

ELEKTRİKLİ ve BENZİNLİ ARAÇ ROTA PLANLAMASI, MALİYET
OPTİMİZASYONU ve KARŞILAŞTIRMASI

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ



KAAN KILIÇ

İŞLETME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2020

Bu tezin Yüksek Lisans derecesi için gereken tüm koşulları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Serdar SAYAN
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Müdürü

Bu çalışmayı okuduğumu ve çalışmanın kapsam ve içerik olarak Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı'nda bir Yüksek Lisans tezi olabilecek yeterlilikte olduğuna kanaat getirdiğimi onaylıyorum.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Melike METERELLİYOZ KUYUZU
(TOBB ETÜ, İşletme)

Tez Jürisi Üyeleri

Doç. Dr. Ebru YÜKSEL HALİLOĞLU
(Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği)

Dr. Öğr. Üyesi Salih TEKİN
(TOBB ETÜ, Endüstri Mühendisliği)

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Kaan KILIÇ

ÖZ

ELEKTRİKLİ ve BENZİNLİ ARAÇ ROTA PLANLAMASI, MALİYET OPTİMİZASYONU ve KARŞILAŞTIRMASI

KILIÇ, Kaan

Yüksek Lisans, İşletme

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Melike METERELLİYOZ KUYUZU

Elektrikli araç rotalama probleminde, elektrikli araçlar kullanılarak rotanın tamamlanması, minimum maliyetin ve minimum rota mesafesinin bulunması hedeflenir. Elektrikli araçların alabilecekleri maksimum mesafe benzinli/dizel araçlara göre daha azdır. Bu nedenlerle araç rotalama problemlerinde (VRP) elektrikli araçlar kullanılırken şarj kapasiteleri ve şarj istasyon lokasyonları özel olarak dikkate alınmalıdır. Bu çalışmanın amacı elektrikli araçlar kullanılarak optimal – minimum maliyetli – rota bulunması ve benzinli araçların VRP sonuçlarıyla kıyaslanmasıdır. Bu tez çalışmasında, Ankara’da kurulması planlanan bir firmanın, Ankara’nın değişik bölgelerine dağılmış durumdaki potansiyel müşterileri için, dağıtımda elektrikli veya benzinli araç kullanmasına göre optimal rotaları bulunmuştur. Çalışmada optimal rota nasıl oluşturulmalı ve elektrikli araçlar mı ya da benzinli araçlar mı kullanılmalı soruları ele alınmıştır. Konu kapsamında Ankara’da bulunan şarj istasyonları, şarj maliyetleri, elektrikli araçların batarya kapasiteleri, başlangıç maliyetleri ve benzin fiyatları dikkate alınmıştır. Modeller bu noktalar dikkate alınarak kurulmuş, farklı müşteri sayıları ve lokasyonlarına göre birçok farklı senaryo için karşılaştırılmıştır. Çalışmada karışık tam sayılı lineer programlama kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre elektrikli araçlar kullanıldığında çok daha az maliyetle dağıtım yapılabildiği görülmüştür. Müşteri sayısı arttıkça ve/veya müşteriler arası mesafe uzadıkça, elektrikli araç şarj istasyonu altyapısı yetersizliği nedeniyle elektrikli araçların benzinli araçlara göre maliyet avantajının azaldığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Araç Rotalama Problemi, Lineer Programlama

ABSTRACT

ELECTRIC and GASOLINE VEHICLE ROUTING PROBLEM, COST OPTIMIZATION and COMPARISON

KILIÇ, Kaan

Master of Business Administration

Supervisor: Asst. Prof. Melike METERELLİYOZ KUYUZU

Electric vehicle routing problem aims to find minimum route distance and minimum cost while using electric vehicles. But charging capacity of electric vehicles is less than that of gasoline vehicles and charging stations are not yet very common. For these reasons, charging capacities and charging station locations should be taken into consideration when using electric vehicles in vehicle routing problems (VRP). This study aims to find minimum route distance and cost for electric vehicles, and compare with gasoline vehicles' results. In this thesis, the optimal routes for a company, which is planned to be established in Ankara, were designed for electric or gasoline vehicles to distribute to potential customers in different regions of Ankara. In order to find minimum cost and route distance, charging stations in Ankara, charging prices, charging time, battery capacities and initial costs were examined and included in the study. VRP models have been constructed with these constraints and compared for many different cases with changing number of customers and locations. Mixed integer linear programming models were used in this thesis. Results of the study showed that electric vehicle cases cost less when compared to gasoline vehicles. It has been concluded that as the number of customers increases and/or the distance between customers increases, the cost advantage of electric vehicles is decreasing due to lack of electric vehicle charging station infrastructure.

Keywords: Electric Vehicles, Vehicle Routing Problem, Linear Programming



Müjgan Kılıç ve Fahrettin Kılıç'a

TEŞEKKÜR SAYFASI

Yüksek lisans ve lisans çalışmalarım boyunca bana her konuda hep yardımcı olan, yüksek lisans çalışmalarım boyunca asistanlığımı büyük bir keyif alarak yaptığım, sadece yüksek lisans tezimde değil karşılaştığım her güçlükte bana hep yardımcı olan ve arkadaş gibi yaklaşan, hayatım boyunca iletişimimizin asla kopmayacağını bildiğim çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Melike Meterelliyoğlu Kuyzu'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan ve beni asla yalnız bırakmayan, verdiğim her kararda beni destekleyen, sevgi ile yaklaşan annem Müjgan Kılıç'a ve Babam Fahrettin Kılıç'a en içten sevgimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Hiçbir koşulda benden desteğini esirgemeyen arkadaşlarım, Mehmetcan Kanmış, Aykut Koçak, Kübra Berk, Batuhan Özusta, Furkan Öztürk, Cansu Alataş, Ece Pınar Polat'a ve ismini sayamadığım diğer arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

İNTİHAL SAYFASI.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT	v
İTHAF SAYFASI	vi
TEŞEKKÜR SAYFASI	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiv
HARİTALAR LİSTESİ	xv
BÖLÜM 1: GİRİŞ	1
1.1. Yeşil Lojistik	4
1.2. Elektrikli Araçlar.....	5
1.3. Araç Rotalama Problemleri (ARP)	9
1.4. Araç Rotalama Problemleri Çeşitleri	10
1.4.a. Klasik Araç Rotalama Problemleri (KARP)	10
1.4.b. Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (ZKARP)	10
1.4.c. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP)	11
1.4.d. Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemleri (DTARP)	11
1.4.e. Stokastik Araç Rotalama Problemleri (SARP).....	11
1.4.g. Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP)	12
BÖLÜM 2: LİTERATÜR TARAMASI	14
2.1. Araç Rotalama Problemleri (ARP)	14

2.2. Elektrikli Araç Rotalama Problemi (EARP)	18
BÖLÜM 3: METODOLOJİ	22
3.1. Doğrusal Programlama	22
3.2. Tam sayılı Programlama	23
3.2.a. Karışık Tam Sayılı Programlama	23
3.3. Araç Rotalama Problemleri (ARP)	23
3.3.a. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri (KKARP)	25
3.3.b. Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri (ZKARP)	25
3.3.c. Stokastik Araç Rotalama Problemleri (SARP)	26
BÖLÜM 4: VERİ ve MODELLEME	27
4.1. Benzinli ve Elektrikli Araçlar için Kullanılan Modeller	28
4.1. a. Elektrikli Araçlar İçin Kullanılan Model (Model 1)	28
4.1.b. Benzinli Araç İçin Kullanılan Model (Model 2)	34
4.2. Farklı Müşteri Sayı ve Lokasyon Senaryoları	37
4.2.a. Elektrikli ve Benzinli Araçlar İçin sonuçların Karşılaştırılması	38
4.2.a.i. Senaryo 1	39
4.2.a.ii. Senaryo 2	43
4.2.a.iii. Senaryo 3	47
4.2.a.iv. Senaryo 4	51
4.2.a.v. Senaryo 5	56
4.2.a.vi. Senaryo 6	60
4.2.a.vii. Senaryo 7	63
4.2.a.viii. Senaryo 8	67

4.2.a.ix. Senaryo 9	71
4.2.a.x. Senaryo 10	76
BÖLÜM 5: SONUÇ	82
KAYNAKÇA	86



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Ülkeler Bazında 2017 yılı CO2 Emisyon Verileri (Visualcapitalist 2019)	3
Tablo 4.1. Model 1’de Kullanılan Kümeler	29
Tablo 4.2. Model 1’de Kullanılan Karar Değişkenleri	29
Tablo 4.3. Model 1’de Kullanılan Parametreler	30
Tablo 4.4. Model 2’de Kullanılan Kümeler	34
Tablo 4.5. Model 2’de Kullanılan Parametreler	34
Tablo 4.6. Senaryo 1 İçin Mesafeler (KM)	40
Tablo 4.7. Senaryo 1, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim	43
Tablo 4.8. 2. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	43
Tablo 4.9. 2. Senaryo, Araçların Rotaları, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim	46
Tablo 4.10. 3. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	47
Tablo 4.11. 3. Senaryo, Araçların Rotaları, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim	50
Tablo 4.12. 4. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	51
Tablo 4.13. 4. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim	55
Tablo 4.14. 5. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	56
Tablo 4.15. 5. Senaryo, Araçların Rotaları, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim	59
Tablo 4.16. 6. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	60

Tablo 4.17. 6. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim	62
Tablo 4.18. 7. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	63
Tablo 4.19. 7. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim	66
Tablo 4.20. 8. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	67
Tablo 4.21. 8. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim	70
Tablo 4.22. 9. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	71
Tablo 4.23. 9. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim	75
Tablo 4.24. 10. Senaryo İçin Mesafeler (KM)	76
Tablo 4.25. 10. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1.1.** Avrupa Birliğindeki Ülkelerin 2010-2019 Arası Şarj İstasyonları Sayısı (Statista 2019) 7
- Şekil 4.1.** Senaryoların Rota ve Maliyet Grafiği 81



KISALTMALAR LİSTESİ

CO ₂	: Karbondioksit
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
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
GA	: Genetik Algoritma
KM	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
KW	: Kilowatt
TL	: Türk Lirası

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 4.1. Senaryo 1 İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	40
Harita 4.2. 1. Senaryo, 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç ve Benzinli Araç Rotası	41
Harita 4.3. 1. Senaryo, 41 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası.....	42
Harita 4.4. 2. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	44
Harita 4.5. 2. Senaryo, 41KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası	44
Harita 4.6. 2. Senaryo, Benzinli Araç Rotası	45
Harita 4.7. 3. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	47
Harita 4.8. 3. Senaryo, 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası.....	48
Harita 4.9. 3. Senaryo, 41 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç ve Benzinli Araç Rotası	49
Harita 4.10. 4. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	52
Harita 4.11. 4 Senaryo, 41KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası	53
Harita 4.12. 4. Senaryo, Benzinli Araç Rotası	54
Harita 4.13. 5. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	57

Harita 4.14. 5. Senaryo, 41 KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araçların ve Benzinli Aracın Rotası	58
Harita 4.15. 6. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	60
Harita 4.16. 6. Senaryo, 41 KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası ve Benzinli Araç Rotası	61
Harita 4.17. 7 Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	64
Harita 4.18. 7. Senaryo, 41 KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası	64
Harita 4.19. 7. Senaryo, Benzinli Araç Rotası	65
Harita 4.20. 8. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	67
Harita 4.21. 8. Senaryo, 41 KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası	68
Harita 4.22. 8. Senaryo, Benzinli Araç Rotası	69
Harita 4.23. 9. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	72
Harita 4.24. 9. Senaryo, 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası	73
Harita 4.25. 9. Senaryo, 41 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç ve Benzinli Araç Rotası	74
Harita 4.26. 10. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları	77
Harita 4. 27. 41 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası	78
Harita 4.28. Benzinli Araç Rotası	79

BÖLÜM I

GİRİŞ

Dünya’da benzin fiyatlarının dalgalanması, benzinli araçların çevreye verdiği kirlilik ve bu araçların maliyetlerinin fazla olması, benzinli araçlara olan ilgiyi gün geçtikçe azaltmaktadır. Benzinli araçların sera gazı salınımı hem firmaların hem de bireylerin elektrikli araçlara olan talebini arttırmaktadır. Son yıllarda dünya genelinde sera gazı ve Karbondioksit (CO₂) emisyonu giderek artmakta ve çevreye her geçen gün büyük zarar vermektedir. CO₂ emisyonunun gün geçtikçe artması, dünya genelinde geri dönüşü olmayan hasarlar bırakmaktadır. Bu sorun en kısa sürede kontrol altına alınmaz ise dünyadaki çevre kirliliği giderek artacak ve iklimsel değişiklikler çok belirgin bir şekilde ortaya çıkacaktır. CO₂ emisyonunun artmasının birçok doğal ve yapay sebebi vardır. Bu sebepler şu şekilde sıralanabilir (National Geographic, 2019):

- Ulaşım
- Elektrik üretimi
- Endüstriyel üretim
- Evler ve iş yerleri
- Tarımsal ve hayvansal üretim

Dünya genelinde kullanılan araçların, gemilerin, trenlerin ve uçakların çok büyük bir bölümü fosil yakıt kullanmaktadır ve bunların sonucunda ‘ulaşım’ CO₂ salınımı en yüksek olan kategoridir (EPA, 2014).

CO₂ emisyonunun artmasına sebep olan en büyük sebeplerden birisi de elektrik üretimidir. Ulaşımdan sonra dünyadaki CO₂ seviyesini en çok arttıran kategori elektrik

üretimidir. Artan dünya nüfusunun ve artan üretimin sonucu olarak elektrik ihtiyacının artması, elektrik üretiminde doğal ve yenilenebilir kaynaklara yönelmekten çok fosil yakıtlara yönelimi arttırmıştır. Elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için kullanılan fosil yakıtlar ise CO₂ salınımını arttırmakta ve çevreye zarar vermektedir (EPA, 2014). Ev ve iş yerlerinde elektrik ve ısınma ihtiyaçları için kullanılan fosil yakıtlar dünya genelinde CO₂ seviyesinin artmasına neden olmaktadır. Tarımsal ve hayvansal üretim ise CO₂ seviyesinin artmasındaki diğer nedenlerden birisidir. Ancak, tarımsal ve hayvansal üretim diğer kategoriler kadar CO₂ seviyesini arttırmamaktadır.

CO₂ seviyesi arttıkça, çevre kirliliği artmakta ve insan sağlığına zarar vermektedir. En büyük zarar ise küresel ısınmanın tetiklenmesi ve iklim değişikliğidir. Küresel ısınma ve iklim değişiklikleri dünya üzerindeki doğal alanların bozulmasına ve canlıların yaşam kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu değişikliklerin sonuçları ise: Kutupların erimesi, canlıların yaşam alanlarını değiştirmesi, kuraklığın artması ve zararlı türlerin sayısının artmasıdır (National Geographic, 2019). Bu sonuçlar, çevre ve insan sağlığı açısından oldukça tehlikelidir.

Kutupların erimesinin sonucu olarak deniz seviyesi gün geçtikçe yükselmektedir. Deniz seviyesinin yükselmesi kıyı şeridinde kalan yerleşim yerlerinin ilerleyen yıllarda sular altında kalabileceğinin göstergesidir. Aynı zamanda kutupların erimesi sonucunda, kutuplarda yaşayan hayvan türlerinin sayısı giderek azalmaktadır. Bu türlerin neslinin tükenme ihtimalinin artması ve sayılarının azalması, kutup ekosistemini doğrudan etkilemektedir. Canlıların yaşam alanlarını değiştirmesi sonucunda ise, önceki yaşam alanları ve göç ettikleri yeni yaşam alanlarının ekosistemi tamamen değişecektir. Bu ise o ekosistemlerdeki bazı canlıların sayısının azalmasına, hatta türlerin yok olmasına, bazı canlıların ise sayılarının artmasına sebep olacaktır. Canlıların sayısının artması veya azalması ekosistemi doğrudan ve derinden

etkileyecektir ve insan yaşamına da zarar verecektir. Küresel ısınmanın artmasıyla belirli bölgelerde kuraklık artacak ve tarım ürünlerinin yetişmesi daha zor bir hale gelecektir. Tarım üretimindeki düşüş, tarımla uğraşan bireyleri ve ülkeleri ekonomik anlamda zor durumda bırakacak, sivrisinek ve diğer zararlı canlıların artmasıyla beraber, dünya genelinde hastalıkların yaygınlaşmasına ve insanların bu hastalıklara daha kolay yakalanmasına neden olacaktır. Bu etkiler dışında ise CO₂ gazının yüksek seviyelerde olması asit yağmurları ve insan sağlığını etkileyen diğer etkenleri de arttırmaktadır (Cochran, 2018). Bütün bu olumsuz etkilere rağmen dünya genelinde CO₂ salınımı her geçen yıl artmaktadır. Tablo 1.1. 2017 yılında en çok CO₂ salınımı yapılan ülkeleri metrik ton (Mt) olarak göstermektedir.

Sıra	Ülke	2017 Yılındaki CO ₂ Emisyonu (MtCO ₂)	Global Emisyon Oranı (%)
1	Çin	9.839	27,2
2	Amerika Birleşik Devletleri	5.269	14,6
3	Hindistan	2.467	6,8
4	Rusya	1.693	4,7
5	Japonya	1.205	3,3
6	Almanya	799	2,2
7	İran	672	1,9
8	Suudi Arabistan	635	1,8
9	Güney Kore	616	1,7
10	Kanada	573	1,6
11	Meksika	490	1,4
12	Endonezya	487	1,3
13	Brezilya	476	1,3
14	Güney Afrika	456	1,3
15	Türkiye	448	1,2
	Dünyanın Geri Kalanı	10.028	27,7

Tablo 1.1. Ülkeler Bazında 2017 yılı CO₂ Emisyon Verileri (Visualcapitalist, 2019)

Bu salınımı azaltmak için ülkeler farklı yollara başvurmaktadır. Ulaşım kategorisinin CO₂ salınımı çok fazla olduğu için yeşil lojistik kavramı başvurulan farklı yollar arasında en popüler olan ve gittikçe önem kazanan bir kavramdır. Yeşil lojistik anlayışının gittikçe benimsenmesi hem CO₂ salınımının azalmasına pozitif bir

katkıda bulunmaktadır hem de elektrikli araçların kullanım oranının artmasına sebep olmaktadır.

1.1. Yeşil Lojistik

Ülkeler çevre kirliliğini ve benzinli araçlara olan bağımlılığı azaltmak için yeni düzenlemeler ve kanunlar çıkarmaktadır. Öte yandan, ekonomik verimliliklerini arttırırken, aynı zamanda benzinli araçlara olan bağımlılıklarını azaltmak için getirdiği düzenlemelerin ve kanunların sürdürülebilir olmasına ve de güçlü bir parasal sisteme destek vermektedirler (Alshubiri, 2013). Bu süreçte araçların en fazla kullanıldığı ulaşım yani taşımacılık alanı büyük önem kazanmaktadır. Taşıma maliyetlerini azaltmak ve verimliliği arttırmak için firmaların lojistiğe (taşımacılık) daha çok önem vermeleri gerekmektedir. Bu alanda son yıllarda yeşil lojistik kavramı ön plana çıkmaktadır.

Yeşil lojistik, lojistik operasyonları sırasında çevreye verilen tüm zararların azaltılmasını ve bu operasyonların sürdürülebilir olmaya devam etmesini tanımlamaktadır. Ülkeler bu anlayışın daha fazla benimsenmesi için hem firmalara hem de bireylere teşvikler vermektedirler. Aynı zamanda, düzenledikleri kanun teklifleri ile de bu akıma devlet olarak desteklerini göstermektedirler. Bunun en belirgin örneği olarak; İngiltere'nin 2050 yılına gelindiğinde sera gazı salınımını sıfıra indirmek için mecliste kabul ettiği kanun teklifi dünyada bir ilk olmasıdır (Skidmore, 2019). İngiltere bu kanun teklifi ile birlikte, endüstriye bir yeşil büyüme sağlamak istediklerini belirtmiştir ve yeşil lojistik, yeşil büyüme vb. kavramların önemini vurgulamıştır. Ülkeler sadece yeni kanunlar çıkarmayıp firmaları ve bireyleri de çevreye daha az zararı olan ürünler almaya teşvik etmektedirler. Örneğin; Belçika Flanders bölgesinde yaşayan bireylere, elektrikli araç almak istedikleri takdirde 4000

EURO maddi destek sağlamaktadır ve Flanders bölgesindeki elektrikli araçlar kayıt vergisinden ve sahiplik vergisinden muaf tutulmaktadır (Evbox, 2019). Ülkelerin uyguladıkları bu teşvikler elektrikli araçların kullanımını arttırmakta, elektrikli araçların gelişiminde büyük rol oynamakta ve yeşil lojistik kavramının gün geçtikçe popülerleşmesini ve benimsenmesini sağlamaktadır. Bu sebeplerden dolayı yeşil lojistik anlayışının gün geçtikçe, sadece firmalar tarafından değil bireyler tarafından da benimsenmesi oldukça önemlidir.

1.2. Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçların maliyetleri benzinli araçlara göre daha az olduğundan ve çevreye daha az veya hiç zarar vermediklerinden, firmalar filolarındaki benzinli araçları elektrikli araçlar ile değiştirmeye başlamıştır. Elektrikli araçlar ilk piyasaya sürüldüğü yıllarda, araçların fahiş batarya fiyatları ve gidebilecekleri maksimum mesafenin sınırlı olmasından dolayı, istenilen başarıyı elde edememişlerdir (Schneider, Stenger ve Goeke, 2014). Ancak elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar ve iyileştirmeler sonucunda, günümüzde elektrikli araçlar benzinli araçlara kıyasla daha az maliyetli hale gelmiştir.

Elektrikli araçların çalışma prensibi benzinli araçlarla aynıdır. Elektrikli araçlarının bazı modellerinin benzinli araçlardan farklı oldukları noktalar ise:

- Benzin depoları yerine bataryaları vardır.
- Gidebilecekleri mesafeler benzinli araçlara kıyasla daha kısadır.
- Sera gazı salgılamadıkları için egzoz boruları yoktur.
- Elektrikli araçların şarj maliyetleri, benzinli araçların depolarının dolum maliyetinden daha azdır (Schneider, Stenger ve Goeke, 2014).
- Elektrikli araçlarda motor sesi benzinli araçlara oranla daha azdır.

