrid aracı üretilen Toyota firmasıdır ve piyasaya Prius modelini sürmüştür. Şekil 1.2 de gösterilen bu araç piyasadaki başarılı etkisiyle elektrikli araçların piyasalarda yer almasını oldukça hızlandırmıştır. Kargo ticari araçlarda geliştirilmekte olup piyasaya birçok bu yönde araçlar sürülmüştür.

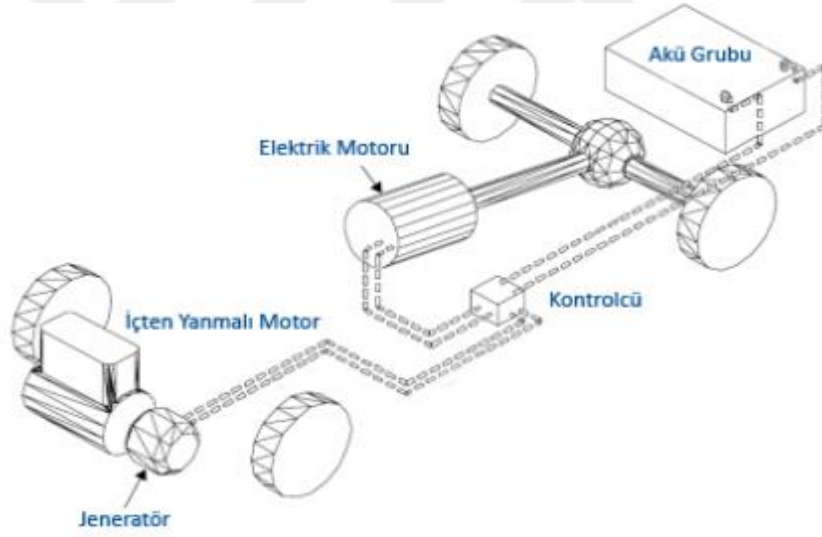


Şekil 1.2. Prototiplerde kullanılan Ford Transit Van modeli

Hibrid elektrikli araçlar elektrik motoru ve içten yanmalı motorun kullanım şekillerine göre 3 farklı çeşit de ayrılmaktadır. Bu çeşitleri aşağıda verilmiştir.

- Seri Hibrid
- Paralel Hibrid
- Seri-Paralel Hibrid

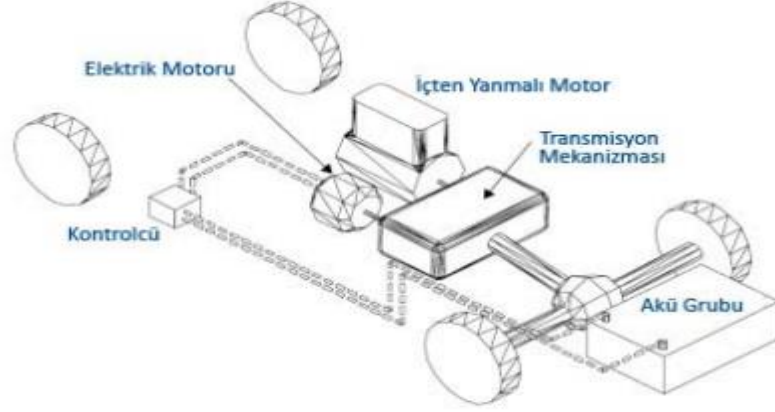
Bunların arasında ilkel şekilde olan seri hibrid olarak biliniyor. Bu araçlarda tahrik, bir ya da daha fazla elektrik motoru ile olmaktadır. Burada içten yanmalı motor sadece akülerin şarj edilmesi için kullanılmaktadır. Burada motor bir jeneratöre bağlı olup akülerin şarjını sağlamaktadır. Seri hibrid araçların kontrolü basittir. Basit yapıda olduğundan en çokta tercih edilen bir araçtır. Bu türde elektrik motoru yüksek güçlü olmalıdır. Bunun sebebi tahrik elektrik motorundan sağlandığı içindir. Tabi buda bu türün dezavantajı olmaktadır. Ayrıca enerji akış yolu üstündeki öğelerin sayısı arttıkça verim de azalmaktadır. Şekil 1.3'de seri hibrid elektrikli aracın yapısını görselleştirilmiştir.



Şekil 1.3. Bir seri hibrid elektrikli aracın iç yapısı

Paralel hibrid araçlarda ise hem elektrik motoru ve içten yanmalı motor birlikte ya da tek başına çalışmasını sağlamaktadır. Bu araçlarda tahrik motorunun çeşitli oluşu bu araçların avantajı olarak göze çarpmaktadır. Hem içten yanmalı motor hem de elektrik motorunun tahrik motoru olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu türdeki araçların motoru diğerlerine göre daha düşük güce sahip motorlar seçilebilmektedir. Buda motorun küçük seçilmesini bunla beraberde maliyetin azalmasını sağlamaktadır. Düşük hızlarda ise sadece elektrik motoruyla tahriği sağlanmaktadır. Fakat güce ihtiyaç arttığında veya yüksek hızlarda içten yanmalı motor kullanılmaya başlanmaktadır. Bunun amacı ise hem elektrikli motorun hem de içten yanmalı motorun en iyi en verimli bölgelerinde

çalışmasını sağlayabilmektedir. Bunun etkisiyle enerji verimliliği artmakta ve emisyon gazı salınımlarının azaltılmasına yarar sağlanmış olmaktadır.



Şekil 1.4. Seri-Paralel hibrid elektrikli aracın yapısı

Şekil 1.4 de gösterilen Seri-Paralel hibrid araçlar hem seri hem de paralel durumları aynı anda kullanabilmektedir. Diğer türlere göre daha kompleks bir yapıda olan bu tür araçların yerine paralel hibrid araçların çalışma durumlarının çeşitlendirilmesi daha ekonomik seçenek olabilmektedir. Hibrid elektrikli araçlar farklı yapılarda çok seçenekli bir kullanım hizmeti sunmaktadır. Aşağıda bunlar verilmektedir.

- Sadece İçten Yanmalı Motor
- Sadece Elektrik Motoru
- Asist Modu
- Paralel Şarj Modu
- Seri Şarj Modu
- Otomatik Açma/Kapama Özelliği
- Geri Kazanımlı Frenleme

Günümüzde hibrid elektrikli araçlar full elektrikli araçlara geçişinde fazlasıyla iyi performans vermektedir. Hibrid elektrikli araçlar kısmen de olsa elektrik enerjisini tahrik mekanizmalarında kullandıklarından dolayı Kısmen Sıfır Emisyonlu Araç (Partially Zero Emission Vehicle - PZEV) olarak sınıflandırılabilirler.

1.2.2. Tamamen elektrikli olan araçlar

Tamamen elektrikli araçlar Fully Electric Vehicle (FEV) olarak da adlandırılmaktadır. Tahrik kuvvetini yalnızca elektrik motorundan karşılayan ve enerjisi kaynağı olarak fosil yakıtları kullanmayan araçlardır. Bu araçlara Sıfır emisyonlu araçlarda denmektedir. Bu şekilde anılmasının sebebi ise tahrik motoru olarak yalnızca elektrik motoru kullanmasıdır. Enerji kaynağı olarak aküler, yakıt hücresi, güneş panelleri ve süper kapasitörler gibi farklı kaynaklar tek başına ya da birlikte kullanılabilirlerdir.

1.2.3. Akülü olan elektrikli araçlar

Akülü elektrikli araçlar bu adla bilinmektedir. Tahrik oluşturmak için gereken enerjiyi akülerden karşılamaktadır. Bu aküleri ise evlerde, şarj merkezlerinde veya otoparklarda şebekelerden bağlanıp temin etmektedir. Ayrıca şarj merkezlerinde akülerin değişimleri de sağlanmaktadır. Bilindiği üzere elektrikli araçların şarjlarının dolumu uzun sürmektedir. Bu istasyonlarda isteğe bağlı şarj işlemi beklemekten azalmış akülerin yerine dolu olan akülerle değişimler yapılabilmektedir. İlk elektrikli araçlar şarjı mümkün olmayan akü grubundan oluşmaktadır. Ama akü teknolojisinin gelişimi oldukça ilerledikten sonra bu sorun çözümlenmiş oldukça fazla gelişim sağlanmıştır. Günümüzde ise akülerin enerjilerinin yoğunluğu ve akünün şarjının daha hızlı yapılmasını sağlaması için pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Bu araçların en yaygın sorunu şarj edilebilmesi sorunu olmaktadır. Çoğu yerde şarj istasyonlarının bulunmaması bu sorunu ortaya çıkarmaktadır. Ama günümüzde artık devletlerin buna yönelik çalışmalarıyla bu sorunda geride bırakılacaktır. Bu araçların bir avantajı ise şebeke prizinden şarj edilebilme özelliği olarak karşımıza gelmektedir. Elektrikli araçların en önemli avantajlarından biri olan rejeneratif frenleme ile aracın menzili arttırılabilmektedir. Piyasada olan araçlardan biri ise Şekil 1.5 de gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Ford elektrikli ticari araç

1.2.4. Yakıt hücreli elektrikli araçlar

Yakıt hücreli otomobil, elektrik motorunu çalıştırmak için bir yakıt hücresi kullanan veya bir akü veya süper kapasitörle birlikte kullanan bir elektrikli otomobil türüdür. Araçlardaki yakıt hücreleri, genellikle havadan oksijen ve sıkıştırılmış hidrojen kullanarak motora güç vermek için elektrik üretir. Henüz piyasada çok olmasa da geleceğin en önemli otomotiv teknolojileri arasında gösterilmektedir. Günümüzde maliyeti fazla olmasına rağmen yavaştan da olsa elektrikli arabalar sahnesinde kendine yer bulmaya devam etmektedir.

1.2.5. Diğer elektrikli araçlar

Elektrikli araçlarda farklı enerji kaynaklarının da kullanıldığı başka türleri de bulunmaktadır. Diğerleri gibi yaygın olmasada gelişmeye açık ve giderek artan çalışmalara sahip yapıda bulunmaktadır. Çoğunlukla güneş enerjisi kullanılarak projelendirilmektedir. Gelecekte bu tür elektrikli araçların günümüzde yaygın olması ön görülmektedir.

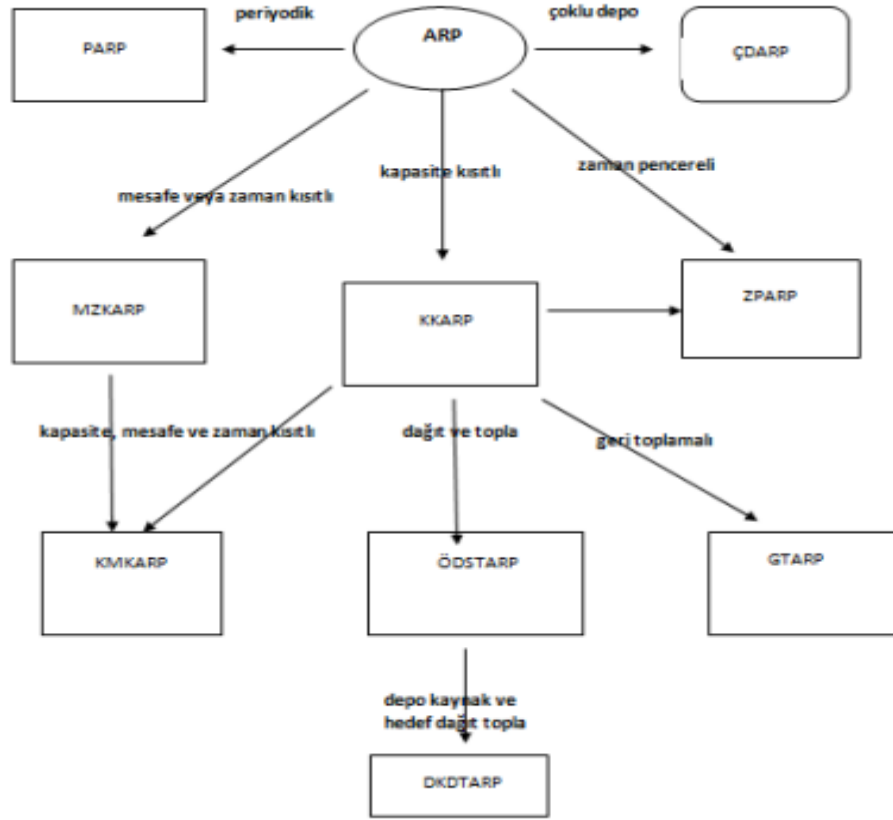
1.3. Araç Rotalama Problemleri

Araç rotalama problemi (ARP) ile uzun yıllardır bu alanda çalışmalar yapılmaktadır. İlk olarak yıl 1959 da Dantzig ve Ramser bu alanda çalışmıştır. Dantzig ve Ramser yapmış olduğu çalışmayı 1964 de Clarke ve Wright geliştirerek klasik tasarruf metodunu meydana getirmişlerdir. Bundan sonra ise ARP'nin farklı çeşidine alternatif üretmek için fazlaca farklı model ve algoritma sunulmuştur. Araç rotalama problemi oldukça ilgi çekici olduğundan dolayı çok sayıda çalışmacının ilgi odağı olmuştur. ARP k tane araç rotası oluşturulması ile alakalıdır. Bu güzergahlar ilk olarak ana depodan başlatılıp alt kümesindeki müşterilere belirli sırayla giderek ana olan depoya tekrardan geri dönmesiyle oluşmaktadır. Her müşteriler k noktalarından birinde bulunmalıdır. Müşteri atanan her araçta toplam olan dağıtım miktarı aracın kapasitesine uygun olmalı ve geçmemelidir. Bu problemin temel amacı ise toplamda olan maliyeti azaltmak ve kullanılacak araçları küçültmek için aynı zamanda en kısa olan mesafeden giderek zamanında hedefine ulaşmaktır. Yan olan amaç ise müşteriyi en yüksek derecede memnun etmektir.

Araç rotalama probleminin kısıtları üç ana grupta toplanabilmektedir. Bunlar araçlarla ilgili kısıtlar, müşterilerle ilgili kısıtlar ve diğer kısıtlardır. Araçlarla ilgili kısıtlar ise zaman kısıtı aracın kapasitesi ve çalışma saatlerinin yasal kısıtlamasıdır. Müşterilerle olan ise her bir müşterinin belirli çeşitte ürün dağıtılması ve bir türden ürün talebinde bulunmasıdır. Buna örnek olarak lojistik şirketleri verilebilir. Dağıtımında yapılması için belirli aralıktaki zamanda bulunmasıdır. Diğer kısıtlar ise aynı aracı kullanarak aynı günün içerisinde aracın depoya dönüp yeniden yola çıkmasıyla birden fazla tur yapması, yapılan bir turun bir gün içinde bitmemesi ve birden çok depo olmasıdır. Bir ARP aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

- Tüm müşterilerin talepleri karşılanması gerekir.
- Her müşteri sadece bir rotada olmalıdır.
- Belirlenen bir rotadaki müşterilerin sayısı o rotada bulunan aracın kapasitesinden az olmalıdır.
- Her rota depodan başlayıp depoda bitmelidir.
- Bir rotadaki toplam gidilen mesafe her zaman önceden belirlenen maksimum rota mesafesini aşmamalıdır.
- Bazı ARP çeşitlerinde araç sayısı olan m sabit iken, diğer çeşitlerde değişkendir.

