

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYON YERLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sena DÖRTKÖŞE**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN**

**Haziran 2022**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYON YERLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sena DÖRTKÖŞE

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25.04.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Sena DÖRTKÖŞE

10.06.2022

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmam boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Harun Reşit YAZĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince ihtiyaç duyduğum her an yardım ve desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Serap ERCAN CÖMERT hocama çok teşekkür ederim.

Her koşulda yanımda olarak beni sevgiyle yetiştiren, hayatım boyunca beni sürekli destekleyen ve her zaman yanımda olan, bugünlere gelmemde en büyük emeğe sahip olan biricik aileme sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vi
ÖZET .....	vii
SUMMARY .....	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Elektrikli Araç Şarj İstasyon Yer Problemi .....	3
2.2. Akış Yakıt İkmal Yer Modeli Yaklaşımları .....	5
2.3. Skalerleştirme Yaklaşımları .....	7
BÖLÜM 3.	
ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	10
3.1. Yer Belirleme Problemleri .....	10
3.1.1. P-Medyan problemi .....	10
3.1.2. Küme kapsama problemi .....	11
3.1.3. Maksimum kapsama problemi .....	12
3.1.4. Akış yakıt-ikmal yer modeli.....	13
3.2. Çok Amaçlı Optimizasyon.....	15
3.2.1. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi .....	16

3.2.2. Epsilon kısıt skalerleştirme yöntemi.....	17
3.2.3. Konik skalerleştirme yöntemi.....	18
3.2.4. Benson skalerleştirme yöntemi.....	19

#### BÖLÜM 4.

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYON YERLERİNİN ÇOK AMAÇLI MATEMATİKSEL MODEL İLE ÇÖZÜLMESİ.....	21
4.1. Problemin Tanımı.....	21
4.2. Problemin Çözümü.....	27

#### BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ.....	33
KAYNAKLAR.....	35
EKLER.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	49

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

FRLM	: Akış Yakıt İkmal Yer Modeli (Flow refueling location model)
O - D	: Başlangıç - Hedef (Orijin - Destination)
KTDP	: Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama
AYKM	: Akış Yakalama Konum Modeli
KKP	: Küme Kapsama Problemi
MKP	: Maksimum Kapsama Problemi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
GA	: Genetik Algoritma
EA	: Evrimsel Algoritmalar
ES	: Evrimsel Strateji

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. q1 yolunun güzergahı.....	23
Şekil 4.2. Pareto optimal grafiği .....	30



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Çözüm yöntemleri.....	6
Tablo 2.2. Skalerleştirme yöntemleri .....	9
Tablo 4.1. O-D çiftleri ve akış değerleri .....	21
Tablo 4.2. Akaryakıt istasyon sayısı verileri.....	22
Tablo 4.3. Akış değerlerinin hesaplanması .....	24
Tablo 4.4. Tüm potansiyel tesis konumları .....	25
Tablo 4.5. Tüm potansiyel tesis kombinasyonları .....	25
Tablo 4.6. İstasyon kurulum maliyetleri .....	26
Tablo 4.7. İstasyon yeri seçimi için optimum çözümler .....	28
Tablo 4.8. Açılan istasyonların konumları .....	32

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektrikli araçlar, çok amaçlı programlama, yer belirleme problemi

Bu çalışmada, elektrikli araçların şarj istasyon yerlerinin belirlenmesi problemi üzerinde durulmuştur. Belirlenecek istasyon yerinin temel amaç akış hacminin en çok ve aynı zamanda da şarj istasyon kurulum maliyetlerinin en az yapılabileceği çözümün en uygun çözümün elde edilmesidir.

Bu amaca uygun, akış yakıt-ikmal yer modeli seçilmiştir. Bu modelde araçların sürüş menzili dikkate alınarak, yakıt ikmalini de mümkün kılan akış hacminin en çok olması sağlanacaktır. Modelde birden çok amaç dikkate alınmıştır. Ele alınan amaç fonksiyonlarından birincisi trafik akışını en çok yapmayı hedeflerken ikincisi açılacak istasyon maliyetini en aza indirger. Nihayetinde geliştirilen model çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli formatındadır. Modelin çözümünde Lingo 19.0 yazılımı kullanılmıştır. Geliştirilen model Sakarya ili özelinde çözülerek muhtemel araç şarj istasyon yerleri belirlenmiştir.

# **DETERMINATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION LOCATIONS**

## **SUMMARY**

Keywords: Electric vehicles, multi-objective programming, location problem

In this study, the problem of determining the charging station locations of electric vehicles is emphasized. The primary purpose of the station location to be determined is to obtain the most suitable solution with the highest flow volume and, at the same time, the lowest charging station setup costs.