Benzinli araçlar kendi içinde dizel yakıt kullanan araçlar, benzin kullanan araçlar ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanan araçlar olarak ayrılmaktadır. Aynı şekilde elektrikli araçlarda kendi içerisinde farklı kategorilere ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla;

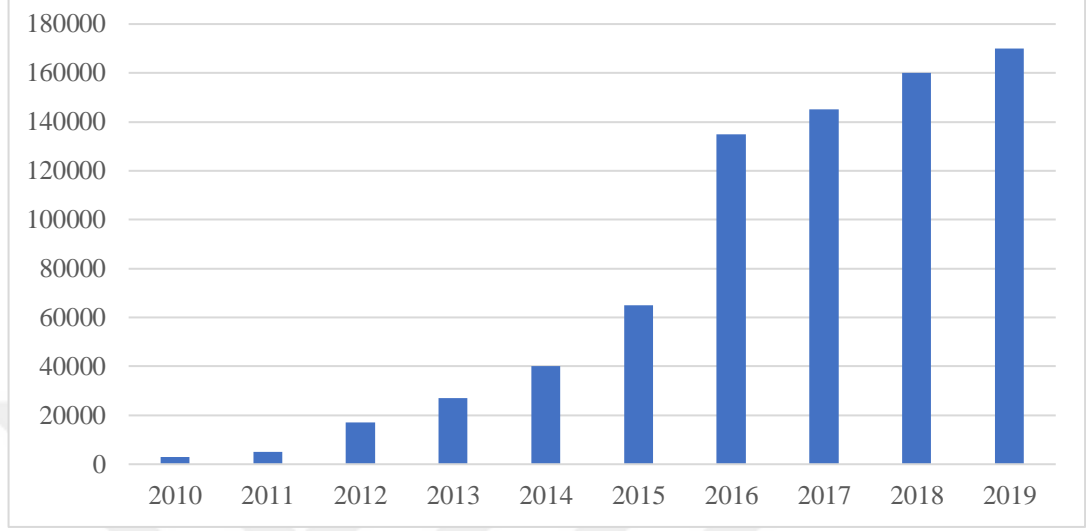
- Tamamen elektrikli otomobiller (Battery Electric Vehicles, BEV)
- Şarj edilebilir özellikli otomobiller (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV)
- Hybrid sistemli otomobiller (Hybrid Electric Vehicles, HEV).

BEV kategorisindeki araçlar tamamen elektrik ile çalışmaktadır. Aynı zamanda BEV kategorisindeki araçların motorları tamamen elektrikli motorlar olup gaz emilimi sıfırdır, yani CO₂ salınımı yapmamaktadırlar. BEV araçlar dışarıdan bir kaynak ile şarj edilebilmektedirler. PHEV kategorisindeki araçların az da olsa CO₂ salınımı bulunmaktadır. Bu araçlar da dışarıdan bir kaynak ile şarj edilebilmektedir. Aynı zamanda frenleme sistemi ile de kendilerini şarj edebilmektedirler. HEV kategorisindeki araçlar ise hem elektrik hem de benzin ile çalışmaktadır. Araçlardaki batarya frenleme yapması ile şarj olmaktadır. HEV araçlar da PHEV araçlar gibi CO₂ salınımı yapmaktadır.

Elektrikli araçların kullanımının artması için sadece modellerin geliştirilmesi yetmemekte, şarj istasyonu alt yapıları da artan elektrikli araç kullanımı ve yenilenen modeller ile paralel şekilde gelişmelidir. Ülkelerin elektrikli araçlara ve şarj istasyonlarına yaptıkları yatırım arttıkça, elektrikli araç sayıları ve ülkelerde bulunan şarj istasyonları sayısı da her geçen gün artmaktadır. Bu durum ise elektrikli araçların model ve tip fark etmeksizin kullanımının artmasını pozitif yönde etkilemektedir. Şekil 1.1., 2010 ve 2019 arasında Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkelerin toplam şarj

istasyonu sayısını göstermektedir. AB ülkelerinde şarj istasyonu sayısı yıllar bazında artmıştır ve artmaya devam etmektedir.

Şekil 1.1. Avrupa Birliğindeki Ülkelerin 2010-2019 Arası Şarj İstasyonları Sayısı (Statista 2019)



Türkiye’de şarj istasyonlarının sayısı ve elektrik araçların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye’de elektrikli araçların kullanım oranı AB ülkelerine ve Amerika’ya oranla az olsa da, nüfusun fazla olması ve araç satın alma oranlarının yüksek olması Türkiye’nin elektrikli araçların kullanımının artması yönünde önemli potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Saygın vd., 2019). 2019 yılında Türkiye’de ticari şarj istasyonu sayısı 582’dir (Ardıncı, 2019). 2019 Ekim ayı verilerine göre Türkiye’de bulunan elektrikli araç sayısı 2019 yılının başına göre artmış olup, Türkiye’de kayıtlı %100 elektrikli araç sayısı 1310 adete ulaşmıştır (Tehad, 2019). Aynı zamanda Türkiye’de bulunan şarj istasyonu hizmeti veren firmaların sayısı da giderek artmaktadır. 2019 yılı itibarı ile Türkiye’de şarj istasyonu hizmeti veren 18 firma bulunmaktadır. Türkiye elektrikli araçlar konusunda kendisini her geçen gün geliştirmeye çalışmaktadır. Bu bağlamda devlet tarafından şu teşvikler uygulanmıştır (Saygın vd., 2019):

- İlk olarak elektrikli araçlar için 2011 yılında özel tüketim vergisinde (ÖTV) değişiklik yapılmıştır.
- İkinci ÖTV değişikliği ise 2016 yılında gelmiştir. Bu değişiklik ile bir kısım elektrikli araçta ÖTV %90'dan %45'e düşürülmüş ve bir kısım elektrikli araç için ÖTV %145'den %90'a düşürülmüştür (Resmi Gazete, 2016).
- 2018 yılında ise elektrikli araçlar için %25 motorlu taşıtlar vergisinin uygulanmasına karar verilmiştir.

Ancak elektrikli araçların Türkiye'de daha hızlı yaygınlaşması için sadece araç satışlarını arttırmak için çalışmalar yapılmamalıdır. Aynı zamanda şarj istasyonları alt yapıları ve teknolojileri de sürekli olarak geliştirilmelidir. Örneğin; Avrupa Komisyonu üye ülkeler için şarj altyapılarına rehberlik etmektedir ve 2020 yılında her 10 araç için 1 şarj istasyonu olması gerektiğini belirtmiştir (Saygın vd., 2019). Türkiye'de de bunun gibi yaklaşımlar oluşturmalı ve takip edilmelidir.

Benzin fiyatının dalgalanması, çevresel farkındalığın artması ve devlet desteği ile Türkiye'de elektrikli araç sayısının artması olasıdır. Firmaların da bu bağlamda maliyetlerini düşürmek ve çevreye zarar vermemek için elektrikli araçları tercih etmesiyle bu sayının giderek artması beklenmektedir.

Firmalar maliyetlerini düşürmek için elektrikli araçları tercih ederken aynı zamanda araç rotası planlamasına da büyük önem göstermektedir. Rota planlaması ve rota optimizasyonunun maliyetleri düşürmek için önemli bir adım olduğu gün geçtikçe anlaşılmaktadır. Rota planlamasının akademik literatürdeki adı araç rotalama problemleri (ARP) olarak geçmektedir.

1.3. Araç Rotalama Problemleri (ARP)

Lojistik materyallerin ve gerekli bilgilerin dağıtımının planlanması ve kontrol edilmesi ile ilgilenmektedir (Ghiani, Laporte ve Musmanno, 2004). Başka bir deyişle lojistiğin görevi doğru zamanda doğru materyali doğru yere en optimal şekilde (en az maliyet, en kısa zaman vb.) ulaştırmaktır (Ghiani, Laporte ve Musmanno, 2004). Lojistik sistemleri ise birçok farklı tesisin (üretim, dağıtım, son kullanıcı vb.) birbirine bağlı olduğu dağıtım sistemleridir (Ghiani, Laporte ve Musmanno, 2004).

Lojistik sistemlerinin kompleks ve zaman alıcı bir hale gelmesi firmaları teslimat planlarını daha detaylı ve dikkatli yapmaya itmiştir (Baran, 2018). Firmalar dağıtım maliyetlerini azaltmak için dağıtım esnasında en kısa yolu kullanmaya çalışmaktadır. Bu sebepten ötürü firmalar filolarında bulunan araçları en iyi şekilde koordine etmeye çalışmaktadır. Bu problemin adı literatürde Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem, ARP) olarak geçmektedir. ARP oldukça geniş ve literatürde kendisine fazlasıyla yer bulan bir konudur. ARP, Gezgin Satıcı Problemi'nden (Travelling Salesman Problem, TSP) türetilmiştir. TSP'de, satıcının tüm müşterilere uğraması ve bunu yaparken en kısa yolu kullanması hedeflenmektedir.

ARP'de de temel amaç, TSP'de olduğu gibi, en kısa rotayı kullanarak maliyeti düşürmektir. ARP'de en kısa mesafe bulunmaya çalışırken zaman penceresi, kapasite, araç sayısı gibi kısıtlar eklenilebilir. Bu kısıtlar sayesinde ARP'leri gerçek hayattaki problemlere yaklaştırmak hedeflenmektedir. Aynı zamanda bu kısıtların her birisi ARP'lerin farklı bir dalını ifade etmektedir. ARP'lerde en çok kullanılan dallar ise şunlardır (Cordeau vd., 2007):

- Klasik Araç Rotalama Problemi (KARP)
- Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (ZKARP)

- Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP)
- Dağıtım ve Toplamalı araç Rotalama Problemleri (DTARP)
- Stokastik Araç Rotalama Problemleri (SARP)
- Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP)

ARP'ler farklı dallarda farklı kısıtları hedef alabileceği gibi, tüm kısıtları içerisinde bulunduran tek bir problem halinde de karşımıza çıkabilmektedir.

1.4. Araç Rotalama Problemleri Çeşitleri

1.4.a. Klasik Araç Rotalama Problemi (KARP)

KARP'de amaç; minimum araç sayısı veya aracın yakıt masrafı, araç sürücülerine ödenen ücret vb. şekilde oluşan maliyetleri en aza indirmek ve/veya en kısa rota ile aracın veya araçların depodan çıkıp, tüm talepleri karşılayıp geri dönmesidir (Belfiore, Tsugunobu ve Yoshizaki, 2008). KARP'de her bir müşteri sadece bir kez ve bir araç tarafından ziyaret edilmelidir. Tüm müşteriler ziyaret edilip, müşterilerin talepleri karşılandıktan sonra araçlar depoya geri dönmelidir.

1.4.b. Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (ZKARP)

ZKARP'ler, KARP'ın uzantısı olup, ARP'ler de çok kullanılan iki çeşitten birisidir. ZKARP'de müşterilerin en erken ve en geç servis zamanları belirlenmiştir ve bu zaman pencereleri arasında müşterinin talebini en az maliyet ile karşılamak hedeflenmektedir (Desrochers, Desrosiers ve Solomon, 1992). ZKARP'de her bir müşterinin zaman aralığı $[a_i, b_i]$ şeklinde ifade edilmektedir, a_i i lokasyonunda (nod) servisin başlama zamanını belirtirken, b_i i nodunda servisin bitme zamanını ifade etmektedir

1.4.c. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP)

KKARP, ARP'lerde en çok kullanılan ikinci problem çeşitidir. KKARP özdeş araçlardan oluşan bir filo ile, tek bir depodan talepleri belirli olan müşterilere en az maliyet ile rota planlaması yapmayı hedefler (Baldacci, Mingozzi ve Roberti, 2012).

1.4.d. Dağıtım ve Toplamalı araç Rotalama Problemleri (DTARP)

DTARP, ARP'nin bir uzantısı olup, araçların müşterilere teslimat yapmasını ve daha sonrasında müşterilerden toplama yapılmasını hedefler ve minimum maliyet ile bu hedefi gerçekleştirmeye çalışır. DTARP tasarımında tüm araçlar depodan başlar ve depoya geri döner. Her bir dağıtım ve toplama işlemi bir araç tarafından gerçekleştirilirken minimum maliyeti bulmak hedeflenir (Hoff, Gribkovskaia, Laporte ve Løkketangen, 2009). Dağıtım ve toplama işlemleri tek bir araç tarafından peş peşe yapılabileceği gibi, tek veya iki araç tarafından farklı aralıklarla da yapılabilmektedir (Hoff, Gribkovskaia, Laporte ve Løkketangen, 2009). DTARP'de dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Müşterinin teslimat ve dağıtım talepleri araçların kapasitesini geçemez.
- Her araç turlarına depodan başlayıp, tur sonunda depoya geri dönmelidir.
- Müşterilere teslimat yapıldıktan sonra, müşterilerden tekrar toplama yapılmalıdır.

1.4.e. Stokastik Araç Rotalama Problemleri (SARP)

SARP'de bazı öğeler belirsizdir ve problem bu belirsizlikler üzerine kurularak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu belirsizlikler, nodlar arası seyahat süreleri, ziyaret edilecek müşteri sayısı, müşterilerin talepleri vb. olabilmektedir (Gendreau, Laporte

ve S guin, 1996). SARP problemlerinde müşterilerinin taleplerinin tahmin edilebilmesi için, her müşterinin talebine bir olasılık değeri verilmektedir (Secomandi, 2001). Problemin  z m aŐamasındaki belirsizlikten dolayı araçların kapasite sınırı aŐılabılır, böyle bir durumda tekrar baŐa dönülmesi gerekebilir (Secomandi, 2001).

1.4.g. Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP)

EARP'ler, KARP'lerin bir uzantısı olup teslimat için kullanılan araçların elektrikli olmasından dolayı KARP'lerden ayrılmaktadır. EARP'ler, dünya genelinde elektrikli araç sayısının artmasıyla, hem bireylerin hem de firmaların fosil yakıtlı araçlarını elektrikli araçlarla deęiŐtirmesinden sonra ortaya çıkmıştır ve giderek daha popüler hale gelmektedir. EARP'lerde ana sorun, elektrikli araçların gidebileceği maksimum mesafe, benzinli araçların gidebileceği mesafeden az olmasıdır. Bu sebepten ötürü elektrikli araçlar bir rotayı tamamlamak için birkaç kez Şarj istasyonuna uğramak zorunda kalabilir (Kesin ve  atay, 2018). Elektrikli araçların bataryaları araçtan araca farklılık göstermektedir. Aynı zamanda Şarj istasyonları da farklı çeŐitte Şarj tiplerine (hızlı Şarj, yavaŐ Şarj vb.) sahip olabilirler (Kesin ve  atay, 2018). Elektrikli araçların batarya dolum maliyeti ise, aracın Şarj istasyonunda kaldığı dakika başına hesaplanmaktadır. EARP'lerde dikkat edilmesi gereken hususlar Şunlardır:

- Araçların batarya kapasitesine göre gidebileceği maksimum mesafe göz önüne alınmalıdır.
- Aracın bataryasının dolum süresine dikkat edilmelidir ve teslimatlar bu sürede dahil edilerek planlanmalıdır.
- Şarj istasyonlarındaki Şarj tipleri farklılık gösterebilir. Bu yüzden farklı Şarj tipleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu tez çalışmasında amaç araç rotalama problemlerinde elektrikli ve benzinli araçları maliyet açısından kıyaslamaktır. Farklı müşteri lokasyonlarının ve müşteri sayılarının bulunduğu senaryolarda örnek model olarak seçilen elektrikli araçların ve benzinli aracın Karşılaştırmalar yapıldıktan sonra sonuçlara göre elektrikli ve benzinli araçlar için genel çıkarımlar yapılmış olup hangi durumlarda (mesafe, müşteri sayısı vb.) hangi yakıt türünü kullanan aracın tercih edilmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu tez çalışmasıyla giderek popülerleşen ve ilgili çalışmalara henüz çok az rastlanan elektrikli araçlar ile araç rotalama problemlerine Türkiye örneği üzerinden katkılar yapılacaktır. Bu çalışma, yapılan araştırmalar dahilinde ve belirlenen kısıtlar altında Türkiye’de yapılmış ilk elektrikli – benzinli araç karşılaştırmasıdır. Bu kapsamda literatüre önemli ve eşsiz katkılar sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında ilerleyen bölümlerde sırasıyla şu bölümler ve içerikler yer almaktadır: Literatür Taraması bölümünde ARP’ler ve EARP’ler hakkında yapılmış olan çalışmalar anlatılmaktadır. Metodoloji bölümünde ARP’ler ve en çok kullanılan ARP çeşitleri matematiksel olarak tanımlanmış, çalışmada kullanılan model de tüm detayları ile anlatılmıştır. Veri ve Modelleme bölümünde, kullanılan verilerden, oluşturulan senaryolardan, bu senaryoların nasıl oluşturulduğundan ve senaryolar çözümlendikten sonra ortaya çıkan sonuçlardan bahsedilmiştir. Sonuç bölümünde ise çalışmanın sonuçları yorumlanmış, genel çıkarımlar ve tavsiyeler yapılmıştır.

BÖLÜM II

LİTERATÜR TARAMASI

Elektrikli araçların çıkışının üzerinden her ne kadar zaman geçse de sürekli gelişime açık bir alandır. Literatürde elektrikli araçlarla ilgili yapılan çalışmalarda çok farklı perspektifleri görmek mümkündür. Aynı zamanda ARPlar de akademik çalışmalara fazlasıyla konu olmuş problemlerdir. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile EARP üzerine yapılan çalışma sayısında bir artış vardır. Bu bölümde ARP'ler ve EARP'ler için çalışmalar ayrı başlıklar altında sunulmuştur.

2.1. Araç Rotalama Problemleri (ARP)

ARP bir veya birkaç depodan, coğrafik olarak dağınık olan müşterilere yapılacak teslimatlar için bir amaç fonksiyonu ve alt kısıtlar içerisinde tasarlanan rota veya rotalar olarak tanımlanabilir (Laporte, 1992). ARP ilk olarak 1959 yılında tır sevkiyatı problemi olarak literatürde yer bulmuş ve gezgin satıcı probleminden türetilmiştir (Dantzig ve Ramser, 1959). ARP'ler NP-Zor (çözümlemesi için gereken zamanın problemin büyüklüğü arttıkça katlanarak arttığı ve gerçek zamanda çözülemeyen) problemler olup, gerçek hayat problemlerinde kesin sonuçlar elde etmek güçtür (Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012).

Dantzig ve Ramser'ın 1959 yılında yaptıkları çalışma ilk ARP çalışması olarak kabul edilmektedir (Dantzig ve Ramser, 1959). Bu çalışmada her bir istasyonun talep miktarı ve istedikleri ürün belirlidir ve bu talep tek bir teslimatta karşılanabilmektedir. Çalışma için oluşturulan model araçların katettikleri mesafeyi minimize ederken aynı zamanda hesaplama maliyetini de minimuma indirmeye çalışır.

Morganti ve Gonzalez-Feliu, 2015’de yaptıkları vaka analizi çalışmasında İtalya’nın Parma şehrinde kolay bozulabilen gıda maddelerinin dağıtımını incelemiştir (Morganti ve Gonzalez-Feliu, 2015). Bu çalışmada 2 önemli kriter ele alınmıştır. Bunlar; kentsel teslimat şemasının performansını etkileyen lojistik, teknoloji ve organizasyonel değişkenler ve trafik regülasyonlarını belirleyen kamu otoriteleridir. Çalışmanın sonucunda, kolay bozulabilen gıdalar için soğuk zincirin ve hijyen standartlarının sürdürülmesi aynı zamanda gıdaların saklanabilmesi için gerekli alanın bulunması, şehir içi lojistik yapılanması girişimlerinin uygulanmasını oldukça zor kıldığı görülmüştür. Ancak geliştirilmiş lojistik sistemlerinin de önceki sistemlere göre daha fazla faydasının olduğu da kanıtlanmıştır.

El-Sherbeny ve Nasser 2010 yılında ZKARP üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yazarlar ZKARP’yi, ARP’nin genelleştirilmiş ve gerçek hayata uygulanabilecek basit dağıtım problemleri olarak tanımlamıştır (El-Sherbeny ve Nasser, 2010). Çalışmada ZKARP’nin çözümleri için kullanılmış olan sezgisel ve metasezgisel yöntemler incelenmiştir. İncelenen yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Cordeau, Gendreau ve Lapoterte 1997 yılında yaptıkları çalışmada ARP’nin 3 farklı versiyonu, periyodik araç rotalama problemi (PARP), periyodik TSP ve birden fazla depolu araç rotalama problemi için bir TABU arama algoritması (TABU Search) sunmuşlardır (Cordeau, Gendreau ve Lapoterte, 1997). İlk olarak PARP’in modeli oluşturulmuş, daha sonrasında bu modelin diğer iki versiyona da nasıl uygulanabileceğini göstermişlerdir. Çalışmanın sonucunda ise sunulan TABU arama algoritmasının literatürde bulunan TABU arama algoritmalarına göre daha az kullanıcı kontrolü gerektiren bir algoritma olması ve bu algoritmanın seçilen tüm problemleri çözebiliyor olmasını kanıtlamışlardır.

Baker ve Ayechev 2003 yılında yaptıkları çalışmada, talepleri kesin bir şekilde bilinen ve bu taleplerin sadece bir depodan karşılanacağı bir ARP'yi ele almıştır ve Genetik Algoritma (GA) ile çözümlenmiştir (Baker ve Ayechev, 2003). Çalışmanın sonucunda GA'nın, ARP'yi çözmek için efektif bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Aynı zamanda, GA'nın diğer modern sezgisel modellere karşı güçlü ve efektif bir rakip olduğu da kanıtlanmıştır.

Li, Golden ve Wasil, 2005 yılında yaptıkları çalışmada 12 farklı ARP'yi rota uzunluğu kısıtları koyarak oluşturmuştur (Li, Golden ve Wasil, 2005). Her bir senaryoda 560 – 1200 müşteri bulunmaktadır. Bu çalışmada amaç, çok büyük ARP'lerde çözüm algoritmalarını ve sonuçları görmektir. Çalışmanın sonucunda 7 küçük boyutlu ARP'de çözüm süreleri oldukça kısa (0.41 dakika) ve çözüm sonuçlarının yüksek kalitede olduğu belirlenmiştir.

Crevier, Cordeau ve Laporte, 2007 yılında yaptıkları çalışmada birden fazla deponun bulunduğu ve araçların herhangi bir depoda yük ikmalinin yapılmasına olanak sağlayan bir ARP üzerinde çalışmışlardır (Crevier, Cordeau ve Laporte, 2007). Çalışmaya olan ilgi ise Montreal bölgesinde karşılaşılan bir market problemi üzerinden doğmuştur. Çalışmada TABU arama algoritması kullanılmıştır çünkü TABU arama algoritması KARP'lerde ve birden fazla deponun bulunduğu ARP'lerde başarısını geçmiş çalışmalarda kanıtlamıştır. Problemlerin çözümünde ortaya çıkan ilk sonuçlarda ana depo hariç diğer depoların ziyaret edildiği rotalar beklenenden daha az oluşmuştur. İkinci aşama sonuçlarda ise, depolar arası yolların daha muhtemel olacağı durumlar oluşturmak için tüm araçların ana depoda olduğu düşüncesi temel alınmıştır ve diğer depolar sadece ara yük ikmalinin yapılabileceği yerler olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, yol üzerinde ikmal yapılabilecek birden fazla deponun bulunduğu durumlar ARP problemlerinin çözümünde zorluklara yol açtığı kanısına

varılmıştır. Sonuçlar daha önceki yapılmış limitli sayıdaki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır ve sezgisel yöntemler, geçmişteki çalışmalara göre, daha kısa çözüm süresinde daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Yang, Mathur ve Ballou, 2000 yılında yaptıkları çalışmada stokastik talebe sahip müşterilerin bulunduğu ve araçların yeniden doldurulması imkanının bulunduğu bir ARP'yi ele almışlardır (Yang, Mathur ve Ballou, 2000). Çalışmada müşteri talepleri dışında diğer durumlar bilinmektedir. Müşterinin talepleri müşteri ziyaret edilene kadar öğrenilememektedir, bu yüzden yeniden ikmal oranları vb. değerler ancak müşteri ziyaret edildikten sonra kesinleşmektedir. Çalışmada tüm problemler tamamen rastgele üretilmiştir ve problemler de 10 – 60 arası değişen müşteri sayısı bulunmaktadır. Problemlerin çözümü için iki farklı sezgisel metot kullanılmıştır. Tüm problemler iki sezgisel yöntemle de çözülmüş olup, iki yöntem de verimli ve iyi sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Çalışmanın sonucunda ise sezgisel yöntemlerin, bu çalışma için deterministik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.