Aşağıda verilen Şekil 1.6 da araç rotalama problemlerinin çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 1.6 Araç rotalama problemleri çeşitleri (Weise ve diğerleri, 2010)

Lojistik şirketlerin karmaşık ve zaman kaybettirici duruma gelmesi ile firma teslimatlarını çok dikkatli ve düzenli şekilde tamamlamaya başlamıştır. Firmalar dağıtım maliyetlerini en aza indirmek için dağıtımda en kısa mesafeyi kullanmayı amaçlamaktadır. Bu yüzden firmalar planlamasını buna göre yapmaktadır. Literatürde problemin adı ARP adı altında bilinmektedir. Fazlasıyla geniş bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. ARP, Gezgin Satıcı Probleminden türetilmiş olup firmanın tüm müşterilere gitmesi ve en az mesafe ile hedefe ulaşmasını planlamaktadır. ARP'deki temel amacın en kısa olan güzergâh ile maliyeti olumlu şekilde etkilemektir. ARP'de en kısa olan güzergâh bulunurken araç sayısı ile zaman gibi kısıtlar bulunmaktadır. İşte bu kısıtlar ARP'lerin farklı birer dallarını temsil etmektedir. Bu dallar ise aşağıda listelenmiştir.

1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP)
2. Stokastik Araç Rotalama Problemleri (SARP)
3. Klasik Araç Rotalama Problemi (KARP)
4. Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP)
5. Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (ZKARP)
6. Dağıtım ve Toplamalı araç Rotalama Problemleri (DTARP)

1.3.1. Klasik Araç Rotalama Problemi (KARP)

Burada amaç en az araç sayısı veya yakıt harcaması, aracı kullanan sürücülerin ücretleri gibi masrafların en aza indirilerek aracın depodan çıkarak talepleri karşılayıp geri depoya dönmesidir. Burada her gidilen müşteriye bir kez ve bir araç ile ziyareti yapılmalıdır. Bu işlem tüm müşterilerin ihtiyacı karşılanıp ana depoya geri dönmesi gereklidir.

1.3.2. Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (ZKARP)

Bunlar KARP'in bir uzantısıdır. Bu yöntem ARP'ler içinde kullanılan ikinci sıradadır. Müşterilerin çok geç olan ve çok erken olan servis vakitleri belirlenmiş olup bu zaman dilimlerinde müşteri talebini en minimum maliyetle karşılanması amaçlanmıştır.

1.3.3. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP)

Bu yöntem yaygın olarak kullanılan araç rotalama problemlerinden biridir. Aynı tip araçlarla aynı depodan müşterilere en az maliyetle rotalama yapmayı planlamak hedef alınmıştır.

1.3.4. Dağıtım ve Toplamalı araç Rotalama Problemleri (DTARP)

Bu yöntem ARP'in bir uzantısıdır. Bu problemde ilk olarak teslimatın yapılmasını ardından müşterilerden toplanmasını planlayan ve bunları en düşük maliyet ile gerçekleştirmesini amaçlayan yöntemdir. Depodan çıkış yapan araçlar her zaman buradan başlar buraya geri dönerler. Her seferdeki toplama ve dağıtım işleminde en düşük maliyetle bitirmek hedef olarak belirlenmiştir. Dağıtım ile toplama işlemleri bir araçla peş peşe yapılır. Ama birden fazla araçlarla da farklı aralıklarda gerçekleştirilebilir. Bu tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekilde sıralanabilir:

- Müşterilerin talepleri aracın kapasitesini aşmamalıdır.
- Araçların hepsi rotalarına depodan çıkış yapıp depoda bitirmelidir.
- Teslimatı yapılan müşteriden sonra tekrardan toplanmasının yapılması zorunludur.

1.3.5. Stokastik Araç Rotalama Problemleri (SARP)

Bu problemde bazı elemanları belirsiz olup bunlar üzerinden çözüme yapılmaya çalışılır. Bu belirsizlikler, düğümler arası yolculuk süreleri, gidilecek müşteri sayısı, müşterilerin talepleri olabilmektedir. Bu belirsizliklerden dolayı ilk çözüm aşamalarında aracın kapasitesi aşılabilmektedir. Bu durumda tekrardan başa dönülebilmektedir.

1.3.6. Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP)

Bu yöntemde teslimatlar elektrikli araçlarla yapıldığı için diğer tüm yöntemlerden farklıdır. Gün geçtikçe dünyamızda elektrikli araçlara olan ilgi artmaktadır. Buda doğamız için oldukça önemli bir gelişmedir. Bu yöntemde en önemli sorun elektrikli aracın çok uzak mesafelere gidecek kadar yapısı olmamasıdır. Bundan dolayı elektrikli araçlar şarj ihtiyacı duymaktadır ve şarj istasyonlarına gitmek zorunda kalmaktadır. Araçların bataryaları ve şarj tipleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bu araçların şarj giderlerinde şarj merkezinde geçirdiği zamana göre dakikası başına hesap edilerek maliyetine eklenmektedir. Elektrikli araç rotalama probleminde dikkat edilmesi gerekenler aşağıda listelenmiştir:

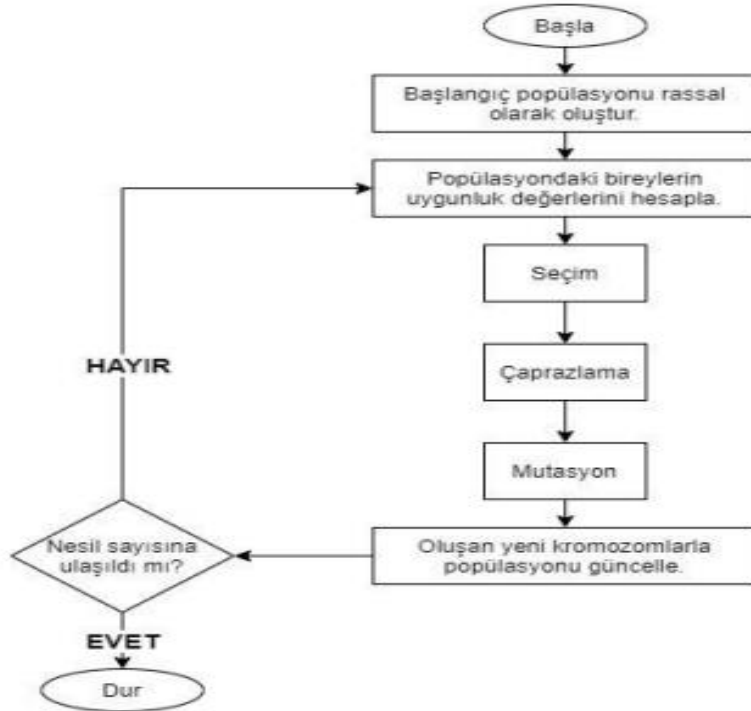
- Gideceği yeri pil gücüne göre ayarlamalıdır.
- Teslimatı aracın şarjının dolumu süresinde hesaba katarak yapılmalıdır.
- Her şarj merkezinde şarj tipleri aynı olmayabilir. Buda göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu tezde Elazığ ilinde bulunan ana depodan belirli müşterilere dağıtım yapılması karşılayan araç rotalama problemi ele alınmaktadır. Eşit kapasiteli araçların minimum mesafe kat ederek teslimatı hedeflenmektedir. Bu çalışmada metasezgisel yöntemler kullanılmıştır. Genetik

algoritmada yola çıkarak çalışılmıştır. Genetik algoritma ise çoğu yöntemler ile çözümü zorlaştıran karışık problemlerin çözümünde yaygınca ve hızlı doğru sonuçlar veren yöntemdir.

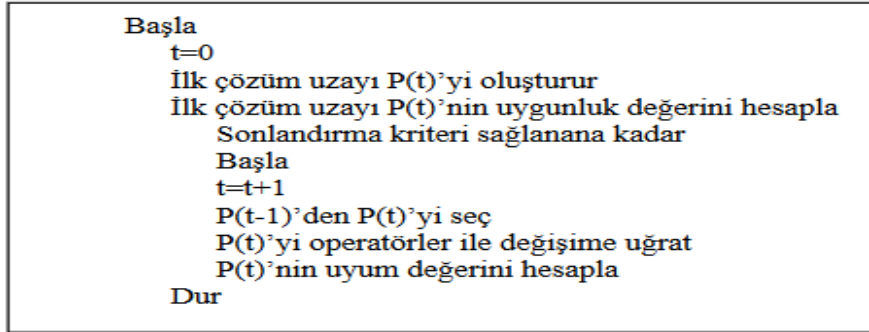
1.4. Genetik Algoritma Aşamaları

Öncelikle başlangıç aşaması olarak problemin karar değişkenlerinin olduğu n adet kromozomlu bir başlangıç topluluğu oluşturulmalıdır. Ardından ikinci aşama olan uyumluluk bütün kromozomlar için amaç değerleri bulunmalıdır. Üçüncü aşama olarak iki bireyin amaç değerleri doğrultusunda seçme operatörlerinden probleme en uygun olanın seçimi yapılmalıdır. Dördüncü aşamada ise çaprazlama olarak adlandırılır. Bu aşamada yapılacak olan amaç değerleri iyi olan bireylerin birbirleri ile eşleştirilerek yeni bireyler meydana getirilmelidir. Beşinci aşama ise mutasyon olarak isimlendirilmiştir. Burada ise mutasyonla karşılaşma olasılığına karşı gelmek amacıyla kromozomlarda olan bir bitin değiştirilmesidir. Bir sonraki aşama olan elitizm ise mevcut topluluktaki amaç değeri en iyi olan tamamıyla yeni bir topluluğa aktarımı yapılmalıdır. Yedinci aşamada yani yeni topluluk aşamasında yeni alınan bireylerin bir yerde toplanması eski bireylerin yok edilerek topluluktan atılmalıdır. Aşama sekiz sonuç olarak adlandırılır. Burada ise bu aşamalar sonucunda elde edilen değer istenilen değeri veriyor ise algoritma bitirilir. Genetik algoritması nerede duracağını bilmediği için ona göre bazı sınırlayıcılarla bunu sağlamış oluruz. Son aşama olarak döngü aşaması gelir. Buda algoritma başına dönerek yeni oluşum başlatır. Şekil 1.7. de akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Genetik algoritma akış şeması

Genetik algoritma için gerekli olan parametreler aşağıda ifade edildiği gibidir. Bunlardan ilk olanı gen yapısı ve kodlamadır. Probleme ait en küçük bilgiyi taşıyan birim gen olarak adlandırılır. Bu genleri programlayıcı tanımlamalıdır. İkinci olarak bir veya birden fazla gen yapısı bir arada toplanarak problemin çözümüne ait bilgilerin bir kısmını oluşturan dizilere kromozom denir. Kromozom, genetik algorithmada en önemli kısımdır ve bilgisayarda iyi ifade edilmelidir. Son parametre olarak da olası bir çözümlerin bir araya gelmesiyle oluşan popülasyonlardır. Bunların büyüklüğü çözümü etkilemektedir. Bireylerin sayısının fazlalığı çözümün süresini uzatmaktadır. Problemin özelliğine göre seçilecek olan popülasyondaki birey sayısı genetik algoritmayı hazırlayan kişi tarafından iyi belirlenmelidir. En uygun popülasyonu ise 10 ile 160 arasında belirlenmesi gerektiği söylenilmektedir. Genetik algoritmanın genel yapısı aşağıdaki Şekil 1.8 de gösterilmiştir.



Şekil 1.8 Genetik algoritma temel yapısı

Tezdeki amacımız ise elektrikli kargo araçlarını kullanarak maliyet ve zaman açısından karşılaştırmaktır. Bu çalışma günümüzde ilgisi artan elektrikli araçların araç rotalama problemleriyle Elazığ örneği üzerinden katkılar yapılacaktır. Bu yapılan çalışma Elazığ şehri için planlanmış ilk EARP olacaktır. İleriki çalışmalara çok önemli ve kalıcı katkılarda bulunacaktır. Bu tezde örnek olarak Elazığ il haritası üzerinde, belirlenen senaryolara göre en uygun şekilde sokma amacıyla, hedef adreslere elektrikli bir ticari araç ile en kısa sürede teslimat yapıldığında ne kadarlık bir enerji tüketimi olacağı hesaplanacaktır. Bilgisayar ortamında yapılacak benzetimler aracılığı ile hesaplamalar yapılacaktır. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi, Elektrikli Araç Rotalama Problemleri gibi yöntemler kullanılmıştır.

2. MODEL OLUŞTURMA

Çalışmanın bu bölümünde, birinci olarak çalışmada kullanılmış datalar anlatılmıştır. Yapılan modeller detaylı şekilde anlatılmıştır. Bundan sonraki aşamada ise, yapılan modeller ile analiz edilen senaryolar gösterilmiştir. Buradaki çalışmada kıyaslamanın sağlıklı ve gerçek yapılması için tezin çalışıldığı dönemdeki Eylül 2022 tarihindeki elektrikli aracın şarj maliyetleri alınmıştır. Bu tarihte alınan maliyet ise 6,5 ₺/kWh olarak belirtilmiştir. Bundan sonra elektrikli kargo araçlarının modelleri seçilmiştir. Bu seçilmiş araçların pil kapasitesi ve yakıtlarının tüketimi dikkat edilen konulardandır. Seçmiş olunan araçların farklı batarya kapasiteleri seçilmiştir. Pil gücü olarak 22 KW'lık bir araç ile 41 KW'lık bir araç modeli seçilmiştir. Birinci aracın kapasitesi 22 KW diğer aracın ise 41 KW olarak belirlenmiştir. Bunlar üzerinden testler yapılmıştır ve sonucu çıkan değerlere göre kıyaslamalar yapılmıştır.

2.1. Elektrikli Kargo Araçlar İçin Çalışılan Model

Burada 2018 yılında yapılan bir tezden örnek alınmıştır. Çalışma üzerinde hipotezler, datalar ve kurgulanmış senaryolarda değişimler yapılmıştır. Buradaki değişimlerde alt turların olmasını engellemede alt tur eklenmiştir. Burada tek bir tipte şarj kullanılmıştır. Değişkenler bu tek tip olan şarja göre yapılmıştır. Araçlar depodan ve şarj merkezinden her zaman tam dolu batarya ve dolu depo kapasitesi ile çıkış yapması zorunluluğu getirilmiştir. Araçlardaki kapasite aşılması göz önünde bulundurulduğu için bu kısıt kaldırılmıştır. Zaman kısıtlaması yoktur. Toplam olan tur ya da güzergâh miktarının en çok toplam düğüm adedinden bir eksiği olmalıdır.

Araçların kendi batarya kapasitelerinden dolayı depodan çıkıp teslimatın tamamını yapıp depoya geri gelmesi için yani tam turu tamamlayabilmesi için birkaç kez şarj merkezine uğrayabilir. Bu döngü sonucu şarj merkezine geldiğinde bir şarj etme maliyeti oluşacaktır. Bunun sonucunda toplam tur maliyeti ortaya çıkması ve hesaplanabilmesi için her şarj maliyetinin tek tek eklenmesi gerekmektedir. Bu durumu araç rotalama problemi modelinde aktarabilmek için belirlenmiş olan şarj merkezlerinin kopyaları meydana getirmiştir. Şarj merkezi ve o merkezin kopyalarının miktarı müşteri miktarına eşit olmalıdır. Burada hipotez her bir müşteriden sonra arabanın yeniden şarja ihtiyaç duyabilecek olmasıdır. Bu da elektrikli kargo araçlar aynı şarj merkezlerine birçok kez gelirken, her geldiğinde meydana gelecek maliyet de toplam maliyete eklenebilir. Model de kullanılan müşteri, şarj merkezleri ve kopyaları, çıkış deposu, geri dönüş deposu ve bunların sentezlenmesinin ifade edildiği kümeler, aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Tablo 2.1 modelde kullanılan kümeleri, Tablo 2.2 de ise modelin karar değişkenleri gösterilmiştir. Son olarak da Tablo 2.3 de modelde olan değişkenleri tablolar halinde gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Model de Kullanılan Kümeler

Küme	Tanımı
C	Müşteri
S	Şarj Merkezi
cs	Şarj Merkezi ve kopyaları
DA	Başlangıç deposu
csC	Şarj merkezi, kopyaları ve müşteriler
DAcs	Başlangıç deposu, şarj merkezleri ve şarj merkezleri kopyaları
DAScsC	Başlangıç deposu, şarj merkezleri, kopyaları ve müşteriler
DDCs	Variş deposu, müşteriler, şarj merkezleri ve kopyaları
CDD	Variş deposu ve müşteriler
CDDS	Müşteriler, Variş deposu ve şarj merkezleri
Dson	Variş deposu

Tablo 2.2. Model 'deki Karar Değişkenleri

Karar Değişkeni	Tanımı
X_{ij}	'i' düğümünden 'j' düğümüne gidiş varsa '1', yoksa '0'
D_i	Araç 'i' düğümüne girdiğinde batarya seviyesi
d_i	Araç 'i' düğümünden çıkarken batarya seviyesi
θ_i	'i' düğümündeki şarj miktarı

Tablo 2.3. Model 'deki Değişkenler

Değişkenler	Tanımı
n	Düğüm Sayısı
P	Birim maliyet
B	Aracın pil kapasitesi
R	Aracın yakıt tüketimi miktarı
RM_{ij}	'i' düğümünden 'j' düğümüne giderken harcanılan yakıt
M_{ij}	'i' düğümünden 'j' düğümüne hareket ederken alınan mesafe

Bu model ise aşağıda verildiği gibi formül edilmiştir:

$$\sum_{i \in cs} P * \theta_i + P * (B - D_{Son}) \quad (1)$$

(1) nolu gösterilen denklemde amaç fonksiyonunu temsil etmektedir ve yolculuk süresince harcanmış olan enerji tüketimini azaltmaya çabalamaktadır. Denklemin birinci kısmı ($P * \theta_i$) yolculuk süresince gidilen şarj merkezlerinde şarj edilen enerji miktarının maliyetini belirtmektedir. Bu denklem 2. kısmı ($P * (B - D_{Son})$) kargo aracının başlangıç deposuna geri geldiğinde pilin tamamen şarj edilmesinin maliyetini belirtmektedir. Burada her “i” nodu şarj merkezinin ve kopyalarını ifade eden “cs” kümesinin ögesidir.

S.t

$$\sum_{j \in csC} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in DA \quad (2)$$

(2) nolu kargo aracının başlangıç deposundan çıkışını garanti etmektedir ve depodan çıkan aracın şarj merkezine veya müşteriye gideceğini ifade etmektedir. Bu kısıtta “i” indeksi geri dönüş deposu içerisinde bir ögesidir, “j” indeksi ise şarj merkezi, kopyaları ve müşteri kümesinin bir ögesidir ve bir sonraki gidilecek olan yerin şarj merkezi, şarj merkezi kopyaları veya müşteri olması gerektiğini ifade etmektedir.

$$\sum_{j \in DDCcs} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in csC \quad (3)$$

(3) nolu denklem aracın müşteriden ayrıldığında yeniden bir müşteriye, şarj merkezine veya depoya geri gelmesi gerektiğini belirtir. Burada her “i” indeksi şarj merkezi, şarj merkezi kopyaları veya müşteri kümesinin ögesi iken, her “j” indeksi ise dönüş deposu, müşteriler ve şarj merkezi veya kopyaları kümesinin ögesidir.

$$\sum_{i \in DA} \sum_{j \in csC} X_{ij} = \sum_{i \in DD} \sum_{j \in csC} X_{ji} \quad (4)$$

(4) nolu denklem aracın depodan çıkıp ve depoya geri geldiğini garanti etmektedir. Denklemin birinci yerinde “i” indeksi çıkış deposu kümesinin ögesidir, “j” indeksi ise şarj merkezi,

şarj merkezi kopyaları veya müşterileri kümesinin ögesidir. İkinci yer ise “j” indeksi şarj merkezi, şarj merkezi kopyaları veya müşterileri kümesinin ögesi iken, “i” indeksi ise dönüş deposu kümesinin ögesidir.

$$\sum_{i \in DAScsC} X_{ij} = 1 \quad j \in C \quad (5)$$

(5) nolu denklem her bir müşterinin sadece bir kez uğranılacağını belirtmektedir. Burada her “j” indeksi müşteri kümesinin ögesi iken, “i” indeksi ise çıkış deposu, şarj merkezleri, şarj merkezleri kopyaları ve müşteriler kümesinin ögesidir.

$$\sum_{i \in DAScsC} X_{ij} = \sum_{i \in DDCcs} X_{ji} \quad \forall j \in csC \quad (6)$$

(6) nolu denklem aracın en son gelinen düğümden çıkması gerektiğini göstermektedir. Bu denklemin sol tarafında “i” indeksi çıkış deposu, şarj merkezleri, şarj merkezleri kopyaları ve müşteriler kümesinin ögesi iken, her “j” indeksi ise şarj merkezleri, şarj merkezleri kopyaları ve müşteriler kümesinin ögesidir.

$$\sum_{i,j \in T} X_{ij} \leq |T| - 1 \quad \forall T \subset csC, T \neq \emptyset \quad (7)$$

(7) nolu yer alt tur oluşmasını engellemektedir. Burada her T, şarj merkezleri, şarj merkezleri kopyaları ve müşteriler kümesinin alt kümesidir. Bu denklemdaki “T” terimi ile gösterilen kümelerin öğeleri tarafından meydana gelmiş bir alt kümedir. Alt tur meydana gelmesini engellemek için T hiçbir zaman eşit olamaz. Her “i” ve “j” indeksi ise T kümesinin ögesidir.

$$\sum_{j \in CDD} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in cs \quad (8)$$

(8) nolu kısıt her şarj merkezinin en çok bir defa uğranılmasını ifade etmektedir. Her “i” indeksi şarj merkezinin kümesinin ögesi iken, “j” indeksi ise müşterileri veya dönüş deposu ögesidir.

$$\sum_{j \in CDDS} X_{ij} \leq |n| - 1 \quad \forall i \in DA Ccs \quad (9)$$

(9) nolu kısıt toplam tur miktarını ifade etmektedir. Toplam düğüm sayısı (n) eksi olamaz ve toplam tur sayısı en çok toplam düğüm sayısından bir eksik kadar olabilir.

Her “i” indeksi çıkış deposu, müşteri veya şarj merkezi kümesinin ögesi iken, “j” indeksi ise müşteri, dönüş deposu veya şarj merkezi kümesinin ögesidir.

$$D_i = B \quad \forall i \in DAcS \quad (10)$$

(10) nolu aracın depodan ve şarj merkezlerinden çıkarken full dolu batarya kapasitesi ile çıkış yaptığını gerektiğini ifade etmektedir. Her “i” indeksi çıkış deposu, şarj merkezi veya kopyaları kümesinin ögesidir.

$$d_i - D_i = \theta_i \quad \forall i \in cs \quad (11)$$

(11) nolu araç şarj merkezine geldiğinde aradaki farkın şarj edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Burada her “i” indeksi şarj merkezi veya kopyaları kümesinin ögesidir.

$$0 \leq D_i \leq d_i \leq B \quad \forall i \in DAcS \quad (12)$$

(12) nolu bir düğümden çıkış yaparken ve bir düğüme geldiğinde aracın pil seviyesinin üst ve alt sınırlarını ifade etmektedir. Burada her “i” indeksi çıkış deposu şarj merkezleri veya kopyaları kümesinin ögesidir.

$$0 \leq D_j \leq D_i - (RM_{ij} * X_{ij}) + B * (1 - X_{ij}) \quad \forall i \in C, \forall j \in DDCcs \quad (13)$$

$$0 \leq D_j \leq d_i - (RM_{ij} * X_{ij}) + B * (1 - X_{ij}) \quad \forall i \in DAcS, \forall j \in DDCcs \quad (14)$$

(13) ve (14) nolu denklemler ise aracın bir düğümden çıkarken batarya seviyelerini takip etmektedir. (13) nolu denklem her “i” indeksi müşteri kümesinin ögesi iken, her “j” indeksi ise dönüş deposu, müşteri, şarj merkezleri veya kopyaları kümesinin ögesidir. (14) nolu denklem her “i” indeksi çıkış deposu, şarj merkezleri veya kopyaları kümesinin ögesi iken, her “j” indeksi ise dönüş deposu, müşteri, şarj merkezleri veya kopyaları kümesinin ögesidir.

15. karar değişkeni olan X_{ij} 'nin ikili (ya "0" değeri ya da "1" değeri alabilir.) olduğunu göstermektedir.

2.2. Müşteri Sayı ve Belirlenen Konu­ların Senaryoları

Senaryolar yapılırken ilk olarak Elazığ şehrini merkezinde depo yeri belirlenmiştir ve tüm senaryolarda deponun bulunduğu alan aynı tutulmuştur. Elazığ şehir sınırları içerisinde yerleştirilen 2 adet şarj merkezinin yeri belirlenmiştir ve şarj merkezlerinin yerleri de her senaryoda aynı kalmıştır. Şarj merkezlerinin konumu belirlenirken iki şarj merkezleri arasında belirli bir mesafe olmasına özen gösterilmiştir ve farklı yerleri kapsamasına önem verilmiştir. Müşteriler için Elazığ il sınırları içinde ve dışında seçimlerde bulunulmuştur. Müşteri konumları seçilirken de mesafelerin giderek artırılmasına özen gösterilmiştir. Müşteri konumları ilk olarak 20 km² bir kısımdan seçilmiştir. Daha sonra bu alan arttırılmıştır. Son senaryoda müşteri konumları arttırılmıştır. Yapılmış olan senaryolar sırayla müşteri sayısı artırılarak üç, dört ve beş müşteri olarak yapılmıştır. Depo sayısı bir, şarj merkezlerinde iki olarak kullanılmıştır. Çalışmamızda giderler TL olarak hesaplanmıştır. Kıyaslamalar bu yöntem göz önünde bulundurularak uygulanmıştır. Yapılan ilk senaryoda Elazığ ili içerisinde 3 müşteri konumu belirlenmiştir. Bu konumlar dışında 2 şarj merkezi, bir adet de depo konumu belirtilmiştir. Şarj merkezleri, deponun konumu birde adedi her senaryoda stabil tutulmuştur. Yapılmış olan senaryolarda konumların birbirine olan mesafeleri 2022 Google Maps ile saptanmıştır. Tüm konumlar arasındaki mesafeler seçilip daha sonra mesafe matrisi oluşturulup (Mij) bu matris kullanılmıştır. Çözüm­den sonra oluşan güzergâhlar yine Google Maps programı sayesinde gösterilmiştir.

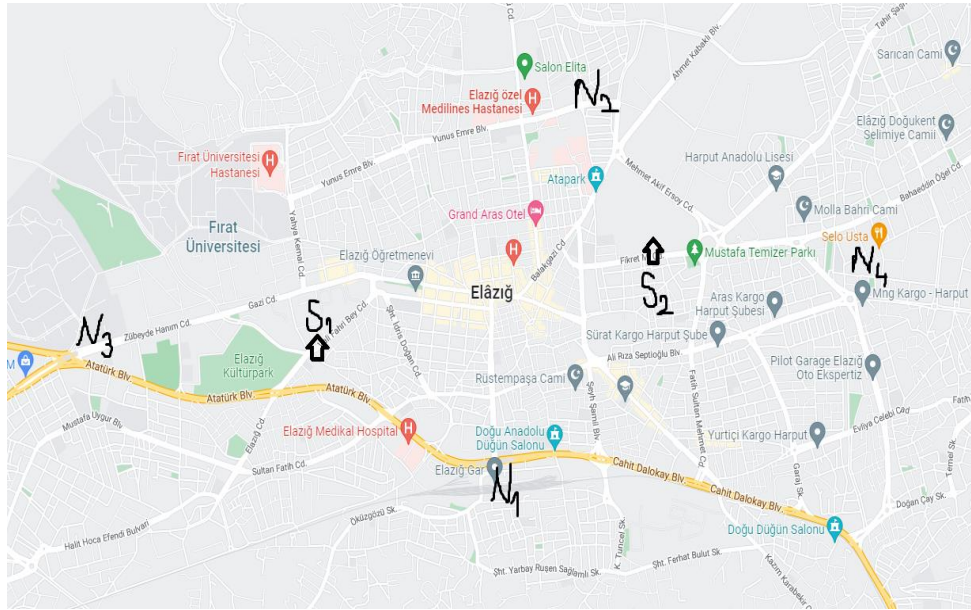
2.2.1. 1. Senaryo

İlk senaryoda belirlenen noktalar Tablo 2.4 de gösterilmiştir. Bu tabloda belirlenen noktaların birbirlerine olan uzaklıkları km cinsinden verilmiştir. Birbirine az uzaklıkta yerler seçilerek bu noktaların en iyi rotası excelde çözdürülerek bulunmuştur. Aynı zamanda Google Maps uygulamasından da yararlanarak en uygun güzergâh bulunmuştur.