Figliozi 2010 yılında yaptığı çalışmada, ARP için sera gazı salınımını minimuma indirmeyi hedeflemiştir (Figliozi, 2010). Bu çalışmada gaz salınımının ve yakıt tüketiminin minimize edilmesi ilk hedef olarak ya da maliyet fonksiyonunun bir parçası olarak ele alınması hedeflenmiştir. Depodan ayrılma zamanı ve araç hızı ise karar değişkenleri olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, gaz salınımını zaman kısıtlarının da içinde bulunduğu bir ARP de minimize etmek için oluşturulan model literatürde bir ilktir. Gaz salınımı maliyeti ise belirli parametreler içerisinde tahmin edilerek bulunmuştur ancak bu tahmin oldukça kısıtlıdır çünkü gaz salınımının sosyal, çevresel ve canlıların sağlığı üzerindeki etkileri belirlemek oldukça zordur. Çalışmada iki farklı model oluşturulmuştur ve buna ek olarak araç hızı karar değişkeni olarak ele alınmıştır. Gaz salınımı oranı ise araç hızının bir fonksiyonu olarak ele alınmıştır.

Çalışmanın sonucunda, eğer gaz salınımı rota planlama aşamasında dikkate alınırsa gaz salınımı oranının önemli ölçüde azaltılabileceği kanıtlanmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada, trafiğin sıkışık olduğu alanlarda, sağlıksız veya sera gazı salınımı oranının azaltılabileceği ancak bu durumda rota maliyetlerinin ise minimal bir artış olabileceği kanıtlanmıştır.

2.2. Elektrikli Araç Rotalama Problemleri (EARP)

EARP'ler geçtiğimiz yıllarda giderek önem kazanmıştır. Literatürde EARP'ler üzerine çok farklı çalışmalar ve perspektifler vardır. EARP'ler üzerine yapılan çalışmaların sayısı, çevresel farkındalığın artmasına paralel bir şekilde artmaktadır.

Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012'deki çalışmalarında EARP'yi yeşil ARP altında ele almıştır ve turu tamamlamak için tur esnasında tekrardan şarj olmaları gerekebileceğini belirtmiştir (Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012).

Keskin ve Çatay, 2018 yılında yaptıkları çalışmada şarj istasyonların da farklı tip şarj edilme, normal – hızlı – çok hızlı opsiyonlarının olduğunu varsayarak ve probleme zaman kısıtı da ekleyerek EARP ve ZKARP'nin bir arada bulunduğu bir problemi ele almışlardır (Keskin ve Çatay, 2018). Bu çalışmada, 2 farklı model geliştirilmiş ve uyarlanabilen büyük komşuluk arama algoritması kullanılmıştır ve oluşturulan 2 model, çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından birbiri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, oluşturulmuş büyük senaryolarda hızlı şarj opsiyonunun avantajı kanıtlanmıştır. Zaman kısıtının dar olduğu bütün senaryolarda daha düşük enerji maliyeti ile optimal rotalar elde edilebilmiştir. Ancak, zaman kısıtının daha geniş olduğu senaryolarda hızlı şarj opsiyonunun etkisinin daha düşük olduğu kanıtlanmıştır.

Barco, Guerra, Muoz ve Quijano, 2017 yılında elektrikli araçların toplu taşıma araçlarına uygulanmasını incelemiş ve bir vaka analizi yapmışlardır (Barco, Guerra, Muoz ve Quijano, 2017). Elektrikli araçların toplu taşımalara entegre edilmesinde 3 önemli kriter vardır. Bunlar; toplu taşıma araçlarına yönlendirilmiş elektrikli araç sayısı, ücretin zamanlanması/güncellenmesi ve batarya ömrü/sağlığıdır. Çalışmada bu kriterler dikkate alınarak bir model oluşturulmuş ve çözümlenmiştir. Çalışmada optimal rotalar bulunmuş ve operasyonel maliyet minimize edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda rota planlaması ve ücret güncellenmesinin batarya sağlığı üzerinde olumlu etkisi olduğu kanıtlanmıştır.

Conrad ve Figliozi, 2011 yılında EARP zerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaya araç kapasitesi ve zaman kısıtı da dahil edilmiştir (Conrad ve Figliozi, 2011). Yapılan çalışmanın sonucunda zaman aralıklarının, araç menzili kısıtlandığında ve şarj süresi uzun olduğunda tur mesafesini kısıtladığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda gelecekte bu çalışmaya değişken müşteri talepleri ve farklı kısıtlar ekleneceği belirtilmiştir.

Lin, Zhou ve Wolfson, 2016 yılında EARP'ler üzerine yaptıkları çalışmada minimum seyahat süresi, minimum enerji maliyeti ve en az elektrikli araç ile en optimal rotayı bulmayı amaçlamışlardır (Lin, Zhou ve Wolfson, 2016). Çalışma için oluşturulan modelde, elektrikli araçların yükünün enerji tüketime etkisi de araştırılmıştır. Bu açıdan bu çalışma bir ilktir (Lin, Zhou ve Wolfson, 2016). Çalışmanın sonucunda, enerji tüketime sadece aracın hızına bağlı olmadığı aynı zamanda aracın yüküne ve müşterileri ziyaret sırasına da bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Dizel yakıt tipi kullanan araç ile karşılaştırma yapıldığında ise seyahat süresinde ve mesafesinde karşılaştırılabilir olduğu ancak elektrikli araçların

şarj süresinin önemli bir işçilik maliyeti çıkardığı kanıtlanmıştır. Son olarak, şarj istasyonlarının dağılımının rotaları etkilediği kanıtlanmıştır.

Sassi, Cherif-Khettaf ve Oulamara, 2014 yılında yaptıkları çalışmada heterojen yapıda bulunan bir elektrikli araç filosunun bulunduğu bir EARP çalışması gerçekleştirmiştir (Sassi, Cherif-Khettaf ve Oulamara, 2014). Çalışmada, şehirde dağınık halde bulunan müşterilerin, en az sayıda elektrikli araç, minimum taşıma maliyeti ve minimum şarj maliyeti ile ziyaret edilmesi hedeflenmiştir. Filoda bulunan araçların batarya kapasiteleri ve taşıma kapasiteleri farklıdır. Aynı zamanda şehir içinde kullanılacak şarj istasyonlarının sahip olduğu şarj tipleri de farklılık göstermektedir ve bu yüzden farklı maliyetlere sahiplerdir. Araçlar ise şarj istasyonlarına uğradıklarında tamamen ya da kısmen şarj edilebilmektedir. Problem, 9 farklı gerçek veri seti üzerinde farklı sezgisel metotlar ile çözümlenmiştir. Çalışmanın sonucunda ise sezgisel metotların sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmış ve hangi metodun (hangi kısıtlar dahilinde, farklı senaryolarda vb. değişikliklerde) daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Verma, 2018 yılında EARP'ler üzerine yaptığı çalışmada araçların şarj istasyonlarına uğradıklarında şarj edilmesi yerine boş bataryaların dolu bataryalar ile değişmesinin zaman kısıtlarına etkisini incelemiştir (Verma, 2018). Çalışmada elektrikli araçların istenilen kullanım oranına ulaşamamasının iki nedeni olduğu belirtilmiştir. Bunlar: elektrikli araçların satış fiyatlarının benzinli araçlara göre daha fazla olması ve elektrikli araçların gidebileceği mesafelerin benzinli araçlara göre daha kısa olmasıdır. Çalışmada her şarj istasyonunun hem araçları şarj edebilme özelliğine hem de batarya değiştirme özelliğine sahip olduğu varsayılmıştır. Ancak batarya değiştirme işleminin maliyeti, şarj edilme maliyetine göre daha fazladır. Problem NP-Zor olduğu için çalışmada farklı sezgisel metotlar geliştirilmiştir. Çalışmanın

sonucunda batarya değiştirme işlemi uygulandığında daha optimal rotaların oluştuğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda bazı senaryolarda ise batarya değiştirmenin toplam maliyeti azalttığı kanıtlanmıştır.

Pelletier, Jabali ve Laporte, 2019 yılında yaptıkları çalışmada EARP’lerde enerji tüketimeindeki belirsizlikleri rota planlaması aşamasına eklemişlerdir (Pelletier, Jabali ve Laporte, 2019). Bu belirsizlikler dış ve iç faktörler olarak ikiye ayrılmıştır. Dış faktörler, rüzgar durumu, hava koşulları ve yol durumu vb. faktörler olarak tanımlanmışken; iç faktörler ise sürücü davranışı, sürüş hızı vb. faktörler şeklinde belirtilmiştir. Çalışmanın amacı, bu faktörleri kapsayan bir model oluşturulup problemin özömlenmesi ve bu şekilde enerji tüketimeindeki belirsizlikler yüzünden elektrikli araç kullanıcılarının yolda kalmasını engellemektir. Problemin özömlenmesi için iki aşamalı bir model geliştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, oluşturulan modelin maliyet ve risk arasında nasıl bir denge kurduğu ve farklı belirsizlik parametrelerinin çözüm ile korelasyonu gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında literatürde bahsedilen çalışmalardan farklı olarak elektrikli araçların yanı sıra benzinli araçlar için de rota planlaması yapılmış ve maliyetleri elektrikli araçların maliyetleri ile karşılaştırılmıştır. Bir diğer fark ise bu alışma, Veri ve Modelleme bölümünde bahsedilen kısıtlar altında yapılmış Türkiye’deki ilk elektrikli – benzinli araç karşılaştırması çalışmasıdır. Çalışmada kullanılan veriler ise gerçek verilerdir.

BÖLÜM III

METODOLOJİ

Bu tez çalışmasının bu bölümünde, çalışmada kullanılan modelin programlamasında kullanılan matematiksel programlama çeşitleri açıklanmıştır ve ARP'lerin en çok kullanılan çeşitleri matematiksel olarak tanımlanmıştır.

3.1. Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama, matematiksel programlamanın bir alt dalı olup, bir matematiksel model öncülüğünde en iyi sonucu (maksimum kar, minimum maliyet vb.) bulmaya çalışan bir yöntemdir (Sen, 2009). Doğrusal programlamanın tüm matematiksel modeli, problemin durumunu belirten karar değişkenlerine göre doğrusal denklemleri (kısıtları) ve amacı tanımlayan ve yine karar değişkenlerine göre doğrusal olan bir fonksiyon (amaç fonksiyonu) barındırmaktadır (Gass, 1995). Matematiksel olarak doğrusal programlama, doğrusal bir fonksiyonun, doğrusal kısıtları dahilinde ve değişkenlerin negatif olmama kısıtına göre, doğrusal fonksiyonun maksimum veya minimum (optimal) değerini bulmaya çalışmaktadır (Dano, 1974). Doğrusal programlamada optimize edilmeye çalışılan doğrusal fonksiyona amaç fonksiyonu denmektedir (Lewis, 2008). Doğrusal programlamada karar değişkenleri ise $X_1, X_2 \dots X_n$ şeklinde ifade edilmektedir (Lewis, 2008). Tüm kısıtları tatmin eden karar değişkenleri setine uygulanabilir nokta (Feasible Point) denirken, uygulanabilir noktalardan oluşacak bir set de uygulanabilir bölge (Feasible Region) olarak adlandırılmaktadır. Lewis, 2008'de yaptığı çalışmada doğrusal programlamada 4 farklı varsayım olduğunu belirtmiştir (Lewis, 2008). Bunlar:

- Oransallık: Her bir karar değişkeninin amaç fonksiyonuna veya kısıta katkısı, karar değişkeninin oranı kadardır.
- Toplamsallık: Bir karar değişkeninin amaç fonksiyonuna veya kısıta katkısı, diğer karar değişkenlerinden bağımsızdır.
- Bölünebilme: Karar değişkenleri kesirli olabilir.
- Kesinlik: Tüm parametreler (amaç fonksiyonun ve kısıtların katsayıları) kesin bir şekilde bilinmektedir.

Doğrusal programlama modelleri literatürde farklı alanlarda sıkça kullanılmıştır ve kullanılmaya devam etmektedir.

3.2. Tam Sayılı Programlama

Tam sayılı programlama, bir matematiksel optimizasyon modeli olup, değişkenlerin bazılarının ya da hepsinin tam sayı olarak sınırlandırıldığını belirtir (Bradley, Hax ve Magnanti, 1977). Eğer tam sayılı programlamada tüm karar değişkenleri tam sayılı değil ise problem tam sayılı programlama değil karışık tam sayılı programlamadır.

3.2.a. Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama

Karışık tam sayılı doğrusal programlamada, doğrusal programlamaya ek olarak değişkenlerin bazıları sadece tam sayılı değerler alabilmektedir (Türkay, 2011). Karışık tam sayılı doğrusal programlamada çözüm için genellikle dal sınır (Branch and Bound) algoritması kullanılmaktadır (Türkay, 2011).

3.3. Araç Rotalama Problemleri (ARP)

ARP, TSP'den türetilmiştir (Dantzig ve Ramser, 1959). ARP'lerin genelinde amaç, homojen yapıdaki araçlardan oluşan bir araç filosu için maliyeti veya katedilen

mesafeyi minimize etme hedefiyle, belirli kısıtlar içerisinde bir rota oluşturmaktır (Groër, Golden ve Wasil, 2009).

ARP'ler NP-Zor (NP-Hard) problemlerdir (Dror, Laporte ve Trudeau, 1994). KARP'nin tanımlanması şu şekildedir (Cordeau, Laporte, Savelsbergh ve Vigo, 2007): Simetrik ARP yönlendirilmemiş bir grafik üzerindedir ve $G = (V, E)$ şeklinde tanımlanır. V ve E tepe noktaları olarak tanımlanmaktadır. V seti $V = \{0, \dots, n\}$ ile tanımlanmış bir tepe/nod setidir, n ise toplam nod/nokta sayısını ifade etmektedir. Her bir tepe $i \in V \setminus \{0\}$, q_i talebine sahip ve talebin negatif olamayacağı i müşterisini ifade etmektedir. 0 tepe noktası ise depoyu ifade etmektedir (Cordeau, Laporte, Savelsbergh ve Vigo, 2007):.

ARP'lerin kısıtlarının bazıları şunlardır (Cordeau, Laporte, Savelsbergh ve Vigo, 2007):

- Her bir müşteri sadece bir kez ve bir rota ile ziyaret edilir.
- Her rota depodan başlar ve depoda sona erer.
- Müşterinin talebi araç kapasitesini geçemez.
- Her bir rotanın uzunluğu önceden belirlenmiş "L" değerini geçemez.

Literatürde ARP'nin farklı çeşitleri vardır. En çok kullanılan çeşitler ise şunlardır (Cordeau, Laporte, Savelsbergh ve Vigo, 2007):

- Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri
- Zaman kısıtlı araç rotalama problemleri
- Stokastik araç rotalama problemleri

3.3.a. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri (KKARP):

KKARP özdeş araçlardan oluşan bir filo, tek bir depodan talepleri belirli olan müşterilere en az maliyet ile rota planlaması yapmayı hedefler (Baldacci, Mingozzi ve Roberti, 2012). Her aracın kapasitesi “ Q ” olarak ifade edilir ve müşterilerin talepleri “ q_i ” araç kapasitesini aşamaz. KKARP’lerde genel olarak dikkat edilmesi gereken kısıtlar ise şu şekildedir:

- Müşteri talepleri araç kapasitelerini aşamaz.
- Her bir müşteri sadece bir araç tarafından ziyaret edilebilir.
- KARP’de olduğu gibi KKARP’de de araçlar turlarına depodan başlamalı ve turlarının sonunda depoya geri dönmelidir.

3.3.b. Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri (ZKARP):

ZKARP en çok kullanılan ARP çeşitlerinden birisidir. ZKARP’de birden fazla hedef vardır ve amaç sadece gerekli araç sayısını minimize etmek değil aynı zamanda toplam seyahat süresini ve toplam seyahat mesafesini de minimize etmektir (Bräysy ve Gendreau, 2005). ZKARP’lerde bir zaman aralığı bulunmaktadır. Müşterinin teslimatları bu zaman aralıkları içerisinde yapılmalıdır. Teslimat zamanından önce müşteriye ulaşan araba teslimat zamanına kadar beklemeli, teslimat zamanından sonra ulaşan araç ise bir ceza maliyetine katlanmalıdır. ZKARP’lerde genel olarak dikkat edilmesi gereken kısıtlar ise şu şekildedir:

- Her bir müşteri belirlenen zaman aralıkları $[a_i, b_i]$ çerçevesinde ziyaret edilmelidir.
- Araçlar a_i ’den önce müşteriye ulaşırsa teslimat saat a_i olana kadar başlamaz ve araç b_i ’den sonra gelirse teslimat yapılmaz.

- Rotalama yapılırken servis süreleri ve zaman aralıkları dikkate alınmalıdır.
- Her araç turuna depodan başlamalı ve tur bitişinde depoya geri dönmelidir.
- Her bir müşteri sadece bir araç tarafından ziyaret edilmelidir.

3.3.c. Stokastik Araç Rotalama Problemleri (SARP):

ARP'lerin gerçek hayat uygulamasında genellikle bir veya daha fazla kriter stokastik olabilmektedir (Yang, Mathur ve Ballou, 2000). SARP'nin en çok kullanılan üç durumu vardır (Cordeau, Laporte, Savelsbergh ve Vigo, 2007) bunlar:

- Stokastik müşteriler: i müşterisi p_i olasılığı ile vardır ve $1-p_i$ olasılığı ile yoktur.
- Stokastik talep: i müşterisinin talebi bir rassal değişkendir.
- Stokastik zaman: i müşterisine ait servis süresi s_i olarak ifade edilir, j bir sonraki lokasyonu ifade etmektedir. Seyahat süresi t_{ij} rassal bir değişkendir.
- Belirsizlikten dolayı her bir müşterinin belirsiz olan sürecinin bir olasılık değeri vardır (Gendreau, Laporte ve Séguin, 1996).
- Her bir müşterinin talepleri karşılanmalıdır.
- Her araç turlarına depodan başlayıp, tur sonunda depoya geri dönmelidir.

SARP'de bazı değişkenler bilinmediği için tüm bilinmeyen değişkenler için kısıtların sağlanması gerekmemektedir ve deterministik ARP'ye göre, SARP'nin çözümü daha zordur (Cordeau, Laporte, Savelsbergh ve Vigo, 2007).

BÖLÜM IV

VERİ ve MODELLEME

Bu tez çalışmasının bu bölümünde, ilk olarak çalışmada kullanılmış veriler gösterilmiştir ve oluşturulan modeller detaylı bir şekilde açıklanmıştır. İkinci aşamada ise, oluşturulan modeller ile çözümlenen senaryolar tek tek açıklanmıştır.

Bu tez çalışmasında karşılaştırmanın doğru yapılabilmesi için ilk olarak çalışmanın yapıldığı dönemdeki (Ağustos 2019) güncel elektrikli araçların dakika başına şarj maliyetleri ve Ankara'daki benzin fiyatları dikkate alınmıştır. Bu tarihte alınan birim maliyetler şu şekildedir:

- Elektrik Şarj Birim Maliyeti: 0.0031 Türk Lirası (TL) (Kilowatt (KW)/1000 birim maliyet)
- Benzin Litre Maliyeti: 6.96 TL (Litre başı birim maliyet)

İkinci aşamada hem benzinli hem de elektrikli araç için örnek araç modelleri seçilmiştir ve seçilen örnek araçların değerleri (yakıt tüketimi, benzin deposu/batarya kapasitesi vb.) baz alınmıştır. Örnek olarak seçilen elektrikli aracın farklı batarya kapasitesine sahip iki farklı modeli (22 KW ve 41 KW) olduğu için, oluşturulan senaryolar iki model için de test edilmiştir. Bu değerlere göre çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.1. Benzinli ve Elektrikli Araçlar İçin Kullanılan Modeller

4.1.a. Elektrikli Araçlar İçin Kullanılan Model (Model 1)

Keskin ve Çatay'ın 2018 yılında yaptığı çalışmadaki model baz alınmıştır (Keskin ve Çatay, 2018). Model üzerinde varsayımlar, veriler ve oluşturulan senaryolara göre değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler şunlardır:

- Alt turların oluşmasını engellemek için alt tur kısıtı eklenmiştir.
- Sadece tek şarj tipi kullanılmıştır ve parametreler buna göre güncellenmiştir.
- Araçlar şarj istasyonundan ve depodan tam batarya/depo kapasitesi ile ayrılmalıdır kısıtı eklenmiştir.
- Araçların taşıma kapasitesinin aşılmadığı varsayıldığı için, kapasite kısıtları kaldırılmıştır.
- Zaman kısıtları kaldırılmıştır.
- Toplam tur/rota sayısının en fazla toplam nod (n) sayısından 1 eksik olması kısıtı eklenmiştir.

Benzinli araçlar için de aynı model baz alınarak, model üzerinde yapılmış değişiklikler, benzinli araç için kullanılan modele de uygulanmıştır.

Elektrikli araçlar batarya kapasitesinden kaynaklı, depodan ayrılıp tüm teslimatların yapılması ve depoya geri dönmesi için, yani turu tamamlayabilmek için birkaç kez şarj istasyonuna uğrayabilir (Keskin ve Çatay 2018). Bu süreçte her şarj istasyonuna uğradığında şarj maliyeti ortaya çıkacaktır. Toplam rota maliyetini hesaplayabilmek için ise her şarj maliyetinin toplam maliyete ayrı ayrı eklenmesi gerekmektedir. Bu durumu VRP modelinde yansıtabilmek için seçilmiş olan şarj

istasyonlarının kopyaları oluşturulmuştur. Şarj istasyonu ve o istasyonun kopyalarının sayısı müşteri sayısına eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Burada varsayım her müşteri sonrası aracın yeniden şarj olma ihtiyacı duyabilecek olmasıdır. Bu sayede gerçekte elektrikli araçlar aynı şarj istasyonlarına birden fazla uğrarken, her uğradığında ortaya çıkacak maliyet de toplam maliyete eklenebilir.

Model 1’de kullanılan kümeler yani modelde kullanılan müşteri, şarj istasyonları ve kopyaları, çıkış deposu, dönüş deposu ve bunların birleşimlerinin ifade edildiği kümeler, Tablo 4.1.’de gösterilmiştir.