Tablo 2.4. 1.Senaryonun Mesafeleri (km)

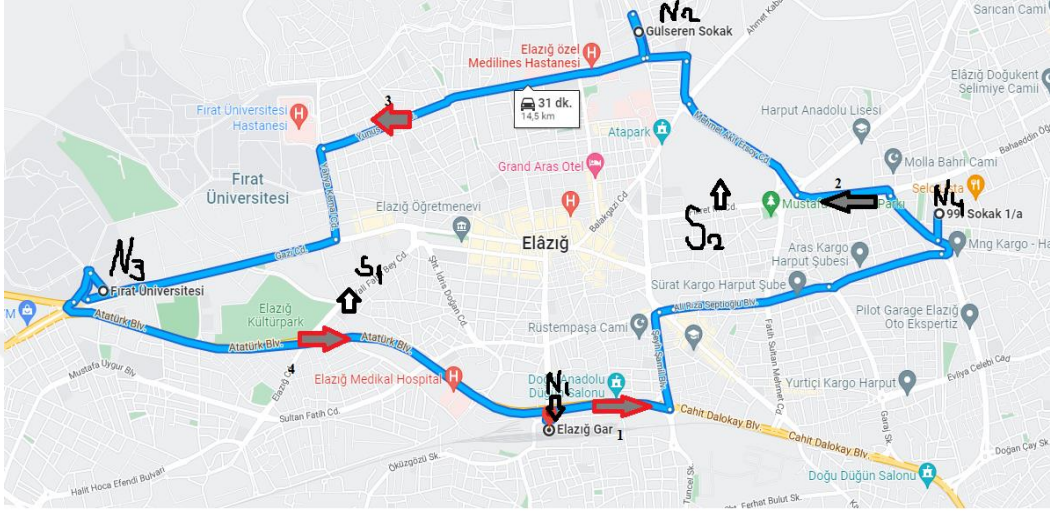
Başlangıç nokta	Gidiş Noktası						
	N1	N2	N3	N4	S1	S2	
N1	0	2,9	3,5	3,6	1,6	2,2	
N2	2,9	0	4,6	3,9	2,8	1,7	
N3	3,5	4,6	0	6,4	2	4,3	
N4	3,6	3,9	6,4	0	4,7	2,6	
S1	1,6	2,8	2	4,7	0	2,5	
S2	2,2	1,7	4,3	2,6	2,5	0	

Burada s1,s2 şarj merkezi olarak belirlenmiştir.N1 depoyu, N2, N3 ve N4 ise öylesine seçilen müşterileri göstermektedir. Elazığ il sınırları içerisinde bu alanlar seçilmiştir.



Şekil 2.1. 1.Senaryo için seçilen müşteriler ve şarj istasyonunu konumları

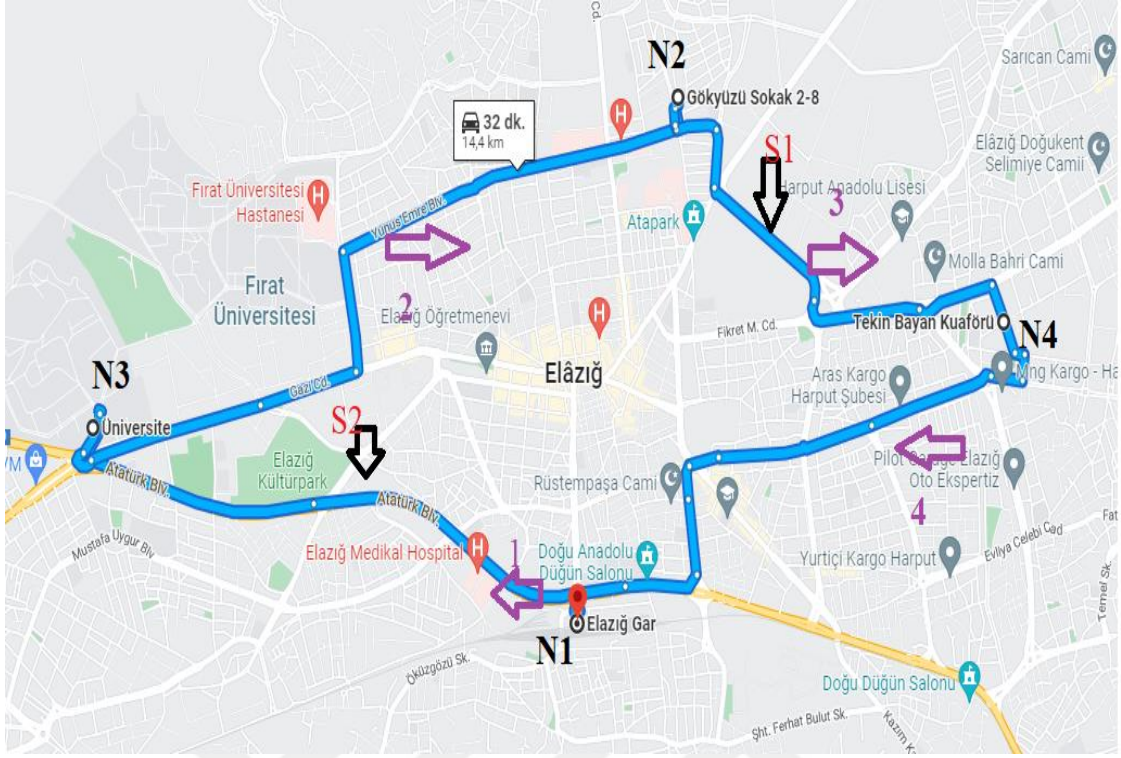
Şekil 2.1. 1. senaryodaki oluşturulan seçilen konumlar göstermektedir. Rastgele seçtiğimiz konumlar Elazığ il sınırları içerisinde bulunan belirli konumlardır. 1.Senaryoda batarya kapasitesi 22 KW ve 41 KW olan elektrikli araçlar için yapılmıştır.



Şekil 2.2. 1. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW Olan Elektrikli Araç Rotası

Şekil 2.2’de Batarya kapasitesi 22 KW olan elektrikli aracın izlediği rota görülmektedir. İzlenilen Rota: N1 (Ana Depo) ----→N4 (4 Nolu konum) ----→ N2 (2 Nolu konum) ----→N3 (3 Nolu konum) ----→ N1 (Ana Depo)

Kapasitesi 22 KW olan elektrikli araç 46,06 TL maliyet ile tamamlamıştır. Aynı rotayı benzinli araçla kullanmış olsak daha fazla maliyet ortaya çıkacaktır. Bu senaryoda batarya kapasitesi 22 KW olan elektrikli araç herhangi bir benzinli araca karşı %60.780 avantajlı durumda olduğu görülmüştür.



Şekil 2.3. 1. Senaryo, Batarya Kapasitesi 41 KW Olan Elektrikli Araç Rotası

Şekil 2.3 Batarya kapasitesi 41 KW olan elektrikli aracın izlediği rotalar görülmektedir. Batarya kapasitesi 41 KW olan sahip elektrikli araç batarya kapasitesi 22 KW olan elektrikli araçtan farklı bir rota izlemiştir. Batarya kapasitesi 41 KW olan aracın izlediği rota: • N1 (Ana Depo) ----→N3 (3 Nolu konum) ----→N2 (2 Nolu konum) ----→ N4 (4 Nolu konum) ----→ N1 (Ana Depo)

Batarya kapasitesi 41 KW olan elektrikli aracın rotasının uzunluğu batarya kapasitesi 22 KW olan elektrikli aracın izlediği rotanın uzunluğuyla aynıdır. Bundan dolayı batarya kapasitesi 41 KW olan aracın 22 KW olan elektrikli araçla maliyeti aynı olmuştur. En kısa rotalar seçilerek yapılmıştır.

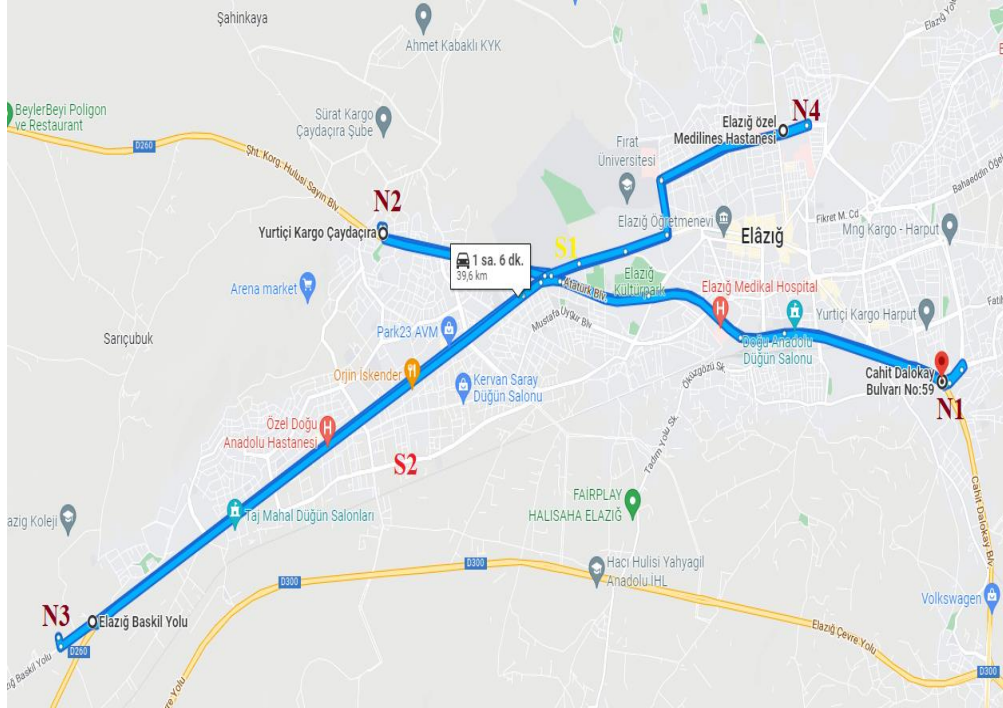
2.2.2. 2. Senaryo

Bu senaryoda 3 adet yeni müşterilerin konumları belirlenmiştir. Tablo 2.5 de bu konumların birbirlerine olan uzaklıkları gösterilmektedir. Bu uzaklıklar kilometre cinsinden verilmiştir ve Elazığ il sınırları içinde seçilen konumlar olarak işaretlenmiştir.

Tablo 2.5. 2.Senaryo Mesafeleri (km)

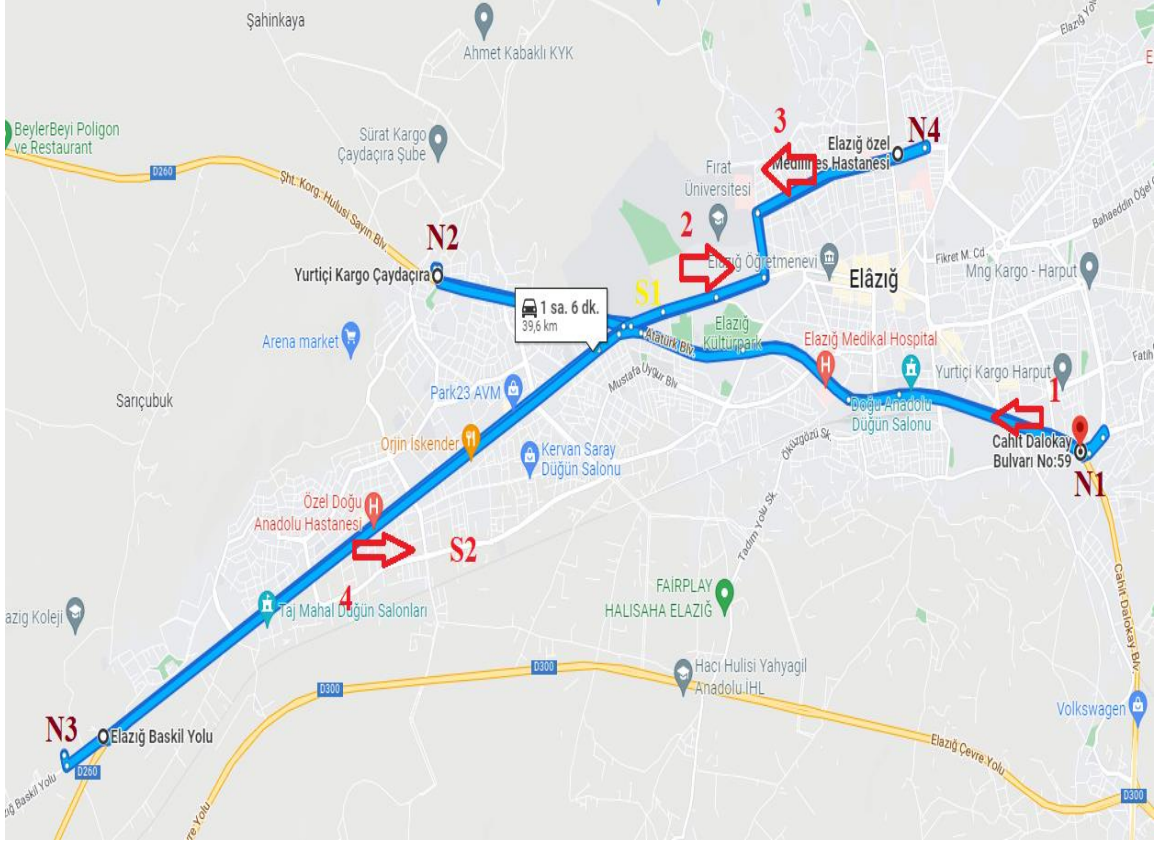
Başlangıç nokta	Gidiş Noktası						
	N1	N2	N3	N4	S1	S2	
N1	0	7,5	13,1	3,6	5,5	7,2	
N2	7,5	0	6,4	3,9	6,9	3,4	
N3	13,1	6,4	0	6,4	3,4	4,3	
N4	4,2	6,9	10,8	0	4,7	7,9	
S1	5,5	6,9	3,4	4,7	0	2,5	
S2	7,2	3,4	4,3	7,9	3,7	0	

Burada S1,S2 şarj istasyonu olarak belirlenmiştir.N1 depoyu, N2, N3 ve N4 ise öylesine seçilen müşterileri göstermektedir.



Şekil 2.4. 2. Senaryo için seçilen müşteriler ve şarj istasyonu konumları

Şekil 2.4’de 2. senaryodaki işaretlenen rotaları göstermektedir. 2. senaryo batarya kapasitesi 22 KW ve 41 KW olan elektrikli araçlar için yapılmıştır. Bu işaretlenen konumlara göre çözdüreme yapıldığında Şekil 2.5 de görüldüğü gibi bir rota karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.5. 2. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW Olan Elektrikli Araç Güzergâhı

Kapasitesi 22 KW olan elektrikli aracın izlediği yolu görülmektedir. İzlediği Rota: N1 (Ana Depo) ----→ N2 (2 Nolu konum) ----→ N4 (4 Nolu konum) ----→ N3 (3 Nolu konum) → N1 (Ana Depo)

Batarya kapasitesi 22 KW olan elektrikli araç 75 TL maliyet ile rotayı bitirmiştir. Aynı rotayı benzinli araçla kullanmış olsak daha fazla maliyet ortaya çıkacaktır. Bu senaryoda 41KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracında yine aynı maliyetle yolu tamamladığı görülmektedir. Şimdi de çalışmanın bu adımında müşteri sayısı artırılmıştır.4 adet müşteri ile senaryolar yapılacaktır. Bir sonraki adımında müşteriler sayısı artırılıp dört müşteri için farklı senaryolar yapılmıştır.