Küme	Tanım
C	Müşteriler
S	Şarj istasyonları
cs	Şarj istasyonları ve kopyaları
DA	Çıkış deposu
csC	Şarj istasyonları, kopyaları ve müşteriler
DACS	Çıkış deposu, şarj istasyonları ve şarj istasyonları kopyaları
DAScsC	Çıkış deposu, şarj istasyonları, kopyaları ve müşteriler
DDCcs	Dönüş deposu, müşteriler, şarj istasyonları ve kopyaları
CDD	Dönüş deposu ve müşteriler
CDDS	Müşteriler, dönüş deposu ve şarj istasyonları
D _{son}	Dönüş deposu

Tablo 4.1. Model 1’de Kullanılan Kümeler

Model 1’de kullanılan karar değişkenleri ve bu değişkenlerin tanımları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Karar Değişkeni	Tanım
X_{ij}	‘i’ nodundan ‘j’ noduna hareket varsa ‘1’, yoksa ‘0’
D_i	Araç ‘i’ noduna geldiğinde batarya seviyesi
d_i	Araç ‘i’ nodundan ayrılırken batarya seviyesi
θ_i	‘i’ nodundaki şarj miktarı

Tablo 4.2. Model 1’de Kullanılan Karar Değişkenleri

Model 1’de kullanılan parametreler ve bu parametrelerin tanımları Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Parametre	Tanım
n	Nod Sayısı
P	Birim maliyet
B	Aracın batarya kapasitesi
r	Aracın yakıt tüketimi oranı
RM _{ij}	‘i’ nodundan ‘j’ noduna hareket ederken harcanılan yakıt
M _{ij}	‘i’ nodundan ‘j’ noduna giderken alınan mesafe

Tablo 4.3. Model 1’de Kullanılan Parametreler

Model 1 ise aşağıdaki şekilde formulize edilmiştir:

Min:

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

S.t

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (15)$$

(1) Numaralı denklem amaç fonksiyonunu ifade etmektedir ve seyahat süresince harcanan enerji tüketimini minimize etmeye çalışmaktadır. Denklemde ilk kısmı ($P * \theta_i$) seyahat süresince uğranılan şarj istasyonlarında şarj edilen enerji miktarının maliyetini ifade etmektedir. Denklemde ikinci kısmı ($P * (B - D_{Son})$) araç depoya döndüğünde bataryanın tamamen doldurulmasının maliyetini ifade etmektedir. Bu denklemde her “i” nodu şarj istasyonları ve kopyalarını tanımlayan “cs” kümesinin elemanıdır.

(2) Numaralı kısıt aracın depodan ayrılmasını garanti etmektedir ve depodan ayrılan aracın şarj istasyonuna veya müşteriye gideceğini belirtmektedir. Bu kısıtta “i” indeksi dönüş deposu içerisinde bir elemandır, “j” indeksi ise şarj istasyonu, kopyaları ve müşteri kümesinin bir elemanıdır ve bir sonraki ziyaret edilecek lokasyonun şarj istasyonu, şarj istasyonu kopyaları veya müşteri olması gerektiğini belirtmektedir.

(3) Numaralı kısıt aracın müşteriden çıktığında tekrar bir müşteriye, şarj istasyonuna veya depoya geri dönmesi gerektiğini belirtir. Burada her “i” indeksi şarj istasyonu, şarj istasyonu kopyaları veya müşteri kümesinin elemanı iken, her “j” indeksi ise dönüş deposu, müşteriler ve şarj istasyonları veya kopyaları kümesinin elemanıdır.

(4) Numaralı kısıt aracın depodan ayrılmasını ve depoya dönüşünü garanti etmektedir. Denklemde ilk kısmında “i” indeksi çıkış deposu kümesinin elemanıdır, “j” indeksi ise şarj istasyonları, şarj istasyonları kopyaları veya müşterileri kümesinin elemanıdır. İkinci kısımda ise “j” indeksi şarj istasyonları, şarj istasyonları kopyaları veya müşterileri kümesinin elemanı iken, “i” indeksi ise dönüş deposu kümesinin elemanıdır.

(5) Numaralı kısıt her bir müşterinin sadece bir kez ziyaret edileceğini belirtmektedir. Burada her “j” indeksi müşteri kümesinin elemanı iken, “i” indeksi ise çıkış deposu, şarj istasyonları, şarj istasyonları kopyaları ve müşteriler kümesinin elemanıdır.

(6) Numaralı kısıt aracın en son geldiği noddan çıkması gerektiğini belirtmektedir. Bu denklemde sol tarafında “i” indeksi çıkış deposu, şarj istasyonları, şarj istasyonları kopyaları ve müşteriler kümesinin elemanı iken, her “j” indeksi ise şarj istasyonları, şarj istasyonları kopyaları ve müşteriler kümesinin elemanıdır.

(7) Numaralı kısıt alt tur oluşmasını engellemektedir. Burada her T, şarj istasyonları, şarj istasyonları kopyaları ve müşteriler kümesinin alt kümesidir. Bu denklemdeki “T” terimi belirtilen kümelerin elemanları tarafından oluşturulmuş bir alt kümedir. Alt tur oluşmasını engellemek adına T asla sifıra eşit olamaz. Her “i” ve “j” indeksi ise T kümesinin elemanıdır.

(8) Numaralı kısıt her şarj istasyonunun en fazla bir kez ziyaret edilmesini ifade etmektedir. Her “i” indeksi şarj istasyonu kümesinin elemanı iken, “j” indeksi ise müşterileri veya dönüş deposu elemanıdır.

(9) Numaralı kısıt toplam tur sayısını belirtmektedir. Toplam nod sayısı (n) negatif olamaz ve toplam tur sayısı en fazla toplam nod sayısından bir eksik kadar olabilir.

Her “i” indeksi çıkış deposu, müşteri veya şarj istasyonu kümesinin elemanı iken, “j” indeksi ise müşteri, dönüş deposu veya şarj istasyonu kümesinin elemanıdır.

(10) Numaralı kısıt aracın depodan ve şarj istasyonlarından ayrılırken tamamen dolu batarya kapasitesi ile ayrılması gerektiğini ifade etmektedir. Her “i” indeksi çıkış deposu, şarj istasyonları veya kopyaları kümesinin elemanıdır.

(11) Numaralı kısıt araç şarj istasyonuna uğradığında aradaki farkın şarj edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Burada her “i” indeksi şarj istasyonları veya kopyaları kümesinin elemanıdır.

(12) Numaralı kısıt bir noddan ayrılırken ve bir noda geldiğinde aracın batarya seviyesinin üst ve alt sınırlarını belirtmektedir. Burada her “i” indeksi çıkış deposu şarj istasyonları veya kopyaları kümesinin elemanıdır.

(13) ve (14) Numaralı kısıtlar ise aracın bir noddan ayrılırken batarya seviyelerini takip etmektedir. (13) numaralı kısıtta her “i” indeksi müşteri kümesinin elemanı iken, her “j” indeksi ise dönüş deposu, müşteri, şarj istasyonları veya kopyaları kümesinin elemanıdır. (14) numaralı kısıtta her “i” indeksi çıkış deposu, şarj istasyonları veya kopyaları kümesinin elemanıyken, her “j” indeksi ise dönüş deposu, müşteri, şarj istasyonları veya kopyaları kümesinin elemanıdır.

(15) Numaralı kısıt karar değişkeni olan X_{ij} 'nin ikili (ya “0” değeri ya da “1” değeri olabilir.) olduğunu belirtmektedir.

Bölüm 4.2’de oluşturulan senaryolar, örnek elektrikli araç modellerinin verileri kullanılarak Model 1 doğrultusunda çözümlenmiştir. Örnek olarak seçilen elektrikli aracın batarya kapasiteleri farklı olan iki modeli olduğu için, senaryolar üzerinde iki farklı araç modeli için de çalışılmıştır.

4.1.b. Benzinli Araç İçin Kullanılan Model (Model 2)

Benzinli araçlar için oluşturulan modelde, elektrikli araçlar için oluşturulan ve Bölüm 4.1.a'da verilmiş Model 1 baz alınmış olup batarya kısıtları, kümeler, parametreler ve karar değişkenleri yeniden düzenlenerek oluşturulmuştur. Tablo 4.4'de Model 2'de kullanılmış olan kümeler ve gösterilmiştir.

Küme	Tanım
C	Müşteriler
DA	Çıkış deposu
D_{son}	Dönüş deposu
DAC	Çıkış deposu ve müşteriler
CDD	Çıkış deposu ve müşteri kümesi

Tablo 4.4. Model 2'de Kullanılan Kümeler

Tablo 4.5'de model 2'de kullanılan parametreler ve bu parametrelerin tanımları gösterilmiştir.

Parametre	Tanım
n	Nod sayısı
r	Yakıt tüketim oranı
M_{ij}	'i' nodundan 'j' noduna giderken alınan mesafe
RM_{ij}	'i' nodundan 'j' noduna hareket ederken harcanılan yakıt

Tablo 4.5. Model 2'de Kullanılan Parametreler

Karar değişkeni olarak ise sadece ' X_{ij} ' kullanılmış olup, araç 'i' nodundan 'j' noduna hareket ediyorsa 1, etmiyorsa 0 değerini almıştır.

Model 2 ise aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir:

Min:

$$\sum_{i \in DAC} \sum_{j \in CDD} X_{ij} * RM_{ij} \quad (16)$$

S.t:

$$\sum_{j \in C} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in DA \quad (17)$$

$$\sum_{j \in CDD} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in C \quad (18)$$

$$\sum_{i \in DA} \sum_{j \in C} X_{ij} = \sum_{i \in DD} \sum_{j \in C} X_{ji} \quad (19)$$

$$\sum_{i \in DA} \sum_{j \in C} X_{ij} = \sum_{i \in CDD} \sum_{j \in C} X_{ji} \quad (20)$$

$$\sum_{i \in DAC} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in C \quad (21)$$

$$\sum_{i,j \in T} X_{ij} \leq |T| - 1 \quad \forall T \subset C \quad (22)$$

$$\sum_{j \in CDD} X_{ij} \leq |n| - 1 \quad \forall i \in DAC \quad (23)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (24)$$

(16) Numaralı denklem Model 2'nin amaç fonksiyonunu ifade etmektedir ve seyahat süresince harcanan yakıt tüketimini minimize etmeye çalışmaktadır.

(17) Numaralı kısıt aracın tura depodan ayrılarak başlaması gerektiğini ifade etmektedir. Burada her “i” indeksi çıkış deposu kümesinin elemanı iken, her “j” indeksi müşteri kümesinin elemanıdır.

(18) Numaralı kısıt aracın herhangi bir müşteriden ayrıldıktan sonra sıradaki gitmesi gereken nodun başka bir müşteri ya da depo olması gerektiğini ifade

etmektedir. Bu kısıtta her “i” indeksi müşteri kümesinin elemanı iken, her “j” indeksi müşteri kümesinin ve dönüş deposu kümesinin elemanıdır.

(19) Numaralı kısıt aracın depodan çıkışını ve dönüşünü garanti etmektedir. Denklemde ilk kısmında “i” indeksi çıkış deposu kümesinin elemanı iken, “j” indeksi müşteri kümesinin elemanıdır. Denklemde ikinci kısmında ise “i” indeksi dönüş deposu kümesinin elemanı iken, “j” indeksi müşteri kümesinin elemanıdır.

(20) Numaralı kısıt aracın vardığı noktadan ayrılması gerektiğini ifade etmektedir. Denklemde ilk kısmında “i” indeksi çıkış deposu kümesinin elemanı iken, “j” indeksi müşteri kümesinin elemanıdır. Denklemde ikinci kısmında ise “i” indeksi dönüş deposu kümesinin elemanı iken, “j” indeksi müşteri kümesinin elemanıdır.

(21) Numaralı kısıt her müşterinin sadece bir kez ziyaret edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Burada “i” indeksi çıkış deposu ve müşteri kümesinin elemanıyken, her “j” indeksi müşteri kümesinin elemanıdır.

(22) Numaralı kısıt alt turların oluşmasını engellemektedir. Burada “T” müşteri kümesinin alt kümesidir ve her “i” ve “j” indeksi T kümesinin elemanıdır.

(23) Numaralı kısıt ise toplam tur sayısının toplam nod sayısından daha az ya da en fazla nod sayısından bir eksik kadar olması gerektiğini ifade etmektedir. Her “i” indeksi çıkış deposu ve müşteri kümesinin elemanıyken, “j” indeksi ise müşteri ve dönüş deposu kümesinin elemanıdır.

(24) Numaralı kısıt karar değişkeni olan X_{ij} 'nin ikili (ya “0” değeri ya da “1” değeri alabilir.) olduğunu belirtmektedir.

Bölüm 4.2’de oluşturulan senaryolar bu model (Model 2) kullanılarak örnek benzinli araç için çözümlenmiş ve sonuçlar elektrikli araç modeli sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.2. Farklı Müşteri Sayı ve Lokasyon Senaryoları

Senaryolar oluşturulurken öncelikle Ankara il sınırları içerisinde bir depo lokasyonu seçilmiştir ve her senaryoda depo lokasyonunun yeri sabit kalmıştır. Ankara il sınırları içerisinde bulunan 2 adet şarj istasyonunun lokasyonu seçilmiştir ve şarj istasyonlarının lokasyonları da her senaryoda sabit kalmıştır. Şarj istasyonları seçilirken iki şarj istasyonu arasında mesafe olmasına ve farklı alanları kapsamalarına dikkat edilmiştir. Müşteriler için Ankara il sınırları içinde ve dışında olmak üzere seçimler yapılmıştır. Müşteri lokasyonları seçilirken, her senaryoda müşterilerin arasındaki mesafe farkının giderek artmasına dikkat edilmiştir. Müşteri lokasyonları ilk olarak 25 Kilometre karelik (km^2) bir alanda seçilmiştir. Daha sonra bu alan 35 km^2 , 40 km^2 ve 55 km^2 olarak arttırılmıştır. 10. Senaryoda müşteri lokasyonları 200 km^2 bir alandan seçilmiştir. Oluşturulan senaryolar üç, dört ve beş müşterinin, bir deponun ve iki şarj istasyonunun bulunduğu senaryolardır. Senaryolarda ise bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bunlar:

- Elektrikli araçlar için şarj istasyonlarında tek tip şarj modeli kullanılmıştır.
- Araç turuna depodan başlar ve tur sonunda depoya geri döner.
- Her bir müşteri sadece bir kez ziyaret edilecektir.
- Benzinli araçların her yerde rahatça petrol istasyonuna ulaşabildiği varsayılmıştır.
- Araç kapasitesi aşılmamıştır.

- Zaman kısıtlaması yoktur.
- Araç depodan dolu batarya/benzin deposu ile çıkar.
- Araç depoya döndüğünde bataryaları/benzin depoları doldurulur ve toplam maliyete eklenir.

Bu varsayımlar içerisinde senaryolar hem elektrikli araçlar hem de benzinli araç için çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışmasında maliyetler TL cinsinden hesaplanmış olup, karşılaştırmalar bu maliyetler baz alınarak yapılmıştır.

4.2.a. Elektrikli ve Benzinli Araçlar İçin Sonuçların Karşılaştırılması

Senaryolar Ankara ili içerisinde ve dışarısında rastgele müşteri lokasyonları seçilerek oluşturulmuştur. Senaryolar 3, 4 ve 5 müşteri sayısı için yapılmıştır. 6 müşteri sayısının olduğu müşteri senaryoları gerçek (polinom) zamanda çözümlenememiştir. Bu nedenle senaryolarda en fazla 5 müşteri lokasyonu kullanılmıştır. ARP'ler NP-Zor problemler oldukları için bu çalışmada toplam 20 nod ve fazlasında polinom zamanda çözüm elde edilememektedir. Toplam 20 nod bulunan ve polinom zamanda çözülemeyen senaryoda 6 müşteri 2 şarj istasyonu ve şarj istasyonlarının toplamda 10 adet ek kopyası ve çıkış ve dönüş deposu bulunmaktadır. Bu durum sezgisel modellerin geliştirilmesi ile aşılabilecektir fakat bu çalışma kapsamında sezgisel algoritmalar üzerinde çalışılmamıştır. Oluşturulan senaryolar MATLAB (Matlab, 2019) yazılımında çözümlenmiştir. Çözüm süresi olarak ilk aşamada MATLAB yazılımının varsayılan süre sınırı (2 saat) dikkate alınmıştır. 2 Saatlik çözümlerden sonra varsayılan süre sınırı değiştirilmiştir ve 10 saat yapılmıştır. Problemdaki tüm senaryolar varsayılan ve sonradan belirlenen süre sınırı içerisinde çözümlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar sadece bir senaryoda farklılık göstermiştir. Çalışmanın devamında senaryolar daha detaylı açıklanmıştır ve çözüm süreleri arasında olan maliyet farklılığı ilgili senaryoda açıklanmıştır. Çözüm için

MATLAB’da bulunan “intlinprog” çözücüsü tercih edilmiştir. Intlinprog dal sınır (Branch and Bound) algoritması kullanmaktadır. Dal sınır algoritması kombinatoriyel optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan bir algoritmadır (Gonen ve Lehmann, 2000). Kombinatoriyel optimizasyon, sınırlı bir küme içerisinde en optimal sonucu arar (Schrijver, 2003). Aynı zamanda bu küme çok büyük olduğu için ve yeni bir eleman eklendiği zaman da üstel olarak arttığı için optimal sonuç tek tek bulunmaya çalışılmaz (Schrijver, 2003). Optimizasyon problemlerinde çözüm kümesinin alt kümelerinin oluşturulması aşaması eleman sayısı arttıkça zorlaşmaktadır ve eleman sayısı arttıkça alt kümelerin oluşturulması daha uzun zaman almaktadır (Narendra ve Fukunaga, 1977). Dal sınır algoritmasında tüm uygulanabilir sonuçlar, birçok defa daha küçük problemlere ve kümelere ayrılır ve her küme ve sonuç için bir alt sınır (eğer sonuç minimize edilmeye çalışılıyorsa) oluşturulur (Lawler ve Wood, 1966). Bu yöntem ile problem çözülmeye çalışılır.

4.2.a.i. Senaryo 1: 3 Müşteri

Oluşturulan ilk senaryoda Ankara ili içerisinde 3 müşteri lokasyonu seçilmiştir. Bu lokasyonların yanı sıra 2 şarj istasyonu lokasyonu ve 1 depo lokasyonu belirlenmiştir. Şarj istasyonları ve depo yeri ve sayıları her senaryoda sabit kalmıştır. Oluşturulan senaryolarda lokasyonların birbirine olan uzaklıkları Google Maps (Google Maps, 2020) kullanılarak belirlenmiştir. Tüm lokasyonlar arasındaki mesafeler belirlendikten sonra bir mesafe matrisi çıkarılmış (M_{ij}) ve bu matris modelde kullanılmıştır. Çözüm sonrası oluşan rotalar yine Google Maps kullanılarak görselleştirilmiştir.

		Varış Noktası					
		N1	N2	N3	N4	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	11,20	31,1	6,9	5,2	15,7
	N2	11,20	0	32,1	5,6	5,6	16,2
	N3	31,1	32,1	0	32,7	28,1	16,2
	N4	6,9	5,6	32,7	0	5	15,8
	S1	5,2	5,6	28,1	5	0	12,7
	S2	15,7	16,2	16,2	15,8	12,7	0

Tablo 4.6. Senaryo 1 İçin Mesafeler (KM)

Tablo 4.6. ilk senaryo için mesafe matrisini kilometre (KM) olarak göstermektedir. S1 ve S2 şarj istasyonlarını temsil etmektedir. N1 depoyu temsil ederken, N2, N3 ve N4 rastgele seçilen 3 müşteriyi temsil etmektedir.

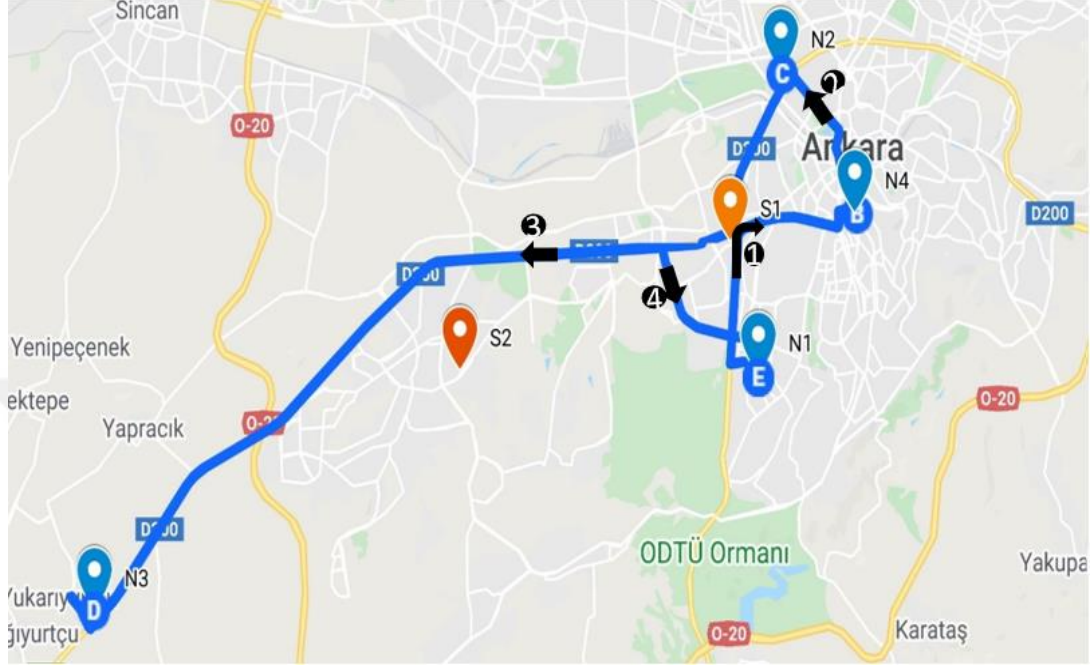
Harita 4.1. Senaryo 1 İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4.1. oluşturulan 1. senaryodaki müşterilerin, şarj istasyonlarının ve deponun lokasyonunu göstermektedir. Senaryo 22 KW ve 41 KW batarya kapasitesine sahip

elektrikli araçlar için çözümlenmiş, daha sonra benzinli araç için de çözüm bulunmuştur.

Harita 4.2. 1. Senaryo, 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç ve Benzinli Araç Rotası

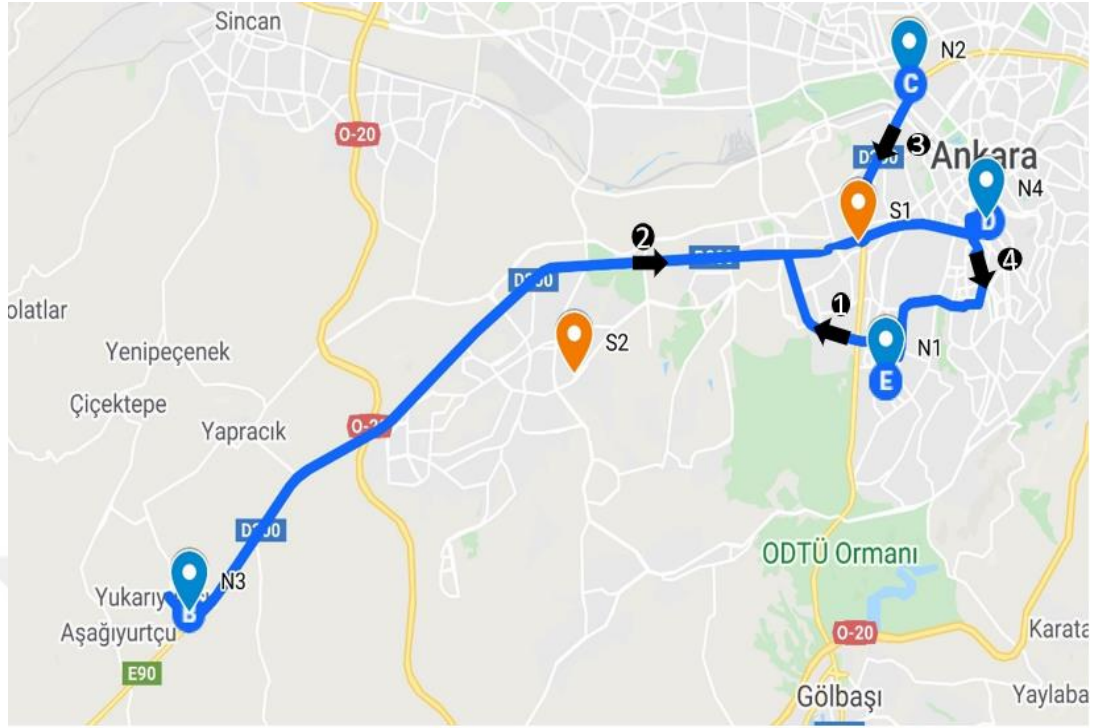


Harita 4.2.'de 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç ve benzinli aracın izledikleri rota gösterilmektedir. Rota:

- N1 (Depo) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç ve benzinli araç aynı rotayı kullanmasına rağmen benzinli araç rotayı 50,5797 TL maliyet ile tamamlamıştır. 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç ise rotayı 31,6677 TL maliyet ile tamamlamıştır. Aynı rotayı kullanmalarına rağmen benzin birim maliyetinin elektrik birim maliyetine göre fazla olması, bu senaryoda 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın, benzinli araca göre %59.720 daha avantajlı olduğunu kanıtlanmıştır.