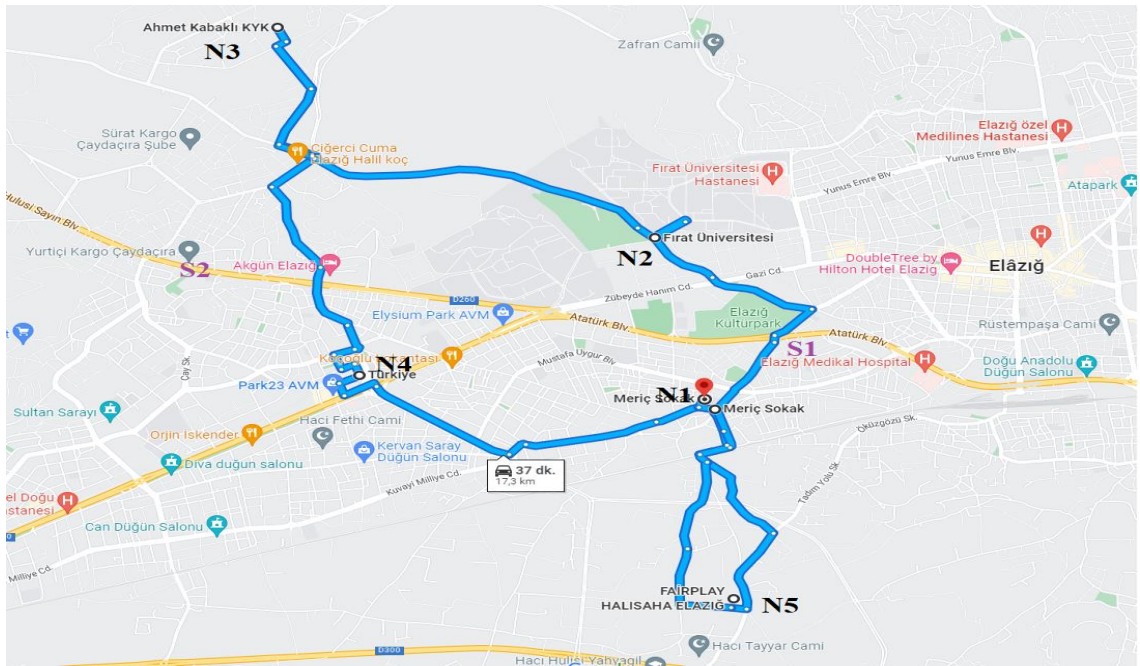
2.2.3. 3. Senaryo

Bu senaryoda müşteri sayısı 4 adet olarak belirlenmiştir. Bu yeni müşterilerin konumları gösterilip birbirlerine olan mesafeleri Tablo 2.6’da gösterilmiştir. Konumların çözdürülmesiyle en uygun mesafe bulunmuştur.

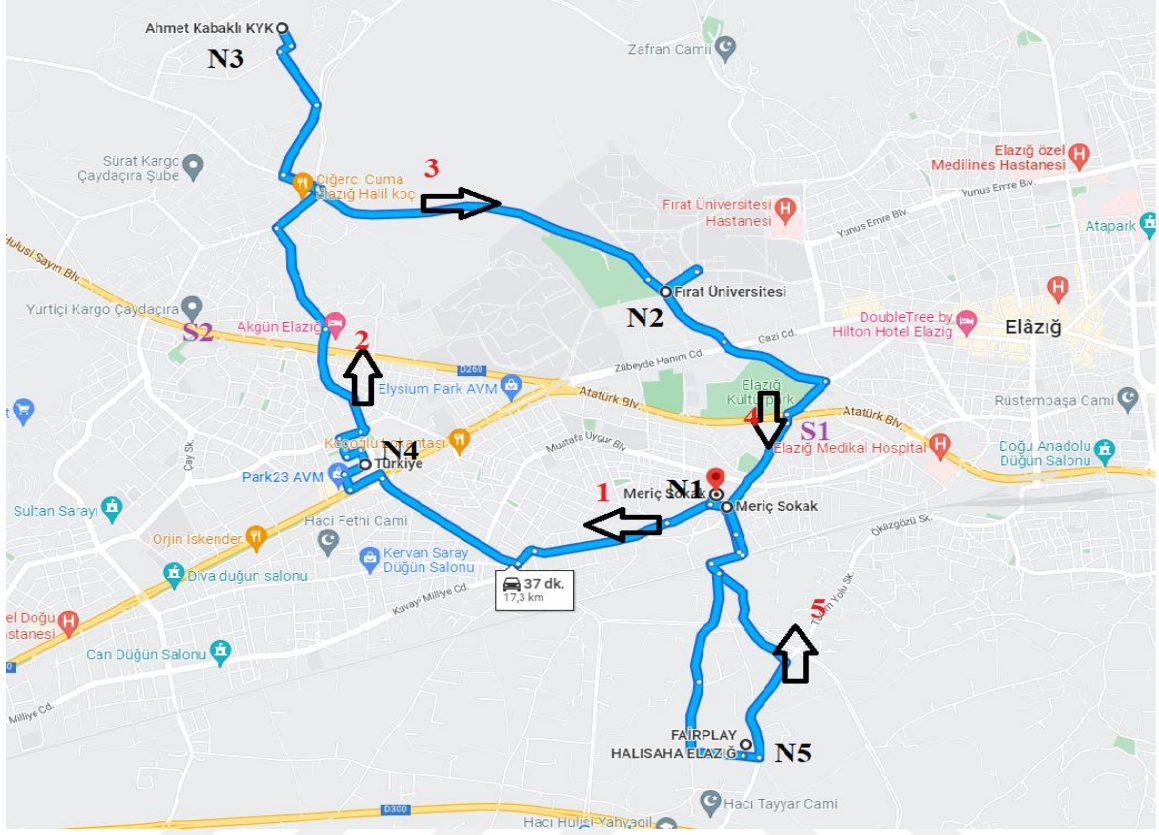
Tablo 2.6. 3.Senaryonun Mesafeleri (KM)

Başlangıç nokta	Gidiş Noktası							
	N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2	
N1	0	2,1	5,5	2,7	2,3	1,4	3,8	
N2	2,1	0	4	2,9	4,3	2,2	3,9	
N3	5,7	3,3	0	3,7	7,3	6,7	3,5	
N4	2,6	4,3	3,7	0	4,1	3,4	1,9	
N5	2,1	7,9	7,2	4	0	3	5,6	
S1	1,4	2,2	6,7	3,4	3	0	4,3	
S2	3,8	3,8	2,9	1,9	5,6	3,8	0	

Burada S1, S2 şarj istasyonu olarak belirlenmiştir. N1 depoyu, N2, N3 ve N4, N5 ise öylesine seçilen müşterileri göstermektedir. Şekil 2.6’da bu konumların yerleri harita üzerinde işaretlenerek gösterilmiştir.



Şekil 2.6. 3. Senaryo için seçilen müşteriler ve şarj istasyonu konumları



Şekil 2.7. 3. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW ve 41 KW Olan Elektrikli Araçların Güzergâhı

Şekil 2.7’de batarya kapasitesi 41 KW ve 22 KW olan elektrikli araçların kullandıkları rotayı göstermektedir. İki araç da aynı güzergâh doğrultusunda gitmiştir. İzlenen Rota: N1 (Ana Depo) ----→ N4 (4 Nolu konum) ----→ N3 (3 Nolu konum) ----→ N2 (2 Nolu konum) ----→ N5 (5 Nolu konum) →N1 (Ana Depo)

Kapasiteleri 22 KW ile 41 KW olarak belirlenen elektrikli araçlar bu güzergâhı 17,3 km giderek 56,2795 TL maliyet ile bitirmiştir.

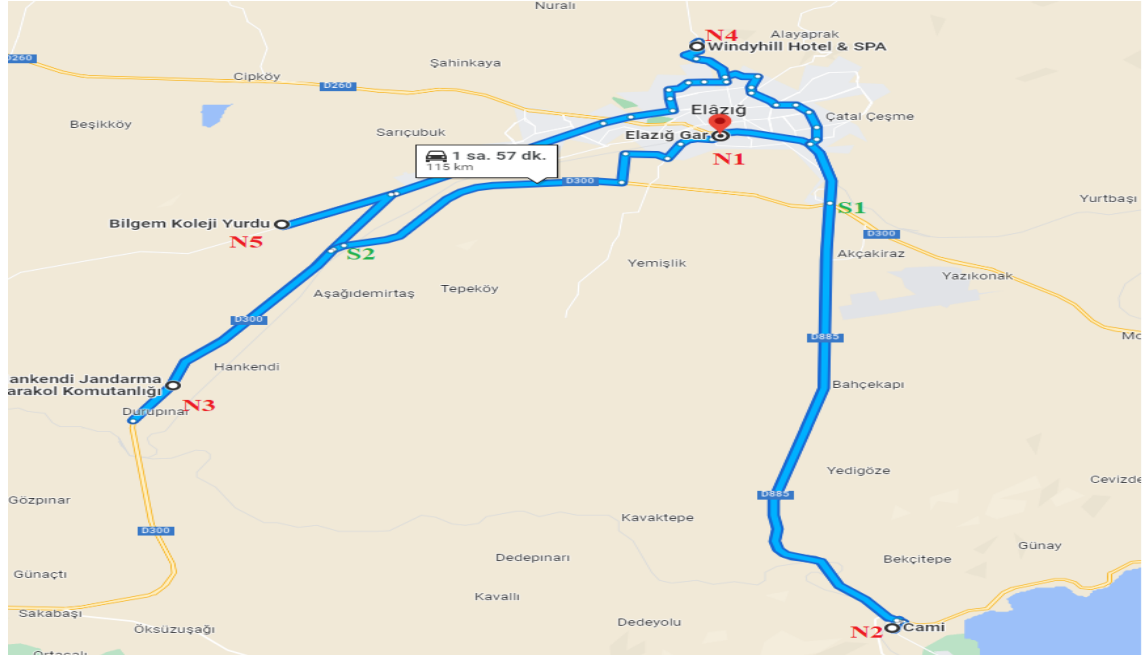
2.2.4. 4. Senaryo

Bu senaryoda 4 adet yeni müşteri konumları Elazığ şehri içerisinde belirlenmiştir. Senaryoda mesafeler daha da artırılıp gözlemler yapılmıştır. Tablo 2.7 de mesafeler gösterilmektedir. Seçilen konumlar harita üzerinde işaretlenerek Şekil 2.7’de gösterilmektedir.

Tablo 2.7. 4.Senaryonun Konum Mesafeleri (km)

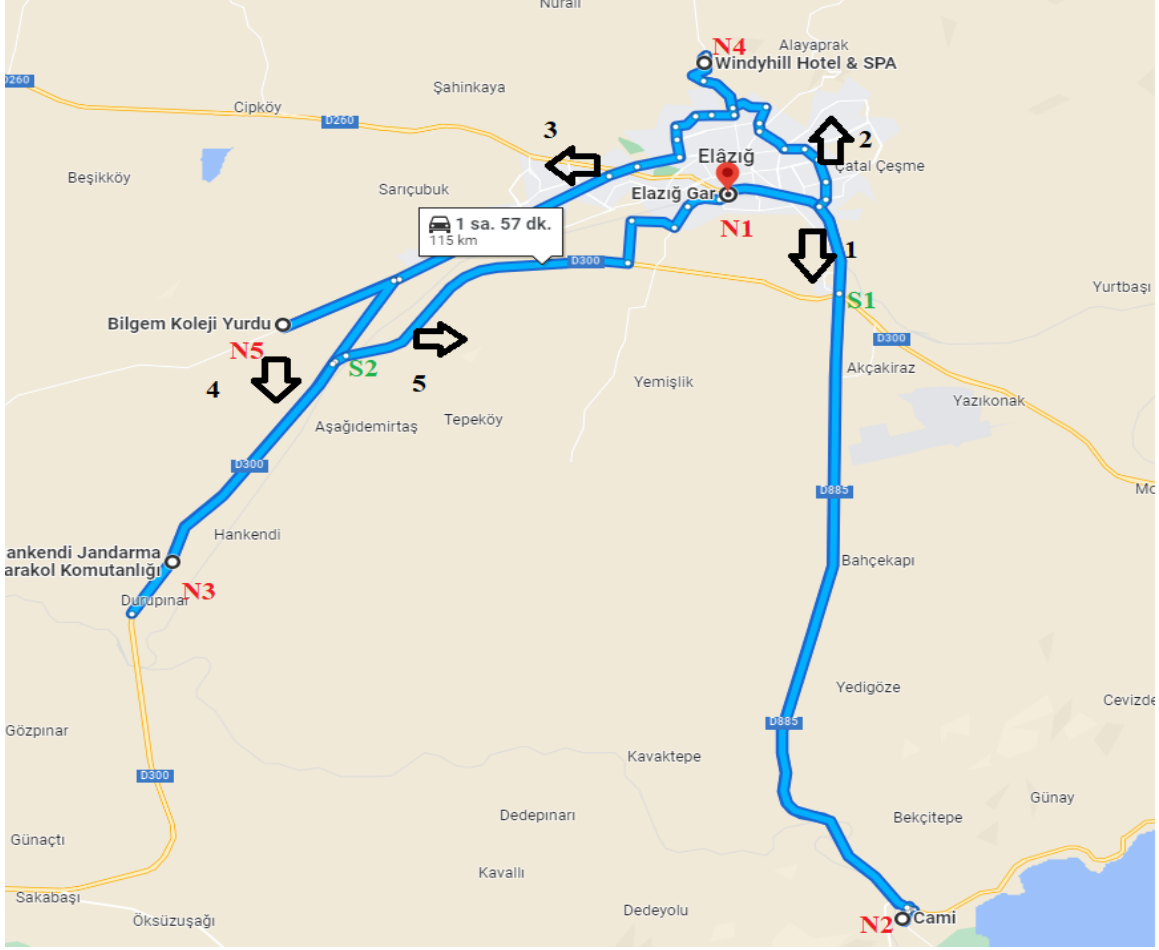
Başlangıç nokta	Gidiş Noktası							
	N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2	
N1	0	26,5	21	5,5	13,3	5,5	17,6	
N2	26,5	0	47,4	31,8	37,9	21,2	38,9	
N3	26	46,1	0	28,4	9,8	22,3	7,8	
N4	5,7	31,6	24,5	0	17,5	10,7	19,9	
N5	13,7	37,3	17,6	17,4	0	17,4	9,2	
S1	7,5	21,2	26,3	10,8	16,3	0	18	
S2	13,6	35,5	17,5	17,7	11,9	15,5	0	

Seçilen rotalarda N1 ana depo, N2, N3, N4, N5 rastgele seçilen müşterilerdir. S1 ve S2 şarj merkezlerinin konumu olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.8. 4. Senaryo da seçilmiş olan müşterilerin konum ve şarj merkezlerinin konumu

Şekil 2.8’de 4. Senaryodaki ana depo, müşteri konumları ve şarj merkezlerinin konumları belirtmiştir. Daha uzun mesafeler kullanılmıştır. Kargo aracının ilçelere de gittiği ön görülmüştür.



Şekil 2.9. 4. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW ve 41 KW Olan Elektrikli Araç Güzergâhı

Şekil 2.9’da Kapasitesi 21 KW ve 41 KW olan aracın izlemiş olduğu yol gösterilmiştir. 2 aramızda aynı yol güzergâhını kullanmışlardır.

İzledikleri Rota: N1 (Ana Depo) ----→ N2 (2 Nolu konum) ----→ N4 (4 Nolu konum) ----→ N5 (5 Nolu konum) ----→ N3 (3 Nolu konum) → N1 (Ana Depo)

Kapasitesi 22 KW ile 41 KW olan elektrikli araçlar bu yolu 366 TL’lik bir harcamayla bitirmiştir. Aynı yolu bir benzinli araç kullanmış olsaydı elektrikli araçlardan çok daha maliyetli tamamlar. Burada da görüldüğü gibi elektrikli araçlar daha avantajlıdır. Bundan sonraki aşamada ise müşterileri sayısı artırılıp 5 adet olarak yapılacaktır. Buna bağlı olarak da şarj merkezleri de birer artırılmıştır. Ama şarj merkezlerinin konumuyla ana deponun konumu aynı bırakılmıştır. Seçilen konumlar Elazığ şehri merkezinden ve dışından seçilerek hesaplamalar yapılmıştır.

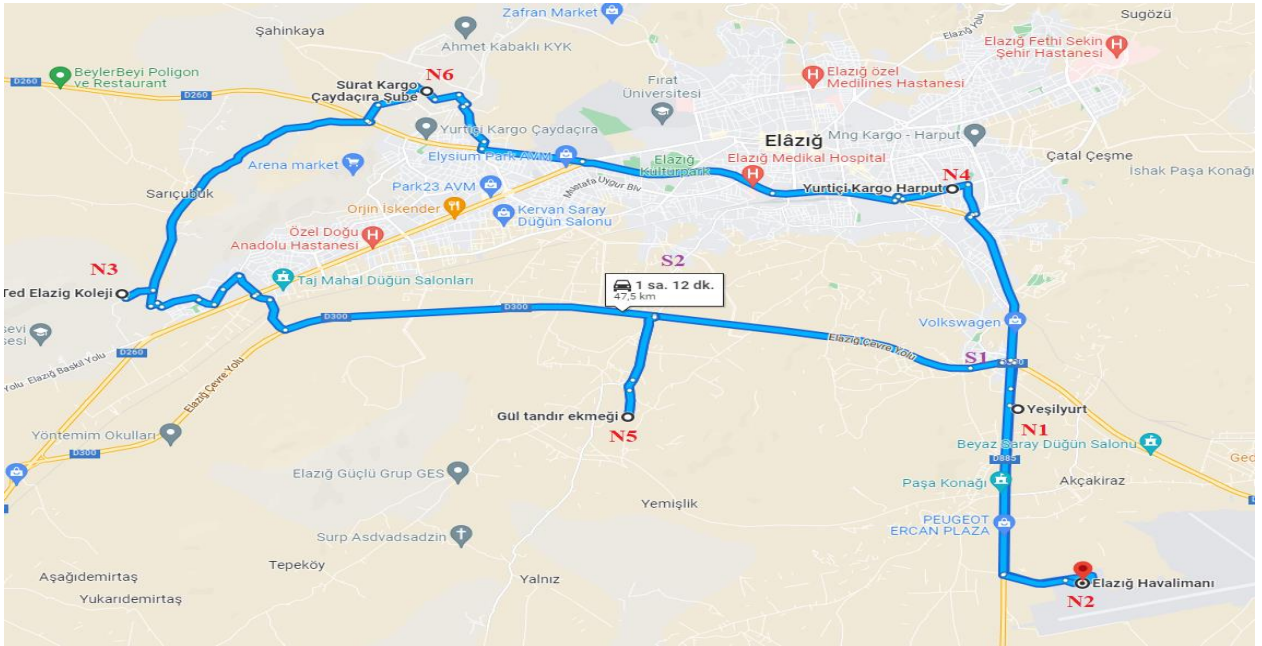
2.2.5. 5. Senaryo

Yeni senaryomuzda müşteri sayısı artırılarak 5 yapılmıştır. Burada yine müşterilerin birbirlerine olan uzaklıkları hesaplanarak km cinsinden Tablo 2.8'de gösterilmiştir. Konumlar rastgele seçilerek mesafeler yakın tutulmuştur.

Tablo 2.8. 5. Senaryonun Konum Mesafeleri (km)

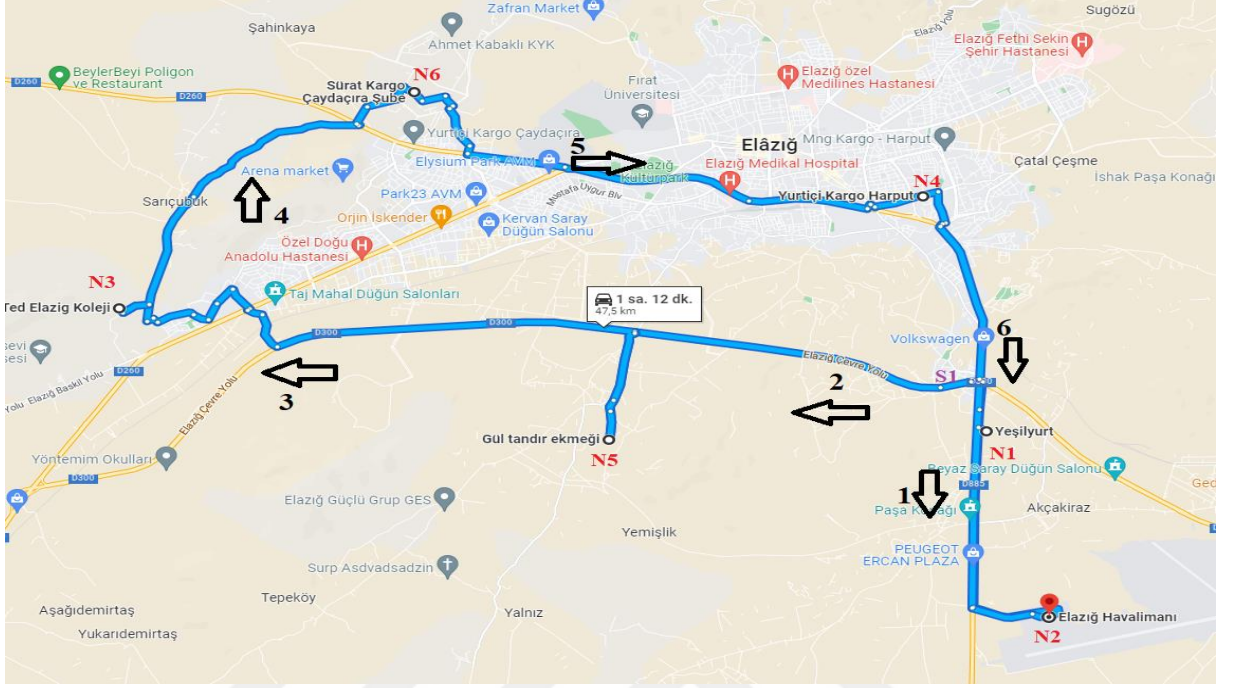
Başlangıç nokta	Gidiş Noktası								
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2	
N1	0	4	16,9	6,9	10	14,5	3,5	12,7	
N2	4,3	0	19,3	9,1	12,5	17	5,8	10,1	
N3	18,4	24,4	0	13,4	16,3	6,6	19,8	19,8	
N4	7	8,9	13,6	0	7,6	9,3	11,5	10,8	
N5	10	12	10,8	7,7	0	8,8	7,4	2,1	
N6	14	16,1	7,7	8,4	8,8	0	11,1	10,8	
S1	3,5	5,6	13,9	11,6	7,1	11,6	0	9,6	
S2	12,7	14,6	13,4	11,4	2,1	11,4	10,8	0	

Burada S1,S2 şarj istasyonu olarak belirlenmiştir.N1 ana depoyu, N2, N3, N4, N5, N6 ise öylesine seçilen konumları göstermektedir.



Şekil 2.10. 5 Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları konumları

Şekil 2.10'da oluşturulan 5. senaryodaki şarj merkezleri, müşteri konumları ve ana depo yerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.11. 5. Senaryo, Batarya Kapasitesi 41 KW ve 22 KW Olan Elektrikli Araçların Rotası

Şekil 2.11'de kapasitesi 22 KW ile 41 KW olan elektrikli aracın gitmiş olduğu konumları göstermektedir. İzlediği rota: N1 (Ana Depo) ----→N2 (2 Nolu konum) ----→N5 (5 Nolu konum) ----→ N3 (3 Nolu konum) ----→N6 (6 Nolu konum) ----→ N4 (4 Nolu konum) ----→ N1 (Ana Depo)

22 KW ve 41 KW kapasiteli araçlar bu kısımda aynı yolları kullanmışlardır. Bu turu 152 TL maliyetle bitirmiştir.

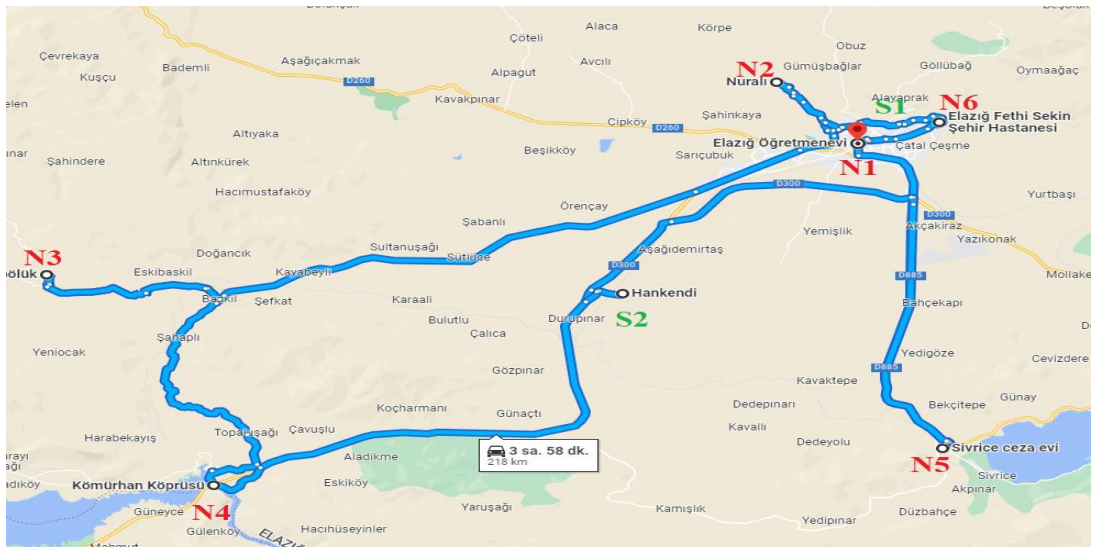
2.2.6. 6. Senaryo

Bu senaryoda 5 adet müşteri belirlenmiştir. Burada müşteriler arasındaki mesafeler hesaplanmıştır. Mesafeler km cinsinden verilmiştir. Müşteriler arasındaki mesafeler fazla uzak seçilmeye özen gösterilmiştir. Tablo 2.9’da bu konumların birbirlerine olan uzaklıkları gösterilmektedir.

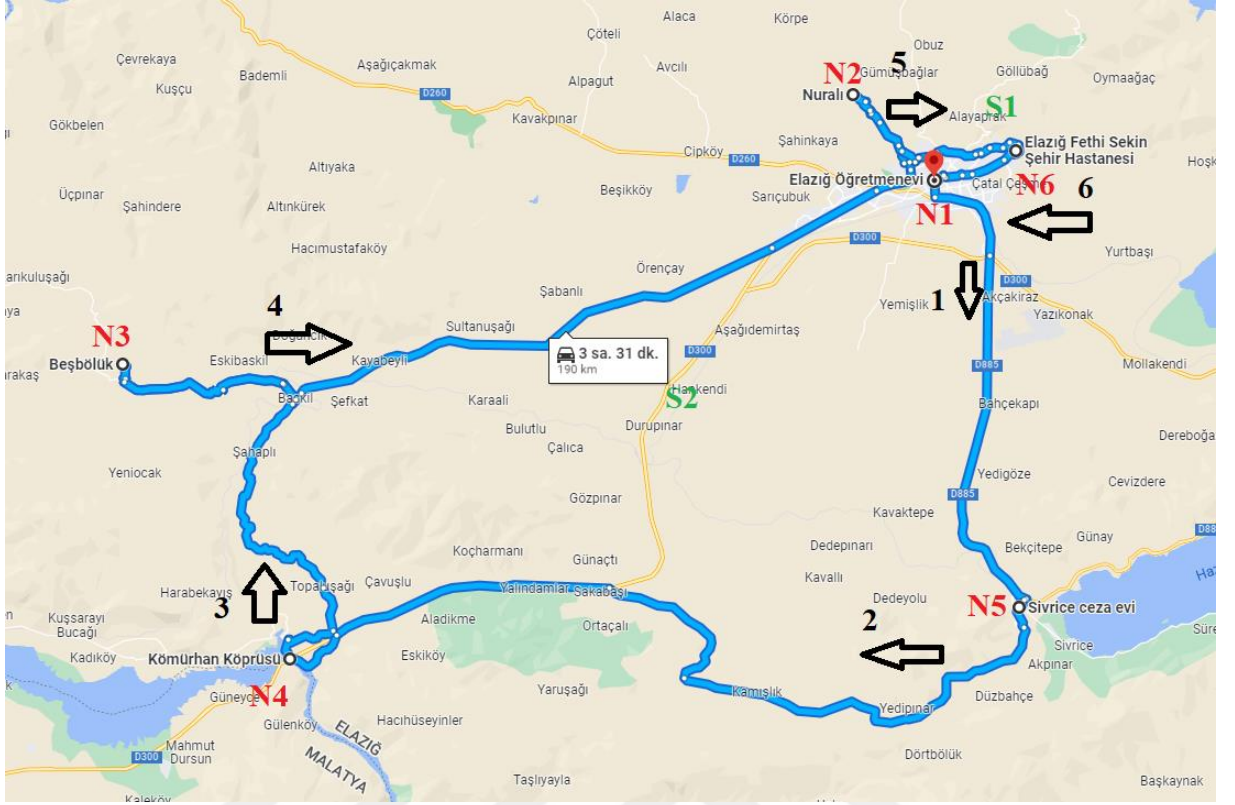
Tablo 2.9. 6.Senaryo Konum Mesafeleri (km)

Başlangıç nokta	Gidiş Noktası								
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2	
N1	0	7,9	50,3	51,8	27,7	6,5	6	23	
N2	8,2	0	55,7	57,2	35,9	12,8	12,4	28,4	
N3	51,4	55,7	0	35,2	80	56,6	56,3	45,8	
N4	53,1	57,2	35,2	0	53,3	58,1	57,1	34,5	
N5	27,8	35,7	74,8	53,3	0	28,8	32	46,5	
N6	5,3	12,8	56,6	58,1	28,9	0	6,4	29,2	
S1	5,6	10,8	56,3	57,1	32,2	6,3	0	29,9	
S2	22,2	25,8	43,8	34,3	27,5	27,5	26,3	0	

T Burada S1,S2 şarj merkezleri olarak belirtilmiştir.N1 ana depoyu, N2, N3, N4, N5, N6 ise öylesine seçilen müşterileri konumlarını göstermektedir. Şekil 2.12’de seçilen konumların konumları haritada gösterilmektedir.