Harita 4.3. 1. Senaryo, 41 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası



Harita 4.3. 41 KW batarya kapasitesine sahip olan elektrikli aracın izlediği rotayı göstermektedir. 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç ise 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçtan farklı bir rota izlemiştir. 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın rotası:

- N1 (Depo) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW elektrikli aracın izlediği rota uzunluğu 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın izlediği rota uzunluğu ile aynıdır. Bu sebepten dolayı 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın bu rotada maliyeti diğer elektrikli aracın bu senaryo için oluşan maliyeti ile aynıdır ve 31,6677 TL'dir. Bu senaryoda 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın, benzinli araca göre %59,720 daha avantajlı olduğu da kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1 → N4 → N2 → N3 → N1	N1 → N3 → N2 → N4 → N1	N1 → N4 → N2 → N3 → N1
Maliyet	31,6677 TL	31,6677 TL	50,5797 TL
Katedilen Mesafe	75,7 KM	75,7 KM	75,7 KM
Yüzelik Değişim: %59,720			

Tablo 4.7. Senaryo 1, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim.

Tablo 4.7. ilk senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri, maliyetler arası yüzelik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

4.2.a.ii. Senaryo 2

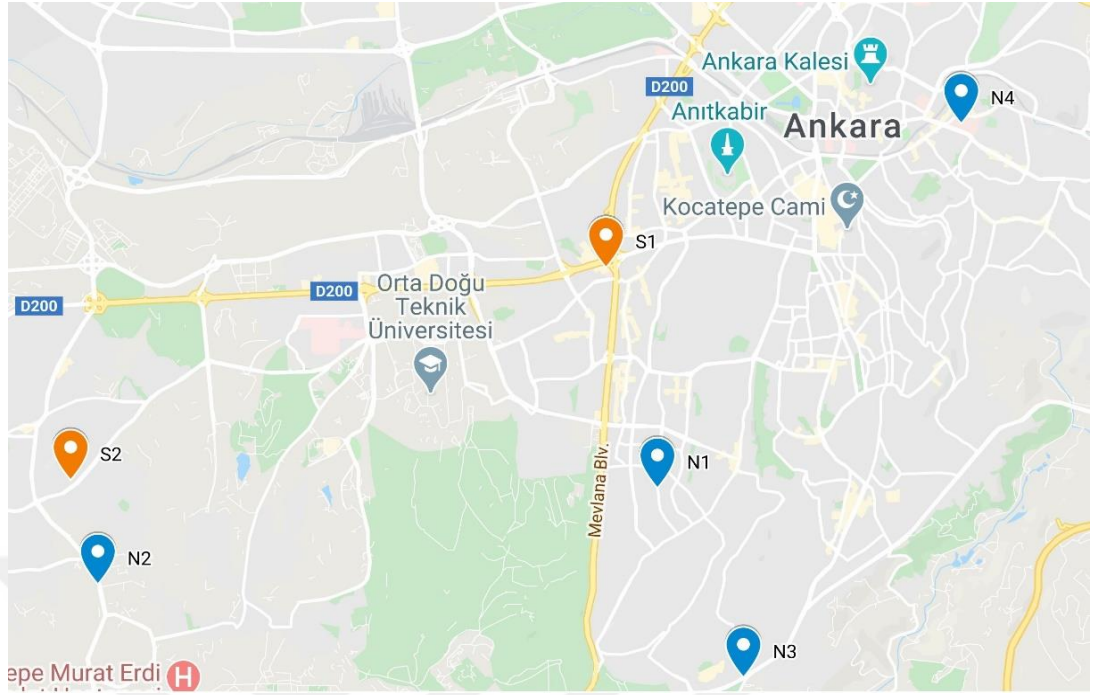
Oluşturulan ikinci senaryoda, yeni 3 müşteri lokasyonu Ankara ili içerisinde seçilmiştir.

		Variş Noktası					
		N1	N2	N3	N4	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	17,5	5,5	14,2	5,2	15,7
	N2	17,5	0	15,4	21,6	13,4	3,2
	N3	5,5	15,4	0	14,2	12,4	18,1
	N4	14,2	21,6	14,2	0	9,3	19,4
	S1	5,2	13,4	12,4	9,3	0	12,7
	S2	15,7	3,2	18,1	19,4	12,7	0

Tablo 4.8. 2. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

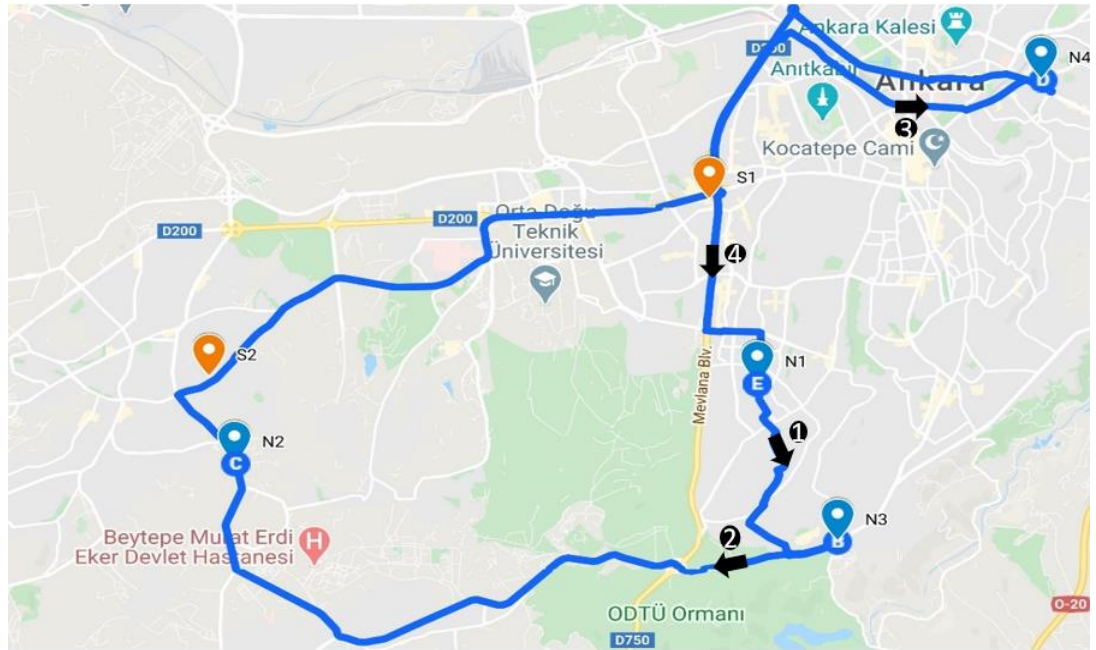
Tablo 4.8. ikinci Senaryo için mesafe matrisini KM olarak göstermektedir.

Harita 4.4. 2. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4.4. oluşturulan 2. senaryodaki müşterilerin, şarj istasyonlarının ve deponun lokasyonunu göstermektedir.

Harita 4.5. 2. Senaryo, 41KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası

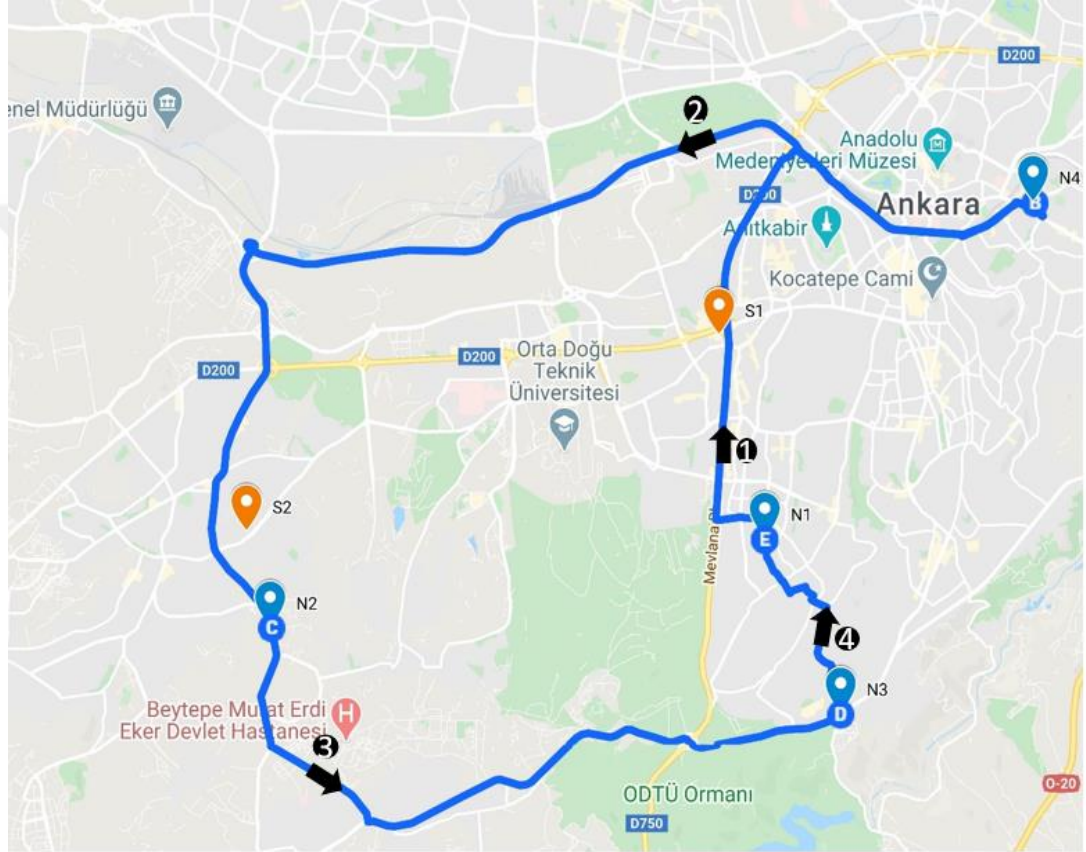


Harita 4.5. senaryo çözümlendikten sonra elektrikli araçlar için oluşan rota göstermektedir. Her iki elektrikli araçta aynı rotayı kullanmıştır. Rota:

- N1 (Depo) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçlar bu rotayı 23,7269 TL maliyet ile tamamlamışlardır.

Harita 4.6. 2. Senaryo, Benzinli Araç Rotası



Harita 4.6.'da 2. Senaryo çözümü sonrasında oluşan benzinli aracın rotası verilmiştir. Rota:

- N1 (Depo)→N4 (4 Numaralı müşteri)→N2 (2 Numaralı müşteri) →N3 (3 Numaralı müşteri)→N1 (Depo)

Benzinli araç rotayı 37,8847 TL maliyet ile tamamlamıştır. Benzinli ve elektrikli araçların maliyetleri karşılaştırılmış ve bu senaryoda elektrikli araçların, benzinli araca göre %59.6698 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1→N3→N2→N 4→N1	N1→N3→N2→N 4→N1	N1→N4→N2→N 3→N1
Maliyet	23,7269 TL	23,7269 TL	37,8847 TL
Katedilen Mesafe	56,7 KM	56,7 KM	56,7 KM
Yüzdellik Değişim: %59.6698			

Tablo 4.9. 2. Senaryo, Araçların Rotaları, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim

Tablo 4.9. ikinci senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzdellik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

4.2.a.iii. Senaryo 3

Oluşturulan 3. Senaryoda da 3 farklı müşteri lokasyonu Ankara ili içerisinde seçilmiştir. Bu senaryo, 3 müşterinin bulunduğu son senaryodur.

		Varış Noktası					
		N1	N2	N3	N4	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	7,3	17,9	21,5	5,2	15,7
	N2	7,3	0	13,3	20,3	4,3	9,6
	N3	17,9	13,3	0	25,1	16	16,1
	N4	21,5	20,3	25,1	0	17,5	28,3
	S1	5,2	4,3	16	17,5	0	12,7
	S2	15,7	9,6	16,1	28,3	12,7	0

Tablo 4.10. 3. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

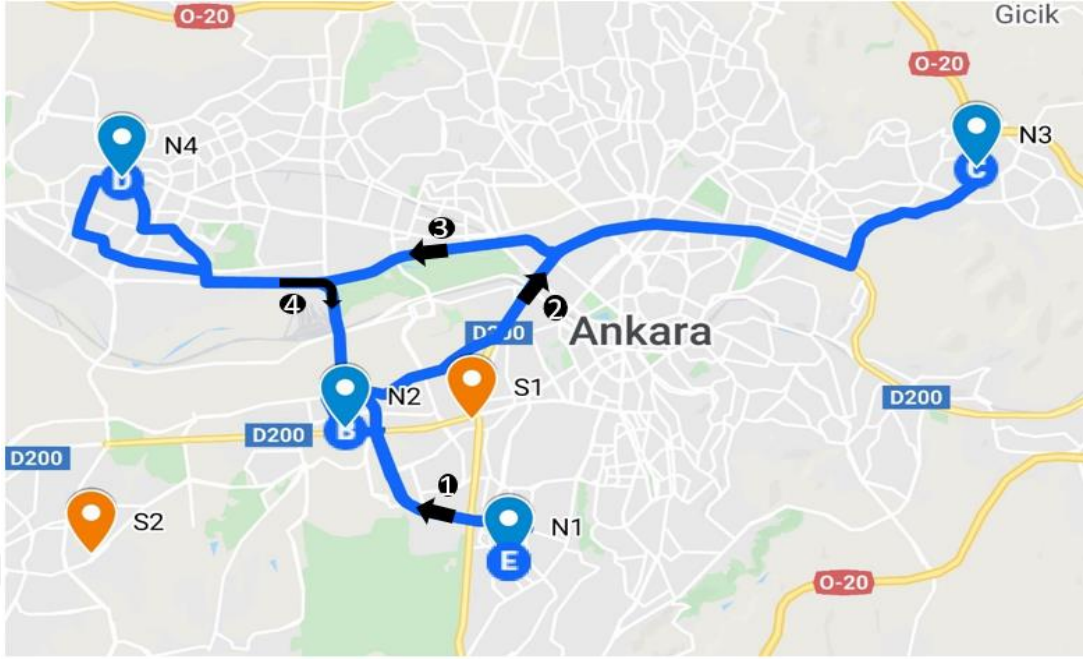
Tablo 4.10. üçüncü Senaryo için mesafe matrisini KM olarak göstermektedir.

Harita 4.7. 3. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4.7. oluşturulan 3. senaryodaki müşterilerin, şarj istasyonlarının ve deponun lokasyonunu göstermektedir.

Harita 4.8. 3. Senaryo, 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası

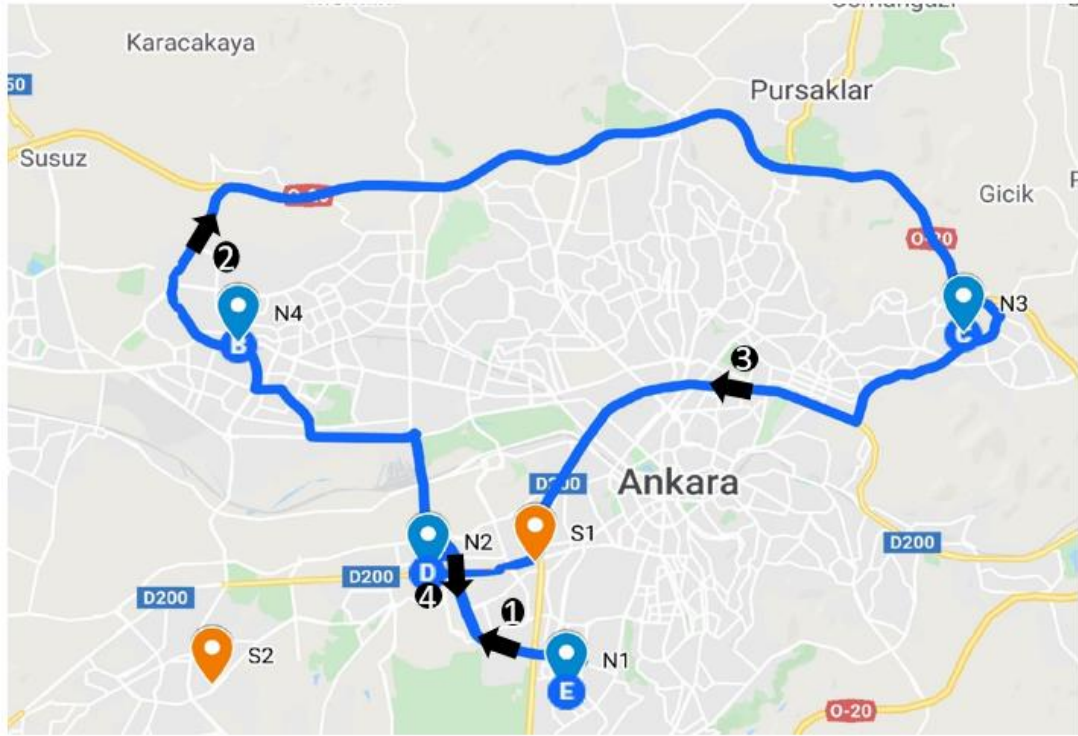


Harita 4.8. 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç için oluşan rotayı göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç bu rotayı 28.1207 TL maliyet ile tamamlamıştır.

Harita 4.9. 3. Senaryo, 41 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç ve Benzinli Araç Rotası



Harita 4.9. 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç ve benzinli araç için oluşan rotayı göstermektedir. Elektrikli araç ve benzinli araç aynı rotayı kullanmışlardır. Rota:

- N1 (Depo) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç bu rotayı 28,1207 TL maliyet ile tamamlarken, benzinli araç bu rotayı 44,9004 TL maliyet ile tamamlamıştır. İki elektrikli araç farklı rotayı kullanmasına rağmen aynı maliyet ile rotayı tamamlamışlardır. Bu senaryoda 22 KW batarya ve 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçların, benzinli araca göre %59.6702 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1→N2→N3→N4→N1	N1→N4→N3→N2→N1	N1→N4→N3→N2→N1
Maliyet	28,1207 TL	28,1207 TL	44,9004 TL
Katedilen Mesafe	67,2 KM	67,2 KM	67,2 KM
Yüzdellik Değişim: %59.6702			

Tablo 4.11. 3. Senaryo, Araçların Rotaları, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim

Tablo 4.11. üçüncü senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzdellik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

Bu tez çalışmasının bir sonraki adımında müşteri sayısı bir artırılarak, dört müşteri için farklı senaryolar oluşturulmuştur. Müşteri sayısı arttığı için şarj istasyonları kopyaları da birer adet artmış bulunmaktadır.

4.2.a.iv. Senaryo 4

Oluşturulan 4. Senaryoda da 4 farklı müşteri lokasyonu Ankara ili içerisinde seçilmiştir.

		Varış Noktası						
		N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	11,20	22,8	7,3	5,5	5,2	15,7
	N2	11,20	0	18,6	8,2	14,1	5,6	16,2
	N3	22,8	18,6	0	17,3	29,5	19,4	17,6
	N4	7,3	8,2	17,3	0	13,5	4,3	9,6
	N5	5,5	14,1	29,5	13,5	0	12,4	18,1
	S1	5,2	5,6	19,4	4,3	12,4	0	12,7
	S2	15,7	16,2	17,6	9,6	18,1	12,7	0

Tablo 4.12. 4. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

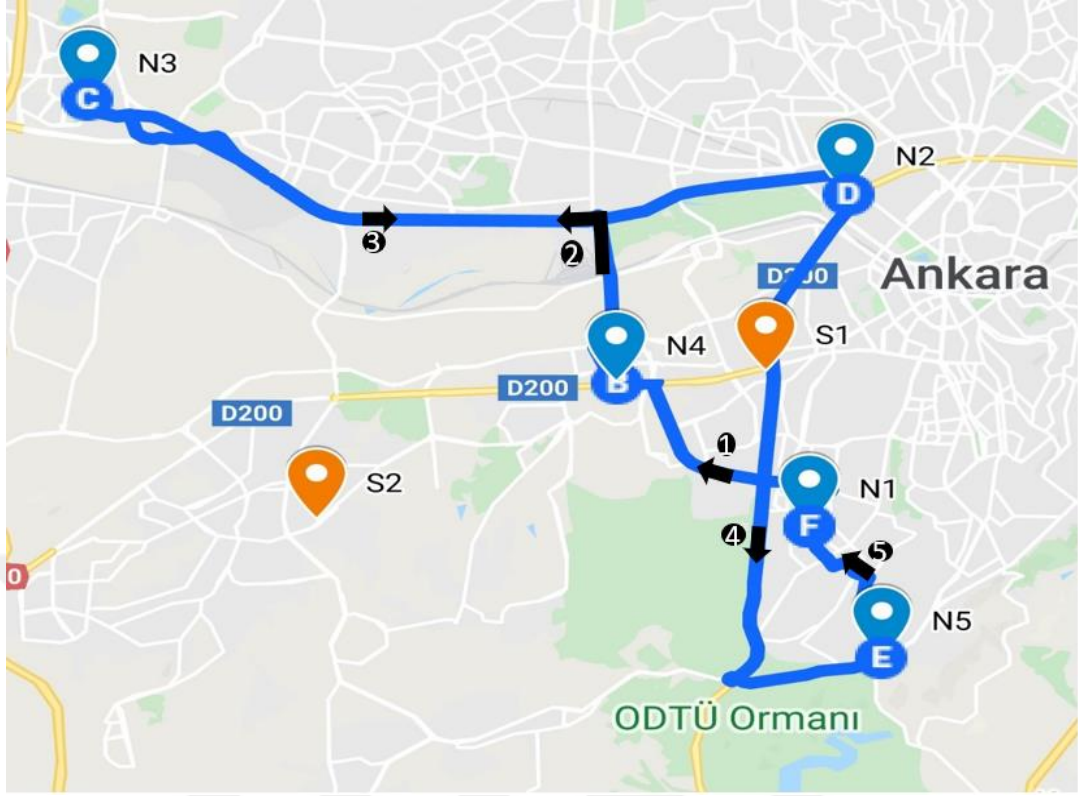
Tablo 4.12. dördüncü senaryo için, oluşturulan ilk dört müşterili senaryo, mesafe matrisini KM olarak göstermektedir. N1 depoyu simgelerken, N2, N3, N4 ve N5 müşterileri simgelemektedir. S1 ve S2 ise şarj istasyonlarını belirtmektedir.

Harita 4.10. 4. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4.10. oluşturulan 4. senaryodaki müşterilerin, Şarj istasyonlarının ve deponun lokasyonunu göstermektedir.

Harita 4.11. 4. Senaryo, 41KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası

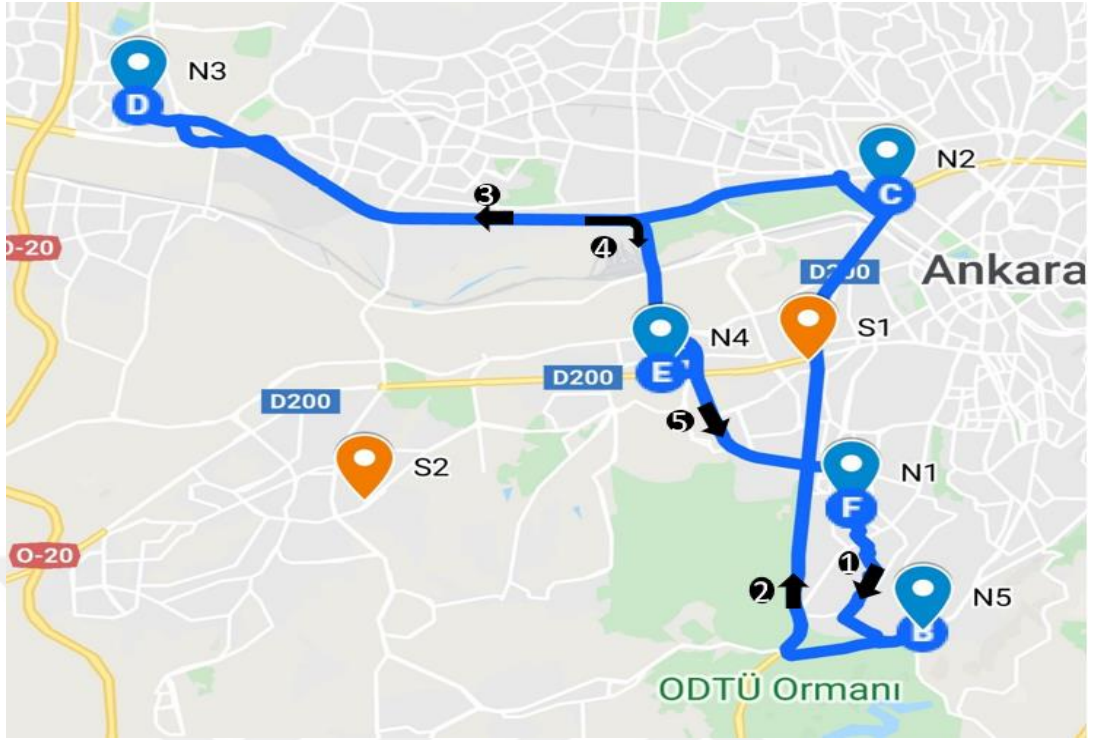


Harita 4.11. 41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçların kullandıkları rotayı göstermektedir. İki araç da aynı rotayı kullanmaktadır. Rota:

- N1 (Depo) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçlar bu rotayı 26,2795 TL maliyet ile tamamlamışlardır.

Harita 4.12. 4. Senaryo, Benzinli Araç Rotası



Harita 4.12. benzinli aracın rotasını göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo)→N5 (5 Numaralı müşteri)→N2 (2 Numaralı müşteri)→N3 (3 Numaralı müşteri)→N4 (4 Numaralı müşteri)→N1 (Depo)

Benzinli araç bu rotayı 41,9604 TL maliyet ile tamamlamıştır. Bu senaryoda elektrikli araçların maliyeti ile benzinli aracın maliyeti karşılaştırıldığında, elektrikli araçların benzinli araca göre %59.6697 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1→N4→N3→N 2→N5→N1	N1→N4→N3→N 2→N5→N1	N1→N5→N2→N 3→N4→N1
Maliyet	26,2795 TL	26,2795 TL	41,9604 TL
Katedilen Mesafe	62,8 KM	62,8 KM	62,8 KM
Yüzelik Değişim: %59.6697			

Tablo 4.13. 4. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim

Tablo 4.13. dördüncü senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzelik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

4.2.a.v. Senaryo 5

Oluşturulan 5. Senaryoda da 4 farklı müşteri lokasyonu Ankara ili içerisinde seçilmiştir.

		Varış Noktası						
		N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	35,8	17,5	14,7	17,9	5,2	15,7
	N2	35,8	0	45,8	33,6	39,8	32,4	43,3
	N3	17,5	45,8	0	19,2	14,8	13,4	3,2
	N4	14,7	33,6	19,2	0	6,3	10,9	16,6
	N5	17,9	39,8	14,8	6,3	0	16	16,1
	S1	5,2	32,4	13,4	10,9	16	0	12,7
	S2	15,7	43,3	3,2	16,6	16,1	12,7	0

Tablo 4.14. 5. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

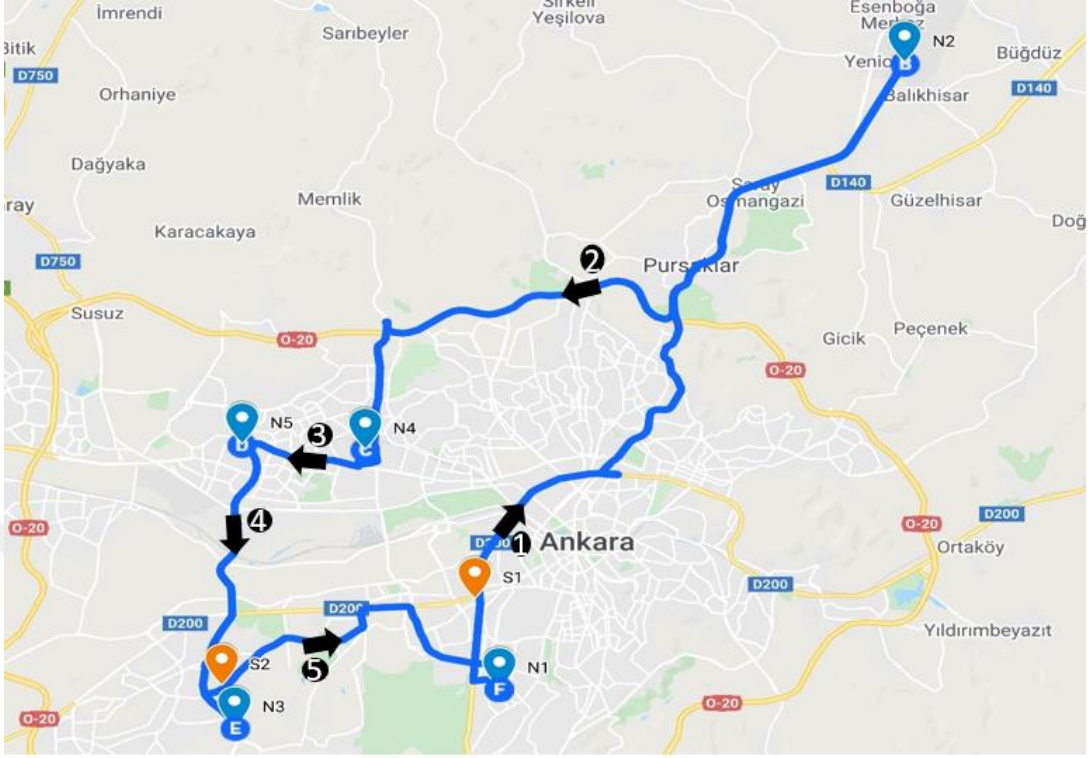
Tablo 4.14. beşinci senaryo için mesafe matrisini KM olarak göstermektedir.

Harita 4.13. 5. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4.13. oluşturulan 5. senaryodaki müşterilerin, şarj istasyonlarının ve deponun lokasyonunu göstermektedir.

Harita 4.14. 5. Senaryo, 41 KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araçların ve Benzinli Aracın Rotası



Harita 4.14. 41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçların ve benzinli aracın rotasını göstermektedir. 3 Araçta aynı rotayı kullanmıştır. Rota:

- N1 (Depo) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçlar bu rotayı 45,6544 TL maliyet ile tamamlamışlardır. Benzinli araç ise elektrikli araçlarla aynı rotayı kullanmasına rağmen, rotayı 72,1613 TL maliyet ile tamamlamıştır. Bu senaryoda elektrikli araçların maliyetleri ile benzinli aracın maliyeti karşılaştırıldığında, elektrikli araçların benzinli araca göre %58.0599 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1→N2→N4→N 5→N3→N1	N1→N2→N4→N 5→N3→N1	N1→N2→N4→N 5→N3→N1
Maliyet	45,6544 TL	45,6544 TL	72,1613 TL
Katedilen Mesafe	108 KM	108 KM	108 KM
Yüzdellik Değişim: %58.0599			

Tablo 4.15. 5. Senaryo, Araçların Rotaları, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim

Tablo 4.15. beşinci senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzdellik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

4.2.a.vi. Senaryo 6

Oluşturulan 6. senaryoda da 4 farklı müşteri lokasyonu Ankara ili içerisinde seçilmiştir.

		Varış Noktası						
		N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	31,1	21,5	28	14,2	5,2	15,7
	N2	31,1	0	45,2	20,5	37,6	28,1	16,2
	N3	21,5	45,2	0	36,3	10,4	17,5	28,3
	N4	28	20,5	36,3	0	29,3	25	19,8
	N5	14,2	37,6	10,4	29,3	0	9,3	19,4
	S1	5,2	28,1	17,5	25	9,3	0	12,7
	S2	15,7	16,2	28,3	19,8	19,4	12,7	0

Tablo 4.16. 6. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

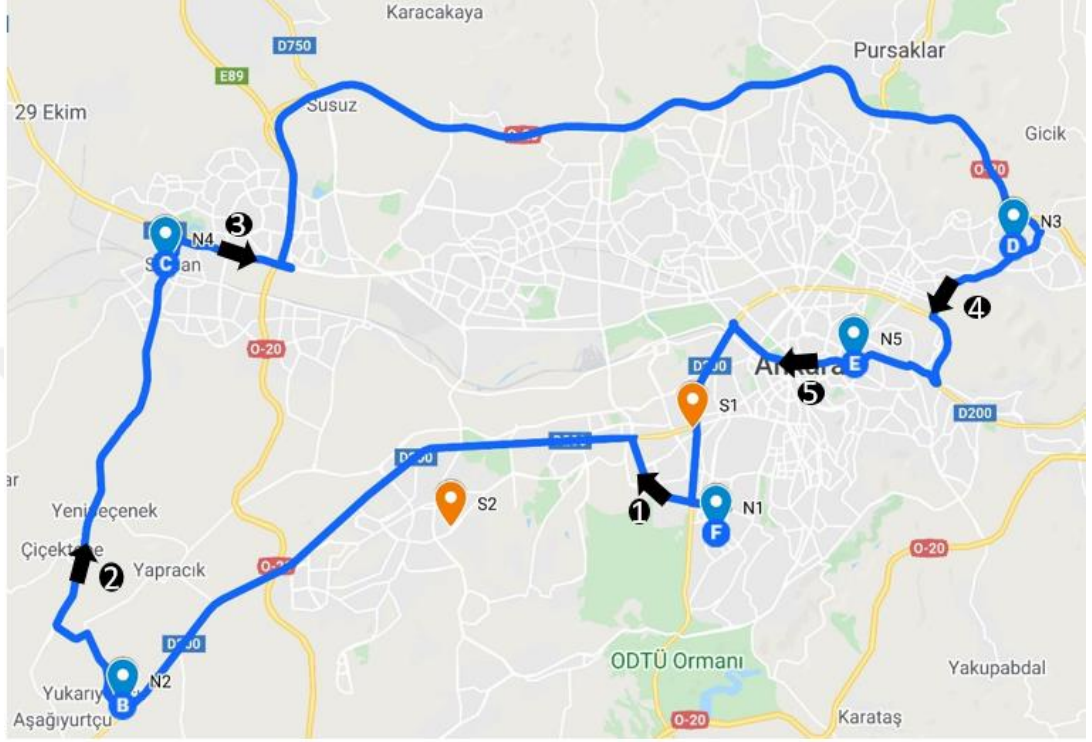
Tablo 4.16. Altıncı senaryo için mesafe matrisini KM olarak göstermektedir.

Harita 4.15. 6. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4.15. oluşturulan 6. senaryodaki müşterileri, şarj istasyonlarını ve depoyu harita üzerinde göstermektedir.

Harita 4.16. 6. Senaryo, 41 KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası ve Benzinli Araç Rotası



Harita 4.16. 41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçların ve benzinli aracın kullandığı rotayı göstermektedir. Elektrikli araçlar ve benzinli araç bu senaryoda aynı rotayı kullanmışlardır. Rota:

- N1 (Depo) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

Elektrikli araçlar bu rotayı 47,0771 TL maliyet ile tamamlarken, benzinli araç elektrikli araçlarla aynı rotayı kullanmasına rağmen, rotayı 75,1680 TL maliyet ile tamamlamıştır. Bu senaryoda elektrikli araçların benzinli araç göre %59.6699 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1→N2→N4→N3 →N5→N1	N1→N2→N4→N3→N 5→N1	N1→N2→N4→N3→ N5→N1
Maliyet	47,0771 TL	47,0771 TL	75,1680 TL
Katedilen Mesafe	112,5 KM	112,5 KM	112,5 KM
Yüzelik Değişim: %59.6699			

Tablo 4.17. 6. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim

Tablo 4.17. altıncı senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzelik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın bir sonraki adımında müşteri sayıları bir artırılarak 5 müşterili senaryolar oluşturulmaya başlanmıştır. Müşteri sayılarının artırılmasıyla şarj istasyonlarının kopyalarının da sayısı birer artırılmıştır. Şarj istasyonları ve depo oluşturulan yeni senaryolarda da sabit kalmıştır. Müşteriler bu senaryolarda Ankara ili içerisinde ve Ankara ili dışarısından seçilmiştir.

4.2.a.vii. Senaryo 7

Oluşturulan 7. senaryoda da 5 farklı müşteri lokasyonu Ankara ili içerisinde seçilmiştir

		Varış Noktası							
		N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	5,1	28	8,3	17,5	17,9	5,2	15,7
	N2	5,1	0	33,9	15,7	14,4	24,6	10,7	17,1
	N3	28	33,9	0	27,3	20,9	13,5	25	19,8
	N4	8,3	15,7	27,3	0	21,2	16,5	5,5	16,3
	N5	17,5	14,4	20,9	21,2	0	14,8	13,4	3,2
	N6	17,9	24,6	13,5	16,5	14,8	0	16	16,1
	S1	5,2	10,7	25	5,5	13,4	16	0	12,7
	S2	15,7	17,1	19,8	16,3	3,2	16,1	12,7	0

Tablo 4.18. 7. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

Tablo 4.18. yedinci senaryo için mesafe matrisini KM olarak göstermektedir. N1 depoyu simgelerken, N2, N3, N4, N5 ve N6 müşterileri ifade etmektedir. S1 ve S2 ise şarj istasyonlarını ifade etmektedir.

Harita 4.17. 7 Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4.17. oluşturulan 7. senaryodaki müşterilerin, şarj istasyonlarının ve deponun lokasyonunu göstermektedir.

Harita 4.18. 7. Senaryo, 41 KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası

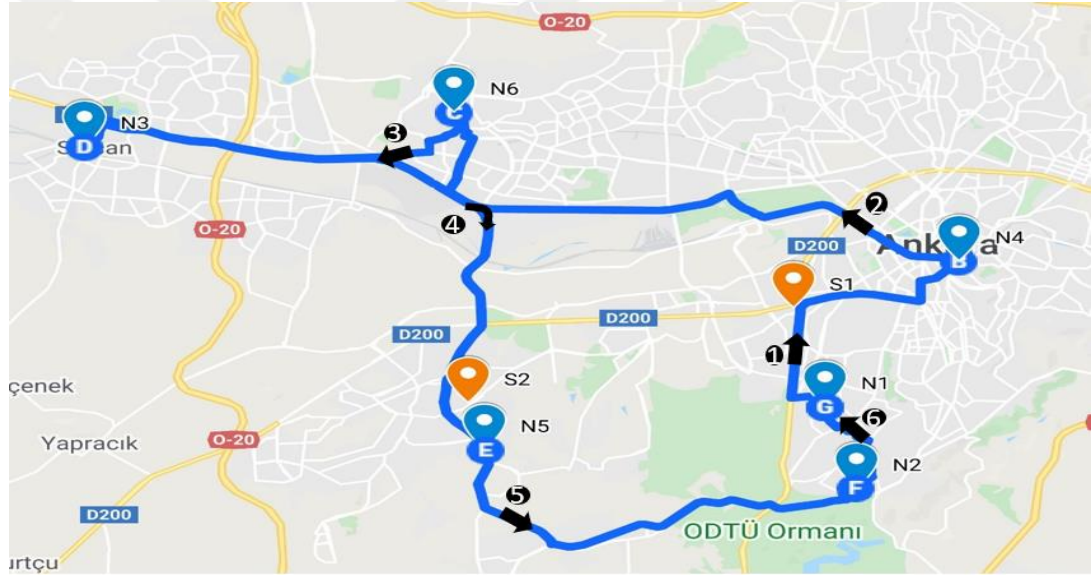


Harita 4.18. 41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın izlediği rotayı göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N6 (6 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçlar aynı rotayı kullanmış olup, bu rotayı 32,9331 TL maliyet ile tamamlamışlardır.

Harita 4.19. 7. Senaryo, Benzinli Araç Rotası



Harita 4.19. bu senaryoda benzinli aracın izlediği rotayı göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N6 (6 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

Benzinli araç bu rotayı 52.5842 TL maliyet ile tamamlamıştır. Bu senaryoda elektrikli araçlar ve benzinli araçlar karşılaştırıldığında, elektrikli araçların benzinli araçta göre %59.6697 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1→N2→N5→N3 →N6→N4→N1	N1→N2→N5→N3→ N6→N4→N1	N1→N4→N6→N3 →N5→N2→N1
Maliyet	32,9331 TL	32,9331 TL	52,5842 TL
Katedilen Mesafe	78,7 KM	78,7 KM	78,7 KM
Yüzdellik Değişim: %59.6697			

Tablo 4.19. 7. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim

Tablo 4.19. yedinci senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzdellik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

4.2.a.viii. Senaryo 8

Oluşturulan 8. Senaryoda da 5 farklı müşteri lokasyonu Ankara ili içerisinde seçilmiştir

		Varış Noktası							
		N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	5,5	21,5	24,1	15,1	6,9	5,2	15,7
	N2	5,5	0	23,4	30,5	21,3	10,7	12,4	18,1
	N3	21,5	23,4	0	31	27,70	12,1	17,5	28,3
	N4	24,1	30,5	31	0	15,1	23,5	21,2	17,1
	N5	15,1	21,3	27,70	15,1	0	15,5	12,1	4,7
	N6	6,9	10,7	12,1	23,5	15,5	0	5	15,8
	S1	5,2	12,4	17,5	21,2	12,1	5	0	12,7
	S2	15,7	18,1	28,3	17,1	4,7	15,8	12,7	0

Tablo 4.20. 8. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

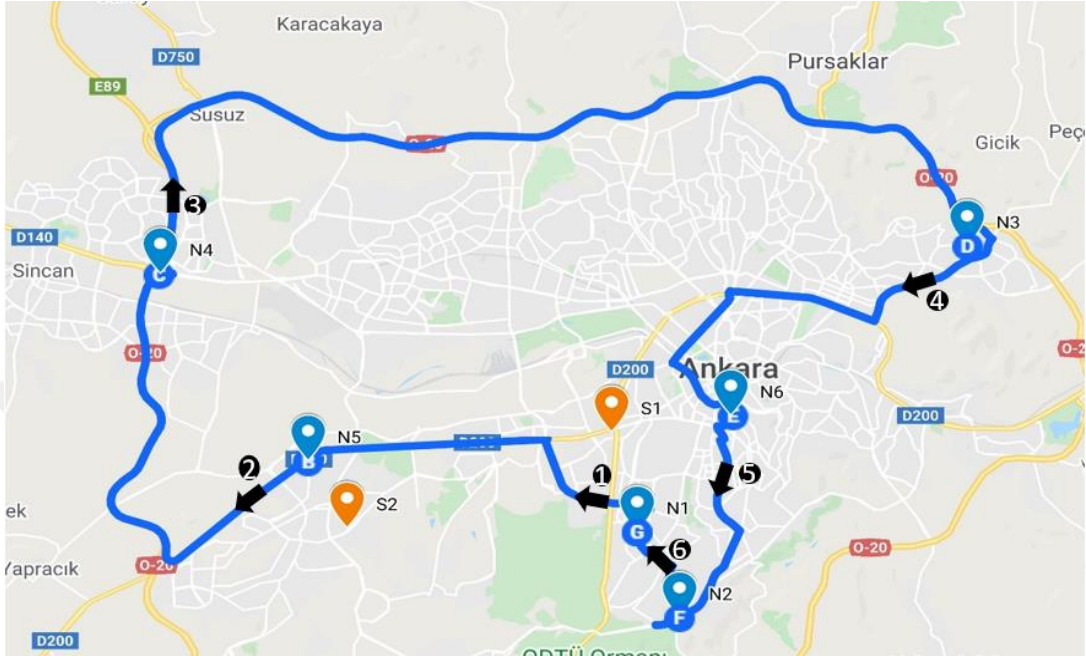
Tablo 4.20. sekizinci senaryo için mesafe matrisini KM olarak göstermektedir.

Harita 4.20. 8. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4. 20. oluşturulan 8. senaryodaki müşterileri, şarj istasyonlarını ve depoyu harita üzerinde göstermektedir.

Harita 4.21. 8. Senaryo, 41 KW ve 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası

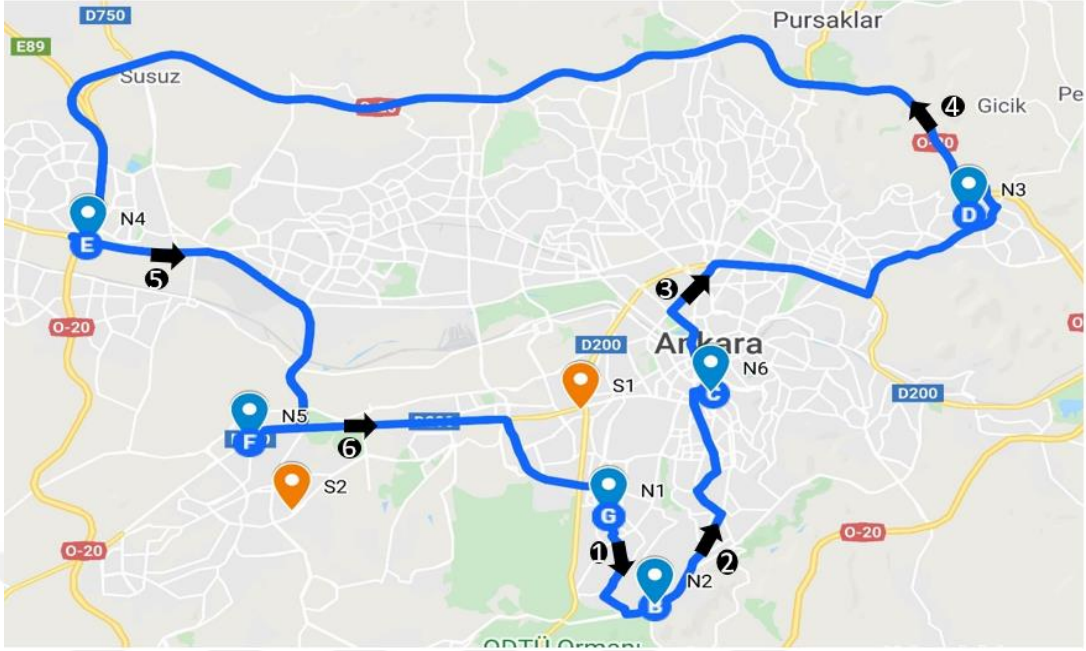


Harita 4.21. 41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç için oluşan rotayı göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N6 (6 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW ve 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araçlar aynı rotayı kullanmış olup, bu rotayı 37,4525 TL maliyet ile tamamlamışlardır.