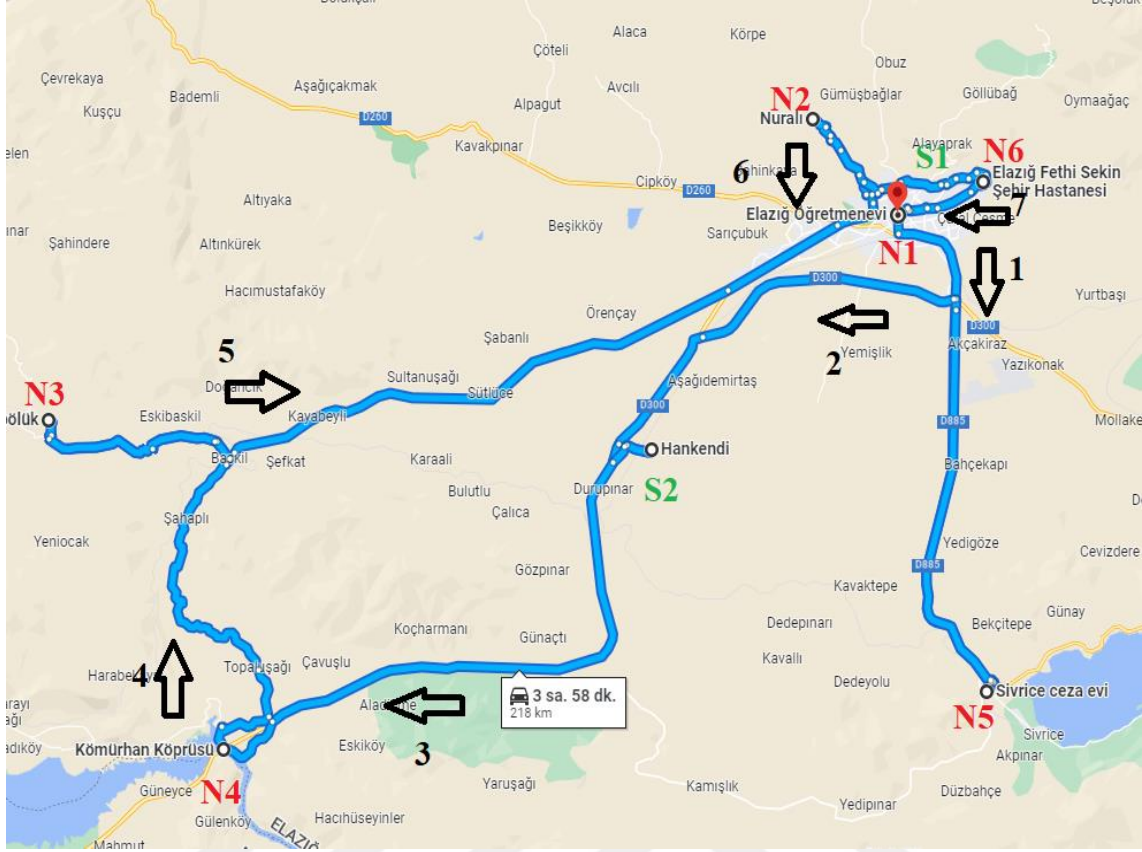
Şekil 2.12. 6.Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları Konumları



Şekil 2.13. 6. Senaryo, Batarya Kapasitesi 22 KW Olan Elektrikli Araç Rotası

Şekil 2.13’de Batarya kapasitesi 22 KW olan elektrikli aracın izlediği rota görülmektedir. İzlediği Rota : N1 (Ana Depo) ----→ N5 (5 Nolu konum) ----→ S2 (2 Nolu şarj merkezi) ----→ N4 (4 Nolu konum) ----→ N3 (3 Nolu konum) ----→ N2 (2 Nolu konum) ----→ N6 (6 Nolu konum) - ----→ N1 (Ana Depo)

Batarya kapasitesi 22 KW olan elektrikli araç bu rotada şarj istasyonuna uğramak zorunda kalmıştır. Buda zaman ve maliyete olumsuz etki etmiştir. Bu senaryoyu birde kapasitesi 41 KW Batarya olan Elektrikli Araç ile deneyelim.



Şekil 2.14. 6. Senaryo, Batarya Kapasitesi 41 KW Olan Elektrikli Aracın Rotası

Şekil 2.14’de Batarya kapasitesi 41 KW olan elektrikli aracın gitmiş olduğu yollar göstermektedir. İzlediği Rota: N1 (Ana Depo) ----→ N5 (5 Nolu konum) ----→ N4 (4 Nolu konum) ----→ N3 (3 Nolu konum) ----→ N2 (2 Nolu konum) ----→ N6 (6 Nolu konum) ----→ N1 (Ana Depo)

Kapasitesi 22 KW olan elektrikli araç 1 kez şarj istasyonuna girmek zorunda kalmıştır. Batarya kapasitesi 41 KW olan elektrikli araç turu şarj istasyonuna uğramadan tamamlayabilmiştir. Ama buna rağmen elektrikli araçlar benzinli araçlara göre daha fazla avantaj sağlamıştır. Son senaryomuzda Elazığ dışı rotalar ele alınarak buna göre çalışma yapılmıştır. Amacımız daha uzak yerlerde olabilecek avantajlar ve dezavantajları belirlemektir.

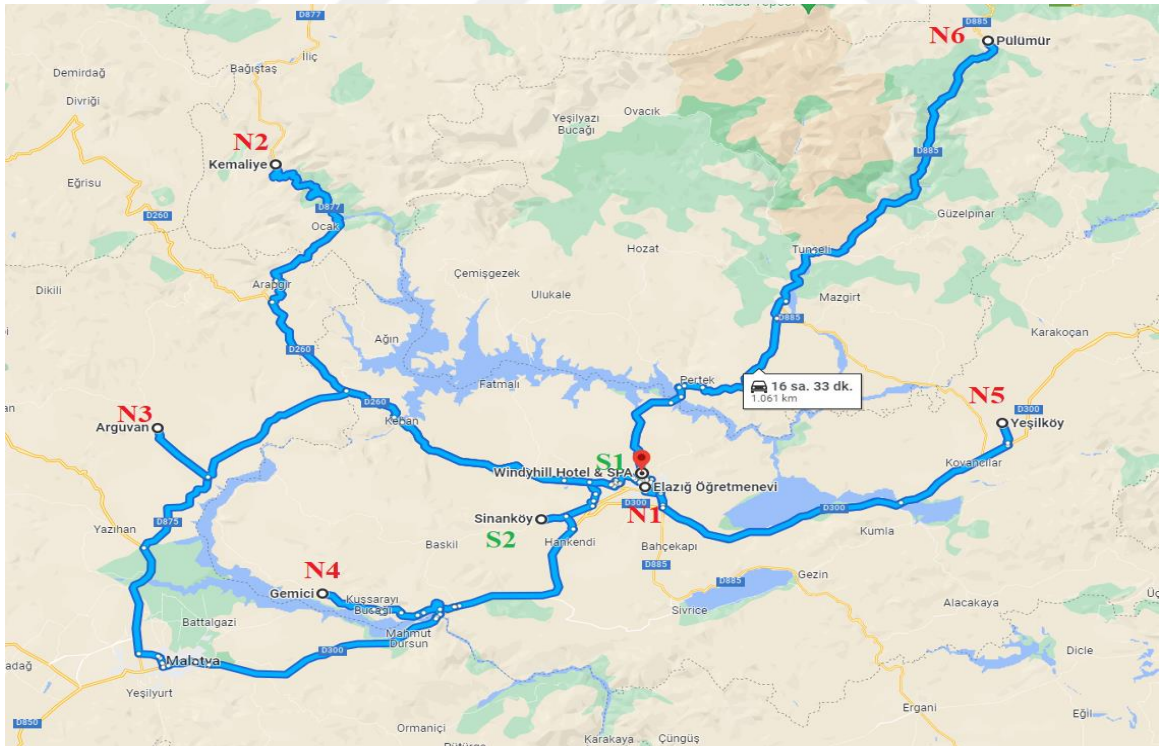
2.2.7. 7. Senaryo

Son senaryomuzda 5 adet yeni müşteri konumu Elazığ şehri sınırları dışarısından belirlenmiştir. Buradaki amaç il dışında konumlar belirleyerek daha uzun mesafelere ulaşırken ne kadar maliyetle tamamlayıp şarj durumunu incelemektir. Konumlar arasındaki mesafe Tablo 2.10 da kilometre cinsinden gösterilmektedir.

Tablo 2.10. 7.Senaryo Konum Mesafeleri (km)

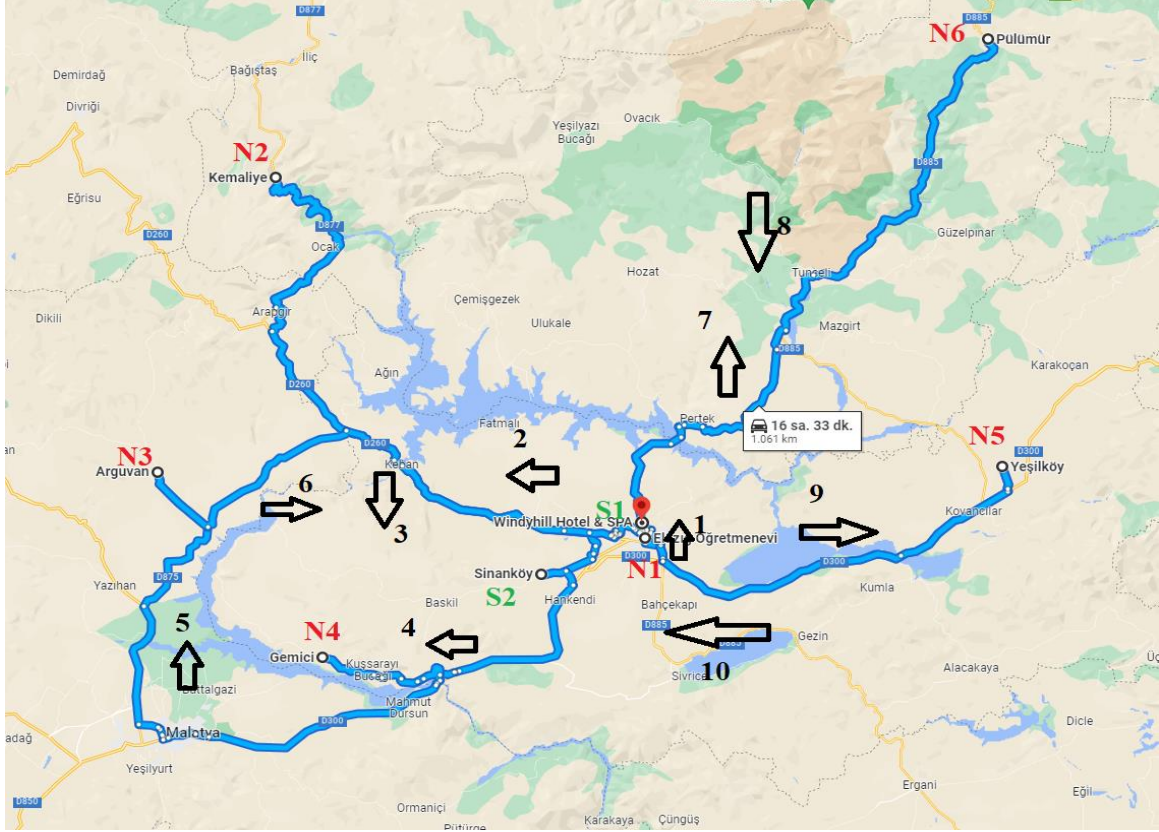
	Gidiş Noktası								
		N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2
Başlangıç nokta	N1	0	143	117	76,6	78,4	141	4,6	19,8
	N2	143	0	102	208	220	209	148	149
	N3	119	102	0	155	194	260	123	123
	N4	76,6	208	155	0	152	220	81,9	70,7
	N5	78,4	220	194	152	0	133	82,8	95,8
	N6	141	209	260	220	133	0	138	161
	S1	4,6	148	123	81,9	82,8	138	0	23,8
	S2	19,8	149	123	70,7	95,8	161	23,8	0

Şekil 2.15 de belirlenen konumların yerleri gösterilmiştir. N1 ana depo olarak belirlenirken N2,N3,N4,N5,N6 rastgele müşteri konumlarıdır.S1 ve S2 şarj merkezleri olarak belirlenmiştir. Seçilen konumlar birbirlerine uzaklıkları fazla tutulmuştur.



Şekil 2.15. 7. Senaryo Seçilmiş Müşteri Konumları ve Şarj Merkezlerinin Konumları

Şekil 2.16’da 7. senaryodaki şarj merkezleri, müşteri konumları ve ana depo yerleri gösterilmiştir. Bu oluşturulan rotada batarya kapasitesi 22 KW olan elektrikli aracın kapasitesi yetmediği için bir senaryo oluşturulmamıştır.