Harita 4.22. 8. Senaryo, Benzinli Araç Rotası



Harita 4.22. benzinli aracın kullandığı rotayı göstermektedir. Rota:

- N1(Depo) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N6 (6 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

Benzinli araç bu rotayı 59,8003 TL maliyet ile tamamlamıştır. Bu senaryoda elektrikli araçlar ve benzinli araçlar karşılaştırıldığında, elektrikli araçların benzinli araca göre %59.6697 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1→N5→N4→N3 →N6→N2→N1	N1→N5→N4→N3→ N6→N2→N1	N1→N2→N6→N3 →N4→N5→N1
Maliyet	37,4525 TL	37,4525 TL	59,8003 TL
Katedilen Mesafe	89,5 KM	89,5 KM	89,5 KM
Yüzdellik Değişim: %59.6697			

Tablo 4.21. 8. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzdellik Değişim

Tablo 4.21. sekizinci senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzdellik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

4.2.a.ix. Senaryo 9

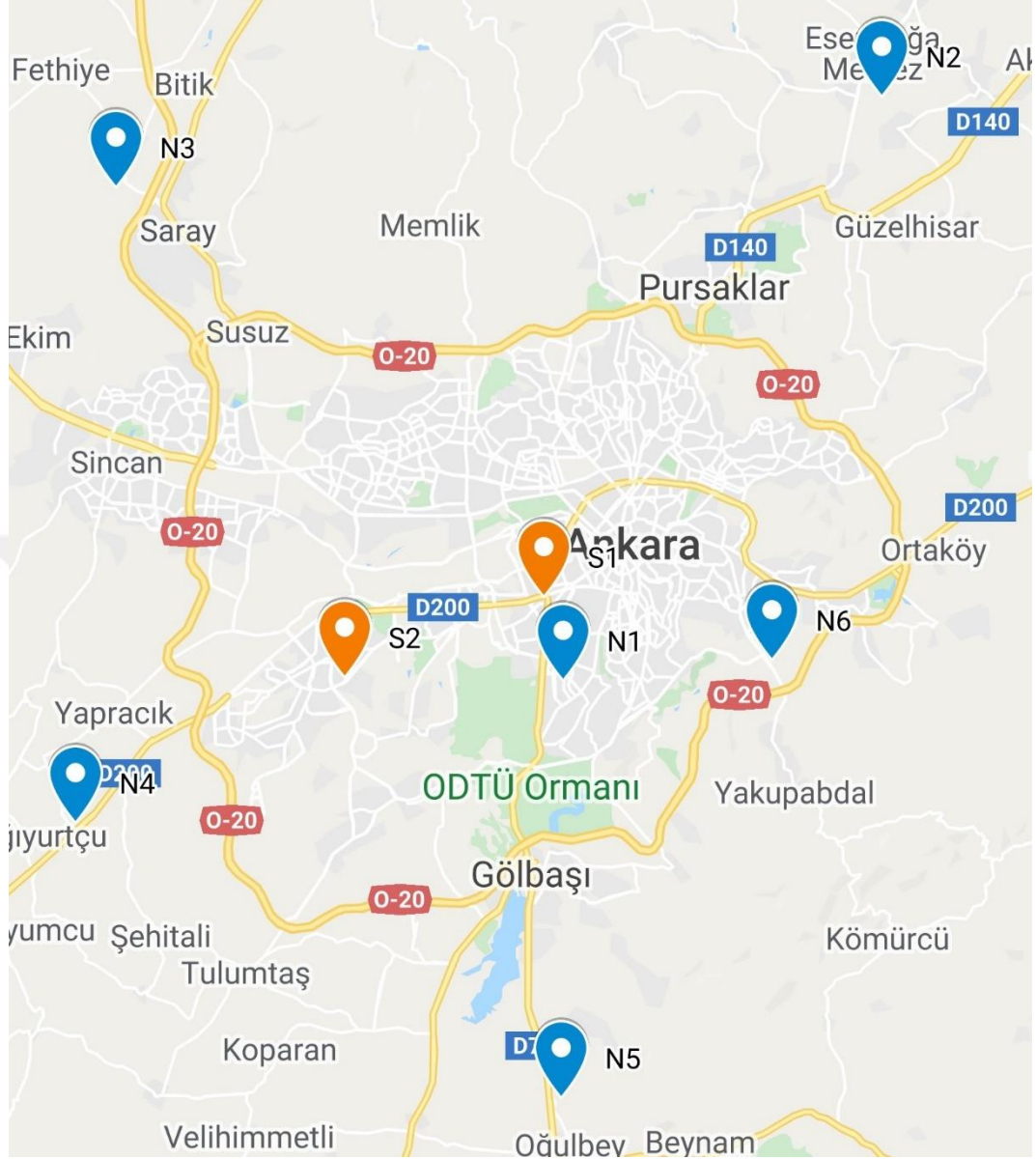
Oluşturulan 9. Senaryoda da 5 farklı müşteri lokasyonu Ankara ili içerisinde seçilmiştir.

		Varış Noktası							
		N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	35,8	36,5	31,1	21,4	14,3	5,2	15,7
	N2	35,8	0	51,6	59,3	72	36,2	32,4	43,3
	N3	36,5	51,6	0	37,7	58	50,2	35,7	29,8
	N4	31,1	59,3	37,7	0	43,4	48,8	28,1	16,2
	N5	21,4	72	58	43,4	0	29,6	24,6	30,4
	N6	14,3	36,2	50,2	48,8	29,6	0	16,3	27,2
	S1	5,2	32,4	35,7	28,1	24,6	16,3	0	12,7
	S2	15,7	43,3	29,8	16,2	30,4	27,2	12,7	0

Tablo 4.22. 9. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

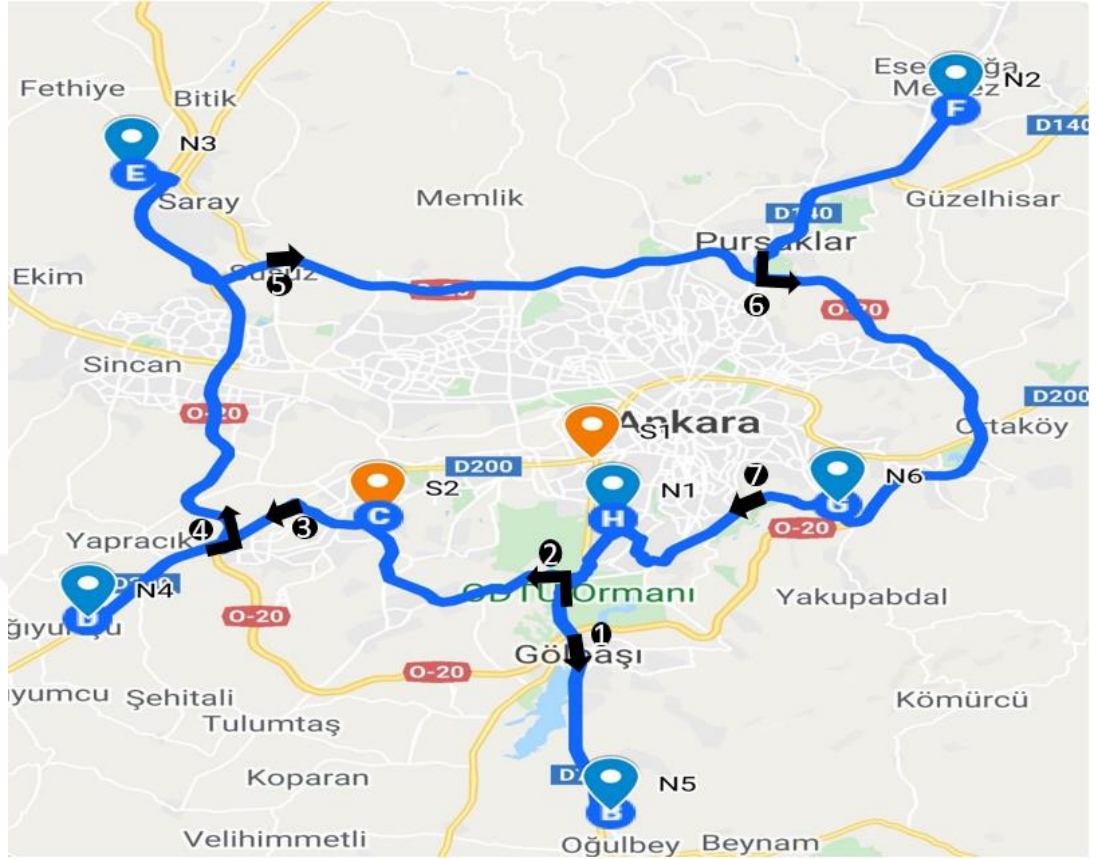
Tablo 4.22. dokuzuncu senaryo için mesafe matrisini KM olarak göstermektedir.

Harita 4.23. 9. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4.23. oluşturulan 9. senaryodaki müşterileri, şarj istasyonlarını ve depoları harita üzerinde göstermektedir.

Harita 4.24. 9. Senaryo, 22 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası

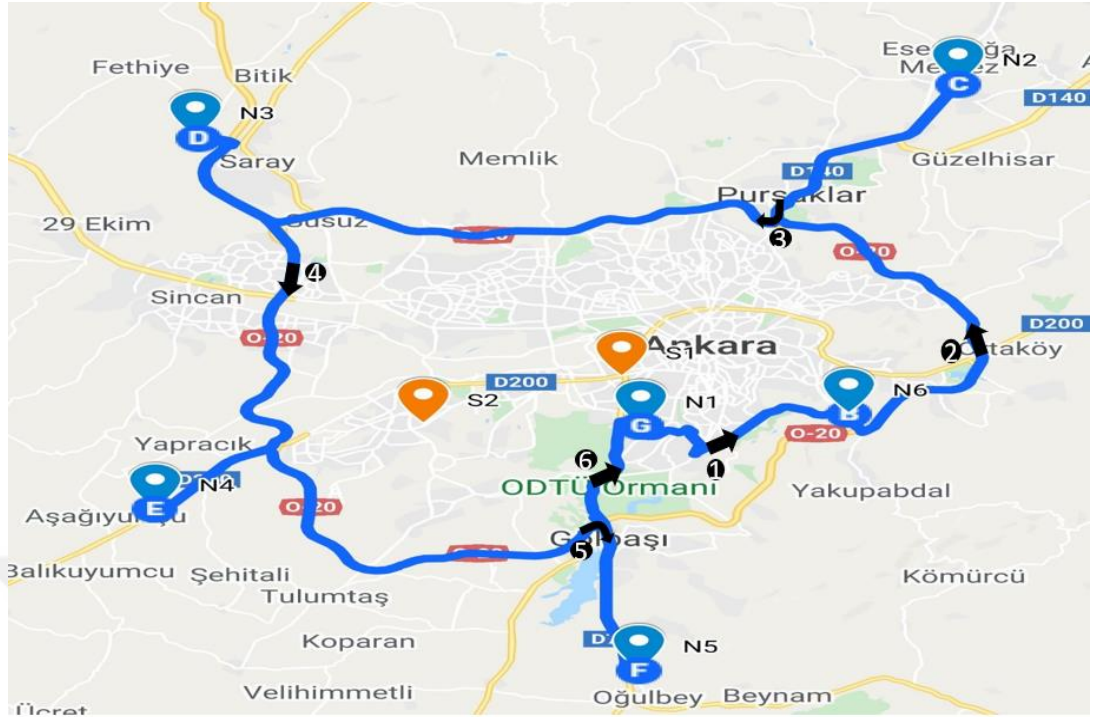


Harita 4.24. 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın rotasını göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo) → N5 (5 Numaralı müşteri) → S2 (2 Numaralı şarj istasyonu) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N6 (6 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç bu rotayı 86,9567 TL maliyet ile tamamlamıştır.

Harita 4.25. 9. Senaryo, 41 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç ve Benzinli Araç Rotası



Harita 4.25. 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç ve benzinli aracın rotasını göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo) → N6 (6 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç bu rotayı 85,6176 TL maliyet ile tamamlarken, benzinli araç aynı rotayı 136,7055 TL maliyet ile tamamlamıştır. Araçların maliyetleri karşılaştırıldığında ise 22 KW elektrikli araç ile benzinli araç arasında %57.2110'luk bir fark varken, 41 KW elektrikli araç ile benzinli araç arasında ise %59.6698'luk bir fark vardır. 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç turu tamamlamak için 1 defa şarj istasyonuna uğrama ihtiyacı duymuşken, 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç turu şarj istasyonuna uğramadan tamamlayabilmiştir. Bu senaryoda 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç benzinli araca göre

%57.2110 daha avantajlı olduğu ve 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç benzinli araca göre %59.6698 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır. 9. Senaryo MATLAB yazılımında çözümlenirken 2 saatlik çözüm süresinin sonunda 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın maliyeti 90,8484 TL çıkmış olup, 10 saat sınırı içerisinde yapılan çözümde 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli aracın maliyeti 85,6176 TL çıkmıştır. Sonuç tablosuna ise optimal rota ve minimum maliyetin olduğu sonuçlar eklenmiştir.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	N1→N5→S2→N4 →N3→N2→N6→ N1	N1→N6→N2→N3→ N4→N5→N1	N1→N6→N2→N3 →N4→N5→N1
Maliyet	86,9567 TL	85,6176 TL	136,7055 TL
Katedilen Mesafe	207,8 KM	204,6 KM	204,6 KM
Yüzelik Değişim 1 (22 KW-Benzinli Araç): %57.2110			
Yüzelik Değişim 2 (41 KW-Benzinli araç): %59.6698			

Tablo 4.23. 9. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim

Tablo 4.23. dokuzuncu senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzelik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

4.2.a.x. Senaryo 10

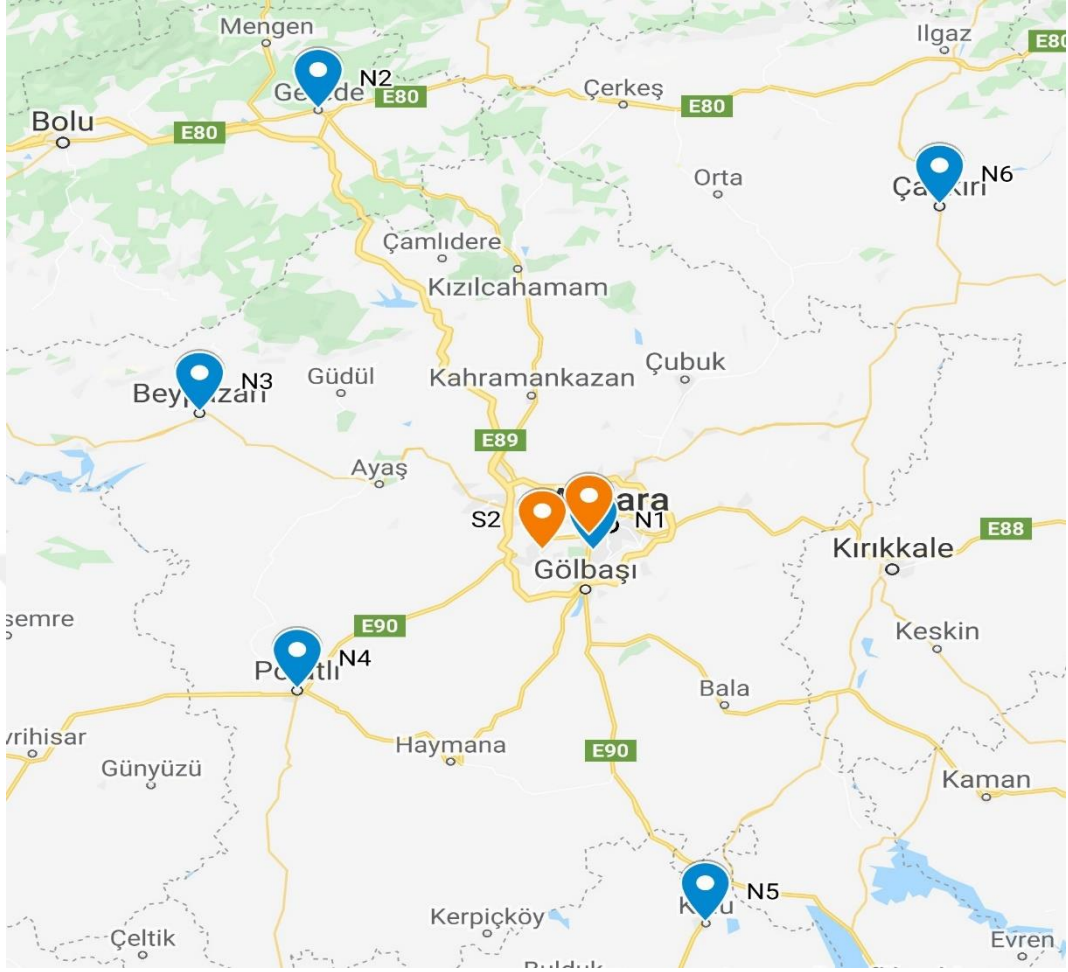
Oluşturulan 10. Senaryoda da 5 farklı müşteri lokasyonu Ankara il sınırları dışarısında seçilmiştir. Bu senaryo, bu çalışmanın son senaryosudur.

		Varış Noktası							
		N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2
Başlangıç Noktası	N1	0	146	104	77,6	103	142	5,2	15,7
	N2	146	0	140	193	257	150	140	137
	N3	104	140	0	101	212	214	100	95,6
	N4	77,6	193	101	0	127	221	73,8	63,3
	N5	103	257	212	127	0	207	108	113
	N6	142	150	214	221	207	0	137	154
	S1	5,2	140	100	73,8	108	137	0	12,7
	S2	15,7	137	95,6	63,3	113	154	12,7	0

Tablo 4.24. 10. Senaryo İçin Mesafeler (KM)

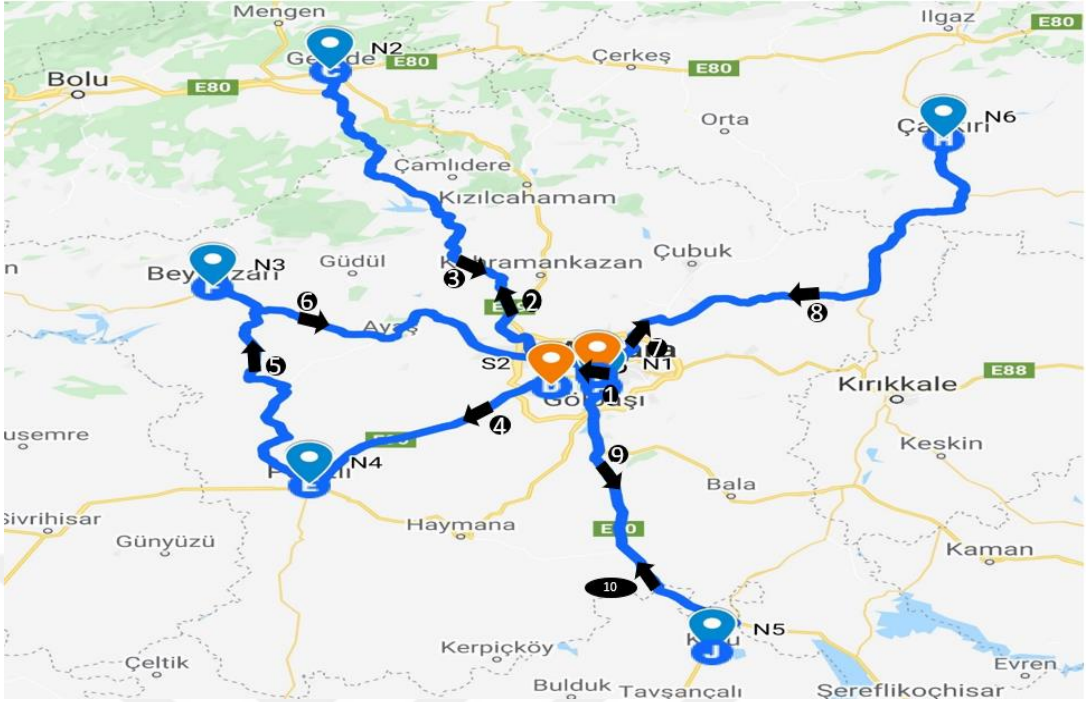
Tablo 4. 24. onuncu senaryo için mesafe matrisini KM olarak göstermektedir.

Harita 4.26. 10. Senaryo İçin Seçilen Müşteriler, Şarj İstasyonları ve Deponun Lokasyonları



Harita 4. 26. Oluşturulan 10. senaryodaki müşterileri, şarj istasyonlarını ve depoyu göstermektedir.

Harita 4.27. 10. Senaryo, 41 KW Batarya Kapasitesine Sahip Elektrikli Araç Rotası

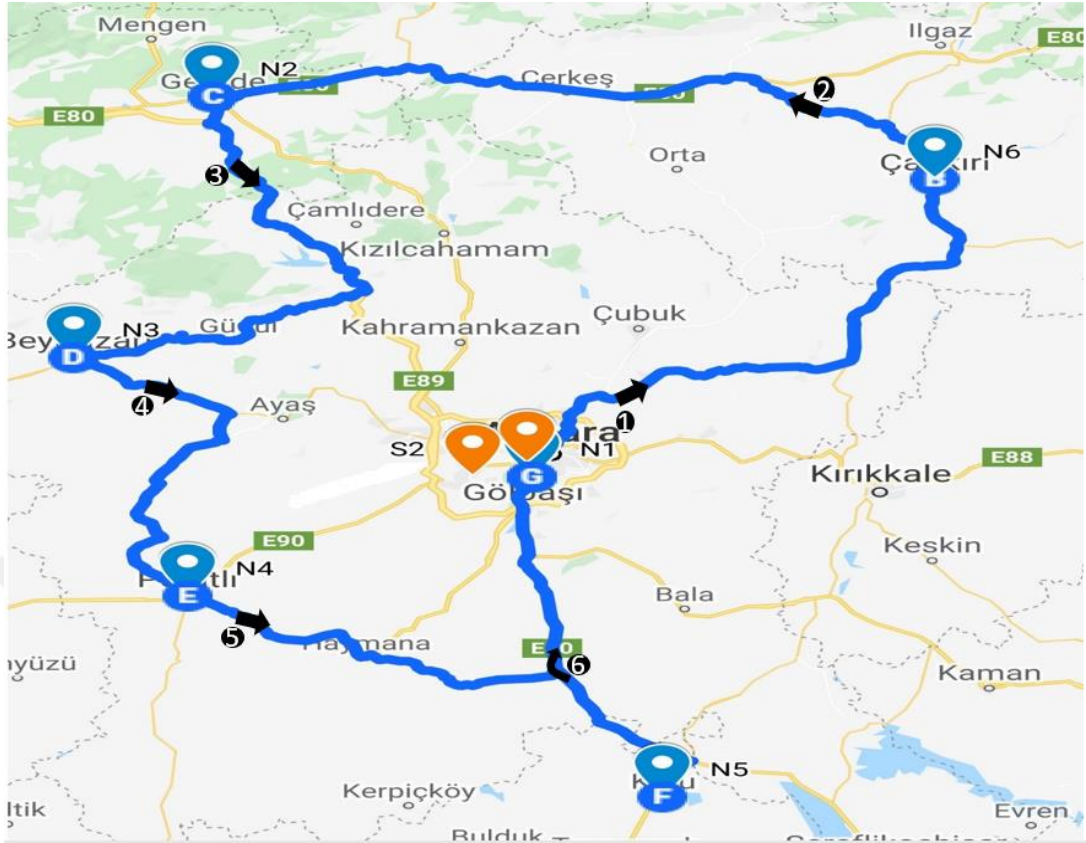


Harita 4.27. 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç rotasını göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo) → S1 (1 Numaralı şarj istasyonu) → N2 (2 Numaralı müşteri) → S2 (2 Numaralı şarj istasyonu) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → S1 (1 Numaralı şarj istasyonu) → N6 (6 Numaralı müşteri) → S1 (1 Numaralı şarj istasyonu) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç bu rotayı tamamlamak için toplamda 4 kere şarj istasyonuna uğramıştır ve rotayı 431,6454 TL maliyet ile tamamlamıştır.

Harita 4.28. 10. Senaryo, Benzinli Araç Rotası



Harita 4. 28. benzinli aracın izlediği rotayı göstermektedir. Rota:

- N1 (Depo) → N6 (6 Numaralı müşteri) → N2 (2 Numaralı müşteri) → N3 (3 Numaralı müşteri) → N4 (4 Numaralı müşteri) → N5 (5 Numaralı müşteri) → N1 (Depo)

Benzinli araç bu rotayı 509,8061 TL maliyet ile tamamlamıştır. Bu senaryoda 22 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç rotası oluşmamıştır çünkü 22 KW batarya kapasitesi bu rotayı tamamlamak için yetersiz kalmıştır. 41 KW batarya kapasitesine sahip elektrikli araç ile benzinli aracın maliyetleri karşılaştırıldığında ise arada %18.1076'luk bir fark vardır. Normalde mesafenin arttıkça elektrikli araç ve benzinli araç maliyetleri arasındaki farkın artması beklenmektedir. Ancak bu senaryoda elektrikli araç sadece Ankara ili içerisindeki seçilen şarj istasyonlarını kullanabilmiştir. Elektrikli aracın benzinli araca göre daha fazla mesafe katetmesine

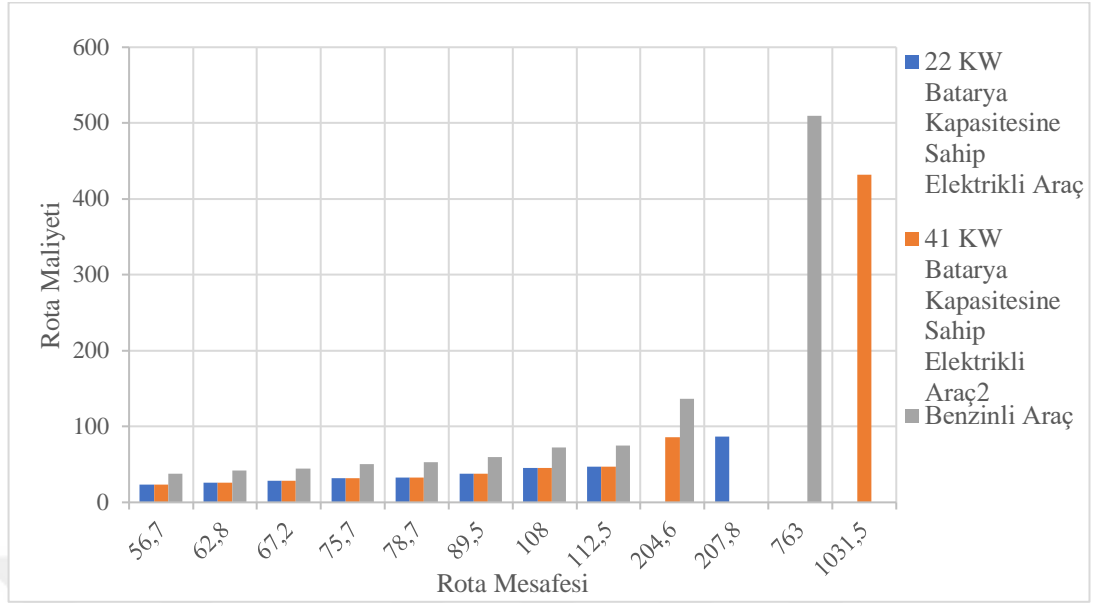
rağmen, bu senaryoda elektrikli aracın benzinli araca göre %18.1076 daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

	Elektrikli Araç 1 (22 KW)	Elektrikli Araç 2 (41 KW)	Benzinli Araç
Rota	Rotanın tamamlanması için yetersiz batarya kapasitesi	N1→S1→N2→S2→ N4→N3→S1→N6→ S1→N5→N1	N1→N6→N2→N3 →N4→N5→N1
Maliyet		431,6454 TL	509,8061 TL
Katedilen Mesafe		1031,5 KM	763 KM
Yüzelik Değişim: %18.1076			

Tablo 4.25. 10. Senaryo, Araçların Rota, Maliyet Karşılaştırması ve Yüzelik Değişim

Tablo 4.25. onuncu senaryoda araçların izledikleri rotaları, bu rotaları tamamladıklarındaki maliyetleri ve maliyetler arası yüzelik değişimi ve elektrikli araçların bu senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.1. Senaryoların Rota ve Maliyet Grafiği



Şekil 4.1. oluşturulan senaryoların rota mesafelerini ve maliyetlerini göstermektedir. Rota mesafesi arttıkça elektrikli araçlar ve benzinli araç maliyetleri arasındaki fark azalmaktadır. Bunun sebebi ise elektrikli araçların şarj istasyonları için yeterli alt yapının yetersiz olmasıdır. Türkiye’deki şarj istasyonlar sıklığı çok azdır ve elektrikli araçlar şarj istasyonlarına uğramak için tekrar büyük şehirlere dönmek zorunda kalmaktadır. Alt yapının gelişmesi ile elektrikli araçların sağladığı maliyet farkı daha da artacak olup, elektrikli araçların benzinli araçlara göre avantajı daha fazla ortaya çıkacaktır.

Oluşturulan ve çözümlenen senaryoların sonucunda elektrikli araç her senaryoda benzinli araca göre daha avantajlı çıkmıştır. Elektrikli araç benzinli araçtan daha fazla mesafe katetse bile, maliyet konusunda benzinli araca üstünlük sağlamıştır. Gelişecek şarj istasyonları alt yapısı ile bu avantaj daha da artacaktır.

BÖLÜM V

SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, giderek popülerleşen elektrikli araçların incelenmesi ve maliyetlerinin benzinli araçlar ile karşılaştırılmasıdır. Bu sayede elektrikli araçların hangi durumlarda benzinli araçlara göre ne kadar avantajlı olduğunu da göstermektir. Aynı zamanda bu çalışmada Türkiye'deki elektrikli araçlar için kurulmuş olan şarj istasyonu alt yapısının yetersizliği vurgulanmaya çalışılmıştır.

Çalışmada ilk olarak Ağustos 2019 Ankara'daki benzinin litre maliyeti ve birim elektrik maliyeti ele alınmıştır. İkinci aşamada elektrikli ve benzinli araçlar için piyasada satışı olan araçlar arasından örnek araç modelleri seçilmiş ve bu araçların, batarya kapasiteleri, yakıt tüketimi oranları vb. değerler ele alınmıştır. Bu değerler kullanılarak, Veri ve Modelleme bölümünde bahsedilen matematiksel optimizasyon modelleri oluşturulmuş, amaç fonksiyonu, kısıtlar ve modellerde kullanılan karar değişkenleri ve parametreler açıklanmıştır. Bir sonraki aşamada Ankara ili içinde ve dışında müşteri lokasyonları, Ankara ili içinde iki adet şarj istasyonu lokasyonu ve Ankara ili içinde bir depo lokasyonu belirlenmiştir. Lokasyonlar belirlendikten sonra her bir lokasyonun diğer lokasyonlara olan mesafesi hesaplanmış ve senaryoların mesafe matrisleri oluşturulmuştur. Senaryolarda 3, 4 ve 5 müşteri, 2 şarj istasyonunun ve 1 depo bulunmaktadır. Şarj istasyonlarının ve deponun yeri her senaryoda aynıdır. Müşteri sayılarına göre oluşturulan her bir senaryoda mesafeler giderek arttırılmıştır. Tüm senaryolar oluşturulduktan sonra, senaryolar elektrikli araç ve benzinli araç modellerine göre çözümlenmiştir. Çözümlenen senaryolarda, elektrikli araçlar ve benzinli araç için oluşan rota ve maliyetler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Müşterilerin 25 km²'lik alan içinden seçildiği senaryolarda elektrikli araçların ve benzinli aracın

maliyetleri arasındaki farklılık %59'dur. Müşterilerin 35 km²'lik alan içinden seçildiği senaryolarda elektrikli araçların ve benzinli aracın maliyetleri arasındaki farklılık %58-%59 arasında değişmektedir. Müşterilerin 40 km²'lik alandan seçildiği senaryolarda da elektrikli araçların ve benzinli aracın maliyetleri arasındaki farklılık %58-59 arasında değişmektedir. Müşterilerin 55 km²'lik alandan seçildiği senaryolarda ise elektrikli araçların ve benzinli aracın maliyetleri arasındaki farklılık %57-%59 arasında değişmektedir. Son senaryoda ise müşteriler 200 km²'lik alan içerisinde seçilmiştir, elektrikli araçların ve benzinli aracın maliyetleri arasındaki farklılık ise %18'dir. Müşterilerin seçildiği alan genişledikçe elektrikli araçların ve benzinli araçların arasındaki maliyet farkı da kademeli olarak azalmaktadır.

Maliyetler karşılaştırıldıktan sonra elektrikli araçların her senaryoda benzinli araçlara göre daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır. Ancak maliyetler arası yüzdelerik değişim, mesafe arttıkça azalmaktadır. Elektrikli araçlar 250 KM'ye kadar benzinli araca göre %57-%59 daha avantajlı iken, bu avantaj mesafe 250 KM ve üstüne çıktıkça kademeli olarak düşmektedir. Elektrikli araçların benzinli araca göre avantajı 750 – 1050 KM arasındaki mesafeler de %15-%18'e kadar düşmektedir. 1050 KM'ye kadar mesafelerde elektrikli araçlar tercih edilebilirken, daha fazla mesafe katedilmesi gerektiren rotalarda benzinli araçlar tercih edilmelidir. Bunun sebebi ise Türkiye'de bulunan şarj istasyonlarının sayılarının yetersiz olması ve istasyonların çalışılan müşteri haritası üzerinde eşit mesafelerle dağılmamasıdır. Bu yetersizlikler elektrikli araçların gidebilecekleri maksimum mesafeyi azaltmakta ve maliyetlerini arttırmaktadır. Bu sorun şarj istasyonlarının lokasyonlarının doğru seçilmesi ve şarj istasyonu alt yapısının güçlendirilmesiyle giderilebilecektir. Bu sorunlar azaldığı takdirde Türkiye'de kullanılan elektrikli araçların sayısında daha büyük bir artış gözlemlenebilir.

Bu tez çalışmasında oluşturulan senaryolar doğrultusunda ise elektrikli veya benzinli araç kullanımı için çıkarılacak sonuçlar şöyledir:

- Elektrikli Araçlar, benzinli araçlara göre %15-60 arasında daha avantajlıdır. Bu oran araçların yakıt tüketimine, batarya/depo kapasitesine ve rota mesafesine göre farklılık göstermektedir.
- Müşteri sayısı veya mesafe arttıkça elektrikli araçların şarj istasyonuna uğrama sıklıkları artmaktadır. Birbirine yakın 5 müşteride elektrikli araçlar şarj istasyonuna 1-2 defa uğrarken, birbirine uzak 5 müşteride elektrikli araçlar şarj istasyonuna 4-5 defa veya daha fazla uğramaktadırlar.
- Şarj istasyonu alt yapısının gelişmesi elektrikli araçların kullanım oranının artmasına pozitif bir etki sağlayacaktır.
- Şarj istasyonlarındaki şarj tiplerinin (aparalarının) gelişmesi elektrikli araçların kullanım oranının artmasına pozitif bir etki sağlayacaktır.
- Şarj istasyonların belirli bir alanda kümelenmesi elektrikli araçların kullanım oranının azalmasına neden olabilir. Bu sebepten dolayı şarj istasyonları eşit mesafelerle kurulmalı ve kümelenmeden kaçınılmalıdır.

Bu çalışmada oluşturulan optimizasyon modelleri MATLAB isimli yazılım ile çözümlenmiştir. Her senaryo için oluşturulmuş olan mesafe matrisleri Google Maps ile hesaplanmıştır. Çalışmada karşılaşılan en büyük sorun çözüm süresi olmuştur. Gelecekte farklı sezgisel metotlar geliştirilerek bu sorun ortadan kaldırılabilir. Aynı zamanda gelecekteki çalışmalarda zaman, araç taşıma kapasitesi, dağıtım ve toplama, şarj tipleri vb. kısıtlar eklenerek ve senaryolarda bulunan müşteri sayıları arttırılarak çalışma geliştirilecektir. Son olarak, şarj istasyonlarının yetersizliği ve lokasyon

seçiminin yanlış yapılması gelecek çalışmalarda ele alınacaktır ve şarj istasyonu lokasyonu seçimi problemi üzerine çalışmalar yapılacaktır.



KAYNAKÇA

- Alshubiri, Faris. 2013. "The impact of green logistics-based activities on the sustainable monetary expansion indicators of Oman." *Journal of Industrial Engineering and Management* 10 (2): 388-405
- Ardınc, Ceyda. 2019. "How and where are electric vehicle owners charging the vehicles in Turkey?" Erişim Tarihi: 21 Aralık 2019.
<https://medium.com/@car4futuretech/how-and-where-are-electric-vehicle-owners-charging-the-vehicles-in-turkey-48eff63c63ac>
- Baker, Barrie M. Ve Mossie A. Ayechev. 2003. "A genetic algorithm for the vehicle routing problem." *Computers & Operations Research* 30(5): 787-800
- Baldacci, Roberto, Aritside Mingozzi ve Roberto Roberti. 2012. "Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints." *European Journal of Operational Research* 218 (1): 1-6
- Baran, Erhan. 2018. "Route Determination for Capacitated Vehicle Routing Problem with Two Different Hybrid Heuristic Algorithm." *International Journal of Engineering Science and Application* 2 (2): 41-46
- Barco, John, A., Guerra, Luis, Muñoz ve Nicanor, Quijano. 2017. "Optimal Routing and Scheduling of Charge for Electric Vehicles: A Case Study." *Mathematical Problems in Engineering*: 1-21
- Belfiore, Patrícia, Hugo Tsugunobu, Yoshida Yoshizaki. 2008. "Scatter Search for Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Deliveries." Erişim Tarihi: 15 Mart 2020.
https://www.intechopen.com/books/vehicle_routing_problem/scatter_search_for_vehicle_routing_problem_with_time_windows_and_split_deliveries
- Bradley, Stephen P., Arnold C. Hax ve Thomas L. Magnanti. 1977 "Applied Mathematical Programming." Chapter 9 içinde, 272-319. Boston: Addison-Wesley.
- Bräysy, Olli ve Michel Gendreau. 2005. "Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics." *Transportation Science* 39 (1): 119-139

- Cochran, Lynn. 2018. "Effect of Human Activities on the Environment." Erişim Tarihi: 15 Aralık 2019 <https://sciencing.com/effect-human-activities-environment-11374.html>
- Conrad, Ryan G. ve Miguel Andres Figliozzi. 2011. "The recharging vehicle routing problem." Yıllık Toplantı Bildirisi: Proceedings of the 2011 industrial engineering research conference, IISE Norcross, GA
- Cordeau, Jean-François, Gilbert Laporte, Martin W.P. Savelsbergh ve Daniele Vigo. 2007. "Chapter 6 Vehicle Routing." Handbooks in Operations Research and Management Science (14): 367-428
- Cordeau, Jean-François, Michel Gendreau ve Gilbert Laporte. 1997. "A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-Depot Vehicle Routing Problems." Networks: An International Journal 30(2): 105-119
- Crevier, Benoit, Jean-François Cordeau ve Gilbert Laporte. 2007. "The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes." European journal of operational research 176(2): 756-773
- Dano, Sven. 1974. "Linear Programming in Industry: Theory And Applications An Introduction Forth Edition" İntroduction içinde, 1-3, Wien: Springer-Verlag
- Dantzig, George B. ve J.H. Ramser. 1959. "The truck dispatching problem." Management Science 6(1): 80-91
- Desrochers, Martin, Jacques Desrosiers ve Marius Solomon. 1992. "A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows." Operations research 40(2): 342-354
- Dror, Moshe, Gilbert Laporte ve Pierre Trudeau. 1994 "Vehicle routing with split deliveries" Discrete Applied Mathematics 3 (50): 239-254
- El-Sherbeny, Nasser A., 2010. "Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods." Journal of King Saud University- Science 22(3): 123-131
- EPA. 2014. "Sources of Greenhouse Gas Emissions." Erişim Tarihi: 10 Aralık 2019. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>

- Erdoğan, Sevgi ve Elise Miller-Hook. 2012. "A Green Vehicle Routing Problem." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 48(1): 100-114
- Evbox. 2019. "ELECTRIC CAR INCENTIVES : EU." Erişim Tarihi: 19 Aralık 2019. EVbox. evbox.com: <https://evbox.com/en/learn/faq/incentives-buying-electriccar>
- Figliozzi, Miguel. 2010. "Vehicle routing problem for emissions minimization." *Transportation Research Record* 2197.1 (2010): 1-7
- Gass, I. Saul. 1995. "Linear Programming: Methods and Applications Fifth Edition" *Linear Programming Problems içinde*, 4-5, New York: McGraw-Hill.
- Gendreau, Michel, Gilbert Laporte ve René Séguin. 1996. "Stochastic vehicle routing." *European Journal of Operational Research* 88(1): 3-12
- Ghiani, Gianpaolo, Gilbert Laporte ve Roberto Musmanno. 2004. "Introduction to Logistics Systems Planning and Control" *Introduction içinde*, 1-2. Chichester: John Wiley & Sons.
- Gonen, Rica ve Daniel Lehmann. 2000. "Optimal solutions for multi-unit combinatorial auctions: Branch and bound heuristics." Erişim Tarihi: 10 Mart 2020 https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/352871.352873?casa_token=m8on8Hx_IhoAAAA:HPDTu9MnkH2dvkSRBTbKrjBqy1UN1v4Bw49K3ptTxm7VTcl0uCaQ34IrET3-EymeA0MFU8YXFddA9w
- Google Maps. "Ankara Haritası." Erişim Tarihi: 1 Mart 2020. <https://www.google.com/maps/place/Ankara/@39.9035557,32.6226796,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x14d347d520732db1:0xbdc57b0c0842b8d!8m2!3d39.9333635!4d32.8597419>
- Groër, Chris, Bruce Golden ve Edward Wasil. 2009 "The Consistent Vehicle Routing Problem" *Manufacturing & Service Operations Management* 11 (4): 630-643.
- Hoff, Arild, Irina Gribkovskaia, Gilbert Laporte ve Arne Løkketangen. 2009. "Lasso solution strategies for the vehicle routing problem with pickups and deliveries." *European Journal of Operational Research* 192(3): 755-766

- 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.
- Laporte, Gilbert. 1992. "The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms." *European journal of operational research* 59(3): 345-358
- Lawler, Eugene L. ve David E. Wood. 1966. "Branch-and-bound methods: A survey." *Operations Research* 14 (4): 699-719
- Lewis, C. (2008). *Linear Programming: Theory and Applications*. Retrieved August, 3, 2018.
- Lewis, Catherine. 2008. "Linear Programming: Theory and Applications" Erişim Tarihi: 12.02.2020.
<https://www.whitman.edu/Documents/Academics/Mathematics/lewis.pdf>
- Li, Feiyue, Bruce Golden ve Edward Wasil. 2005. "Very large-scale vehicle routing: new test problems, algorithms, and results." *Computers & Operations Research* 32(5): 1165-1179
- Lin, Jane, Wei Zhou ve Ouri Wolfson. 2016. "Electric vehicle routing problem." *Transportation Research Procedia* 12: 508-521
- Matlab. 2019. "9.7.0.1190202 (R2019b)" Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- Morganti, Eleonora ve Jesus Gonzalez-Feliu. 2015. "City logistics for perishable products. The case of the Parma's Food Hub." *Case Studies on Transport Policy* 3(2): 120-128
- Narendra, Patrenahalli M. ve Keinosuke Fukunaga. 1977 "A branch and bound algorithm for feature subset selection." *IEEE Transactions on Computers* (26): 917-922
- National Geographic. 2019. "Effects of global warming." Erişim Tarihi: 10 Aralık 2019. <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/global-warming-effects/>

Pelletier, Samuel, Ola Jabali ve Gilbert Laporte. 2019. "The electric vehicle routing problem with energy consumption uncertainty." *Transportation Research Part B: Methodological* 126: 225-255

Resmi Gazete. 2016 "4760 Sayılı Özel Tüketim Vergisi Kanununa Ekli (II) Sayılı Listede Yer Alan Bazı Mallarda Uygulanan Özel Tüketim Vergisinin Yeniden Tespiti Hakkında Karar." Erişim Tarihi: 16 Mart 2020.
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161005-14.pdf>

Sassi, Ons, Wahiba R., Cherif-Khettaf ve Ammar Oulamara. 2014. "Vehicle Routing Problem with Mixed Fleet of Conventional and Heterogenous Electric Vehicles and Time Dependent Charging Costs." *International Journal of Mathematical and Computational Sciences* 9(3): 171-181

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-ulastirma-sektorunun-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

Schrijver, Alexander. 2003. "Combinatorial Optimization: Polyhedra and Efficiency." *Introduction içinde*, 1-2. Amsterdam: Springer Science & Business Media

Scomandi, Nicola. 2001. "A Rollout Policy for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands." *Operations Research* 49(5): 796-802

Sen, Rathindra P. 2009. "Operations research: algorithms and applications." *Operations Research Techniques: An Overview içinde*, 11-16. New Delhi: PHI learning private limited.

Skidmore, Chris. 2019. "UK becomes first major economy to pass net zero emissions law." Erişim Tarihi: 18 Aralık 2019. <https://www.gov.uk/government/news/uk-becomes-first-major-economy-to-pass-net-zero-emissions-law>

Statista. 2019. “Number of public electric vehicle charging stations in Europe from 2010 to 2019.” Erişim Tarihi: 19 Aralık 2019
<https://www.statista.com/statistics/955443/number-of-electric-vehicle-charging-stations-in-europe/>

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

Türkay M. 2011. “Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Methodları.” Erişim Tarihi: 10.03.2020 <http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/optimizasyon.pdf>

Verma, Amit. 2018. “Electric vehicle routing problem with time windows, recharging stations and battery swapping stations.” *EURO Journal on Transportation and Logistics* 7(4): 415-451

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

Yang, Wen-Huei, Kamlesh Mathur, Ronald H. Ballou. 2000. “Stochastic Vehicle Routing Problem with Restocking.” *Transportation Science* 34 (1): 99-112