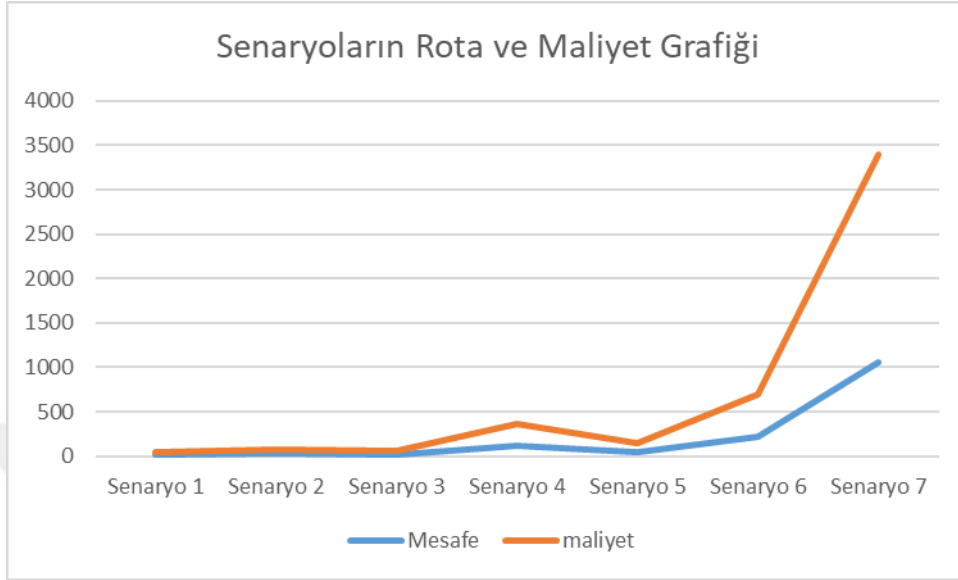


Şekil 2.16. 7. Senaryo, Batarya Kapasitesi 41 KW Olan Elektrikli Araç Rotası

Şekil 2.16’da batarya kapasitesi 41 KW olan elektrikli aracın izlediği rota gösterilmektedir. İzlenen Yol : N1 (Ana Depo) ----→ S1 (1 Nolu şarj merkezi) ----→ N2 (2 Nolu Konum) ----→ S2 (2 Nolu şarj merkezi) ----→ N4 (4 Nolu Konum) ----→ N3 (3 Nolu Konum) ----→ S1 (1 Nolu şarj merkezi) ----→ N6 (6 Nolu Konum) ----→ S1 (1 Nolu şarj merkezi) ----→ N5 (5 Nolu Konum) --- -→ N1 (Ana Depo)

Pil kapasitesi 41 KW olan aracın rotayı sonlandırması için 4 kere şarj merkezine girmiştir. Bu senaryoda kapasitesi 22 KW olan elektrikli aracın rotası oluşmamıştır. Çünkü pil kapasitesi bu rotayı bitirmek için yeterli değildir. Benzinli araç ile kapasitesi 41 KW olan elektrikli kargo aracının maliyetleri kıyaslandığında aralarında %17.1274’lük fark göze çarpmaktadır. Normal şartlarda mesafenin fazlalaşması benzinli araç ve elektrikli aracın harcanan maliyetinin farkının çoğalması beklenmektedir. Ama bu tezde oluşturulan senaryolarda aracın Elazığ ili içerisinde bulunan şarj

merkezlerinde şarj dolumu gerçekleşmektedir. Elektrikli aracımız diğer benzinli araçlara göre daha çok yol kat etmiştir. Ancak buna rağmen benzinli araca göre çok avantajlı olmuştur.



Şekil 2.17. Senaryo rota maliyet grafiği

Şekil 2.17 de gösterilen grafikte iki aracın kat ettiği mesafeler sonucunda oluşan maliyet gösterilmiştir. Buradaki sonuç mesafe arttıkça maliyetinde artmasıdır. Buna sebep olan kısım ise uzak mesafelerde şarjın yetmemesi ve şarj merkezinin az olması doğrudan etkindir.

Yapılan senaryolardan da görüleceği gibi elektrikli araçlar fazlaca tasarruflu ve çevre kirliliğine olumlu etkilidir. Gidilen mesafesi fazlalaştıkça benzinli ve elektrikli araç arasındaki maliyet farkı git gide azalmaktadır. Bunun nedeni ise elektrikli aracın şarj merkezlerinde olan alt yapı yetersizliklerinden dolayıdır. Ülkemizdeki şarj merkezlerinin aralığı az miktardadır ve araçlar doluma şarj merkezine gitmek için tekrardan şehir merkezine giriş yapmak zorundadır. Buda maliyeti giderek artırmaktadır. Bu çalışmada Elazığ il sınırlarında elektrikli araç şarj merkezleri hayali kurulmuştur. Elazığ gibi çoğu ilde elektrikli araç şarj istasyon sorunu olduğu görülmektedir. Tabi ki bu sorunun çözümü şarj alt yapısının geliştirilmesiyle elektrikli aracın maliyeti düşerek benzinli araca göre daha da avantajlı olacaktır.

Yapılan çalışmada görüldüğü gibi elektrikli araçların diğer fosil yakıt kullanan araçlara göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. Elektrikli araç diğer araçlara göre daha fazla yol gitse bile maliyet olarak benzinli araca göre daha avantaj sağlamaktadır. Ama şarj istasyonlarının gelişmesiyle bu avantaj daha fazlalaşacaktır.

3. SONUÇ

Tez çalışmasının ana amacı Ticari elektrikli kargo araçlarını kullanarak hem günümüzdeki enerji tüketimini azaltıp hemde maliyeti düşürmektir. Günümüzde kargoculuk sektörü oldukça yoğun kullanılmakta bu sektörde elektrikli araçlar kullanılarak dahada kısa sürede maliyeti az şekilde taşımacılık sağlanması bu tezle hedeflenmiştir. Birde ülkemizde bulunan elektrikli araçların şarj istasyonlarının az oluşu ve yetersizliği ön plana çıkarılarak vurgulanmak istenmiştir. Çalışmada ilk olarak Eylül 2022 Elazığ'daki elektrik ve benzin fiyatları ele alınmıştır. Elektrikle çalışan ticari kargo araçları için tasarımlar yapılmış ve benzinlileriyle karşılaştırılmalar sonucunda birbirlerine göre avantajları belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak, matematiksel optimizasyon modelleri oluşturulmuş, amaç fonksiyonu, kısıtlar ve modellerde kullanılan karar değişkenleri ve parametreler açıklanmıştır. Bir sonraki aşamada Elazığ merkezinde ve merkez sınırları dışında müşteri konumları, Elazığ ili içinde iki adet şarj istasyonu yeri ve Elazığ ili içinde bir depo yeri belirlenmiştir. Konumlar belirlenmesini ardından her konumun bir başka konuma olan uzaklığı hesaplanarak buna göre mesafeler matrisi yazılmıştır. Üretilen senaryolar içinde üç, dört , beş müşteri ve iki şarj merkezi birde ana depo vardır. Şarj merkezleri ve deponun sayısı her senaryoda aynıdır. Mesafeler senaryolarda git gide fazlaştırılmıştır. Bütün bu işlemler tamamlandıktan sonra, senaryolar belirlenmiş olan elektrikli araçlara göre çözülmüştür. Sonuçlarda oluşan rota ve maliyetler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Sonuçta görüldüğü üzere elektrikli araçlar avantajlı olduğu burada ortaya çıkmıştır. Mesafeler artıça elektrikli araçlardaki batarya kapasiteleri ortaya çıkmıştır. Daha uzun mesafelere daha fazla kapasiteli bataryalara ihtiyaç duyulmaktadır. 1061 kilometreye kadar olan uzaklıklarda bu araçlara uygun olurken, oldukça fazla gidilmesi gereken rotalarda elektrikli araçlar seçilmeyerek benzinle çalışan araçlar seçilmelidir. Nedeni olarak ülkemizde bulunan şarj merkezlerinin miktarlarının azlığı ve merkezlerin gidilecek olan müşteri haritası üstünde eşit uzaklıkta konumlanmamasıdır. İşte bu eksiklik araçların gidecekleri en fazla mesafeleri azaltmakta ve harcamaları yükseltmektedir. Oluşan sorun şarj merkezlerinin konumlarının uygun belirlenmesi ve şarj merkezi alt yapısının kuvvetlendirilmesiyle çözüme kavuşacaktır. Bu sorunlar azalmasıyla ülkemizde kullanılan elektrikli araçların miktarında fazla bir artış olacaktır. Bu kapsamda şarj merkezi titizlikle geliştirilmesi tüm kullanılan elektrikli araç modellerinin kullanımlarını fazlaştırmasına artı yönde bir imkan oluşturacaktır. Elektrikli araçların şarj edildiği merkezlerdeki şarj etme türlerinin geliştirilmesi tüm elektrikli arabaların popülerleşip çoğalmasına olumlu yönde kazanç sağlayacaktır. Çünkü daha hızlı şarj imkanı sağlayan sistemler zamandan da tasarruf sağlayacaktır. Şarj merkezlerinde belirli bir yerde toplanması elektrikli araçların tercih edilmesinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Bu sebepten dolayı şarj merkezleri uygun ve eşit konumlarda kurulmalı ve belirli alanlara toplanmaktan kaçınılmalıdır.

Bu tez çalışmasıyla başta kargo şirketlerinin yaptıkları işler hızlanarak müşteri memnuniyetini arttırmak, enerji tüketiminin azalmasına imkân sağlamak hedeflenmiştir. Sadece kargo şirketleri değil birçok sektörün lojistik idaresinde bu yöntemin kullanılmasına gerek duyulacaktır. Günümüzde e-ticaret alışverişlerinin gittikçe artmasının da etkisiyle daha hızlı ve enerji verimliliği uygun olan bir sistemle çalışmalara devam edilmiş olacaktır. Hem ülke ekonomisine hem de küresel ekonomiye sağlanacaktır. Zamandan ve enerjiden tasarruf edilip verimlilik artarken karbon salınımı da azalacaktır.

Bu tezde optimizasyon modelleri MATLAB isimli yazılım ve excel programı yardımıyla yapılmıştır. Senaryolar için oluşturduğumuz matrisler Google Maps uygulaması sayesinde hesaplanmıştır. Bu tezde ki en büyük sorunlardan başta geleni çözüm süresi olmuştur. İleri ki aşamalarda bu sorunun çözülmesi için yeni sezgisel metotlar veya bunların geliştirilmesi sonucunda böyle bir sorunda yok edilebilir. Bu çalışmanın geliştirilmesiyle mobil uygulama geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca elektrikli araçların batarya gelişimi hakkında da çalışmalar yapılması hedeflenmektedir.

ÖNERİLER

1. Çalışmada Excel ile Matlab programı kullanılmıştır. Daha farklı olarak Java programları tercih edilerek sonuçlar gözlemlenebilir.
2. Diğer Araç rotalama yöntemleri kullanılarak hesaplamalar yapılabilir.
3. Modellemeler çok çeşit olabilir. Yöntemleri değiştirip modeller geliştirilebilir.
4. Farklı güçlerde olan araçlarla bu optimizasyonlar yapıp karşılaştırılabilir.
5. Rotalama yapabilen mobil tabanlı uygulamalar geliştirilerek incelemeler yapılabilir.



KAYNAKLAR

- A. Tuncer, "Otonom araçlar için yol bulma probleminin genetik algoritmalar ve fpga ile çözümü ve gerçekleştirilmesi," Doktora tezi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2013.
- Afroditi, A., Boile, M., Theofanis, S., Sdoukopoulos, E. ve Margaritis, D. (2014) Electric vehicle routing problem with industry constraints: Trends and insights for future research, *Transportation Research Procedia*, 3, 452-459. doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.026
- Altıparmak, F., Dengiz, B., Kara, İ., Karaoğlan İ. (2008). Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için yeni matematiksel formülasyonlar. sayfa no. 130.YA/EM 2008- Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVIII. Ulusal Kongresi Bildiri Özetleri Kitabı, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul, 30 Haziran - 2 Temmuz
- Atefi, R., Salari, M.Coelho, L.C. ve Renaud, J. (2018) The open vehicle routing problem with decoupling points, *European Journal of Operational Research*, 265(1), 316-327. doi:10.1016/j.ejor.2017.07.033
- Atmaca, E., (2012). Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi ve Uygulaması. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Dergisi*, Cilt:5, Sayı:2, Sayfa: 12-27
- Bozyer, Z., Alkan, A. ve Fırlalı, A. (2014) Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için önce grupla sonra rotala merkezli sezgisel algoritma önerisi, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 7(2), 29-37. doi: 10.12973/bid.2018
- Karmakar, M., ve Nandi, A.K., (2016) Trip planning for electric vehicle through optimal driving using genetic algorithm, 1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES-2016). doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853336
- Demiral, M. F. 2008. "Servis Araçlarının Rotalanmasında Optimizasyon ve Bir Uygulama," Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Demircioğlu, M., (2009). Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım İle Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Düzakın, E., Demircioğlu, M., (2009). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi Cilt:13. Sayı:1, ss.68-87.
- Erdoğan, Sevgi ve Elise Miller-Hook. 2012. "A Green Vehicle Routing Problem." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 48(1): 100-114
- Eryavuz, M., Gencer, C., (2001). Araç Rotalama Problemlerine Ait Bir Uygulama.Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi C.6, S.1, s.139-155.
- Erol, V., (2006). Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sistem Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Kütüphanesi, İstanbul.
- Google Maps. "ELAZIĞ Haritası." Erişim Tarihi: 20 Ekim 2022. Elazığ - Google Haritalar
- Keskin, Merve ve Bülent Çatay. 2018. "A matheuristic method for the electric vehicle routing problem with time windows and fast chargers." *Computers & Operations Research* (100): 172-188.
- Matlab. 2019. "9.7.0.1190202 (R2019b)" Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- Saygın, Değer, Osman Bülent Tör, Saeed Teimourzadeh, Mehmet Koç, Julia Hildermeier ve Christos Kolokathis. 2019. "Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü: Elektrikli araçların Türkiye dağıtım

şebekesine etkileri.” Erişim Tarihi: 10 Mart 2020. <https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019/12/Turkiye-ulasirmasektorunun-donusumu-Elektrikli-araclarin-Turkiye-dagitim-sebekesine-etkileri-.pdf>

Schneider, Michael, Andreas Stenger ve Dominik Goeke. 2014. “The Electric Vehicle-Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations.” *Transportation Science* 48 (4): 500-520

Şahin, Y., Eroğlu, A., (2014). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Metasezgisel Yöntemler: Bilimsel Yazın Taraması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi C.19, S.4, s.337-355.

Şen, G., Boynuegri A.R, Uzunoglu M. (2011). Elektrikli araçların şarj yöntemleri ve araçların şebekeyle bağlantısında karşılaşılan problemlere yönelik çözüm önerileri, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu FEEB 2011, Fırat Üniversitesi Elazığ, 5-7 Ekim 2011. Truckenbrodt, A. (2004). Fuel cell vehicles for future car concepts, Convergence International Congress & Exposition on Transportation Electronics, Detroit, USA

Tehad. 2019. “Elektrikli ve Hibrid otomobil satış rakamları açıklandı.” Erişim Tarihi: 22 Aralık 2019. <http://tehad.org/2019/10/14/elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satisrakamlari-aciklandi-2/>

VisualCapitalist. 2019. “All the World’s Carbon Emissions in One Chart.” Erişim Tarihi: 21 Aralık 2019. <https://www.visualcapitalist.com/all-the-worlds-carbonemissions-in-one-chart/>

Yazıcı, V., Özdemir, E. (2013). Elektrikli araç şarj yöntemleri, 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 23-24 Mayıs 2013 Kartepe Kocaeli, Syf: 288-292