The flow refueling location model is chosen to suit this purpose. In this model, considering the driving range of the vehicles, it will be ensured that the flow volume, which also makes refueling possible, is the highest. Multiple objectives are considered in the model. While the first objective function is to maximize the traffic flow, the second minimizes the setup cost of the station to be opened. Pareto optimality is chosen to decide an optimal number of stations. Ultimately, the developed model is a multi-purpose mixed-integer linear programming model. Lingo 19.0 software is used to solve the model. The developed model is applied to Sakarya province, and possible vehicle charging station locations are determined.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Şehirlerdeki nüfus artışı ve bununla birlikte araç sayısındaki önemli artış, çok sayıda şehir içi ve şehirlerarası seyahati beraberinde getirmektedir. Bu artışın sonuçlarından biri de trafik sorunudur. Trafik, şehirlerde atmosferik kirliliğin ana sebeplerinden biridir. Araba sayısı arttıkça çevresel kirlilik ve bununla birlikte özellikle kalabalık şehirlerde gürültü kirliliği de artmaktadır. Fosil yakıt kullanımı bu sorunların ana kaynağıdır. Ulaşımında fosil yakıtın yaygın kullanıldığı şehirlerde, fosil yakıtların ürettiği zehirli gazlar artmaktadır. Artan zehirli gazların sebep olduğu çevresel kirlilik, çevre dostu elektrikli araç kullanımı ile yönetilebilir. Elektrikli araç kullanımı, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır ve bu nedenle daha fazla enerji bağımsızlığına katkıda bulunur.

Elektrikli araçlara olan talebin artmasıyla ihtiyaç duyulan şarj istasyonlarına da talebin artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle yeterli şarj istasyonu altyapısına sahip olmak, bu teknolojinin piyasada tutulmasını gerekli kılmıştır. Yeterli şarj altyapısı sağlanırsa elektrikli araç sahiplerinin kilometre aralığı konusundaki mevcut endişeleri azaltılarak sürücülerin bu teknolojiye adaptasyonu artabilir. Şarj istasyonlarına erişim kolaylaştığında, elektrikli araçların benimsenme oranları, petrol talebi ve günün belirli saatlerinde elektrik tüketimi etkilenecektir (Gavranovic vd., 2014).

Dünyada elektrikli araçların kullanımının giderek artması ve elektrikli araçların gelişmekte olan bir pazar olması nedeniyle şarj istasyon konumlarının planlanmasını optimize etmek için şarj altyapısı ihtiyaçları hakkında birçok araştırma yapılmaktadır. Şarj istasyon maliyetlerini düşürmek, şarj kapasitesini ve sistem verimliliklerini artırmak ve altyapıyı elektrikli araç kullanımını yaygınlaştıracak şekilde oluşturmak için özel planların hayata geçirilmesi hedeflenmektedir.

Elektrikli araçların kullanımının yaygınlaştırılması için ihtiyaç duyulan şarj istasyonları, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde bir sorun haline gelmektedir. Şarj istasyonlarını en az maliyetle en çok hizmeti sağlayacak şekilde konumlandırmak önem arz etmektedir. Bu çalışmada Sakarya ili için elektrikli araçların şarj istasyon yerlerinin belirlenmesi problemi çözülmüştür. Problemden istasyon kurulum maliyetleri en az, ilçeler arasındaki tüm yolların akışı ise en çok olacak şekilde akış yakıt ikmal yer modeline dayanan çok amaçlı karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında elektrikli araç şarj istasyonlarının belirlenmesiyle ilgili yapılan çalışmalar ve geliştirilen modelde çözüm yöntemi olarak kullanılan akış yakıt ikmal yer modeli ile skalerleştirme yaklaşımlarını içeren literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde yöntemlerin temelleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde problemin tanımı, verilerin elde edilmesi ve çözümü anlatılmıştır. Son bölümde ise sonuç ve çıkarımlar sunulmuştur.

## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Bu çalışmada, elektrikli araçların şarj istasyonlarının belirlenmesi için akış yakıt-ikmal yer modeli çok amaçlı matematiksel model olarak geliştirilerek şarj istasyonların kurulum yerlerinin belirlenmesi problemi üzerinde durulmuştur. Bundan dolayı, tez çalışmasında literatür kısmı elektrikli araçların şarj istasyon yerlerinin belirlenmesinde kullanılan matematiksel modeller ve akış yakıt-ikmal yer problemleri ile sınırlı tutulmuştur.

### **2.1. Elektrikli Araç Şarj İstasyon Yer Problemi**

Artan nüfus ile birlikte ulaşımda kullanılan petrol ve türevleri, kentsel hava kirliliğinin yanında küresel ısınmayla birlikte ciddi çevresel problemlere yol açmıştır. Bu durum alternatif yakıtlı araçlar arasında, özellikle elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşmasına bağlı olarak istasyon yerlerinin belirlenmesi konusu araştırma konuları içinde popülerlik kazanmıştır.

Frade ve diğerleri (2011) gece ve gündüz oluşan yakıt ikmal taleplerinin karşılanmasını en üst düzeye çıkarmak için şarj istasyonlarının konumlarını belirlemeye yönelik problemi karışık tamsayı doğrusal programlama modeli (KTDP) ile çözmüşlerdir. Geliştirdikleri modeli Portekiz'in Lizbon kenti verileri üzerinde uygulamışlardır. Jia ve diğerleri (2012), şarj talebi, kullanıcı davranış kalıpları, yol ağı yapısı, şarj istasyonu inşaat ve işletme maliyetleri, kullanıcıların şarj maliyetleri ve diğer faktörler dahil olmak üzere birçok faktörü dikkate alarak toplam yatırım maliyetini en aza indirmek için elektrikli araç şarj istasyonlarının sayısını, konumunu ve kapasitesini optimize edecek bir model geliştirmişler ve İsveç'in Stockholm şehrinde uygulamışlardır. Chen ve diğerleri (2013) park etme sürelerine, arazi kullanım özelliklerine ve yolculuk özelliklerine dayalı olarak elektrikli araçların şarj

edilme talebini en iyi şekilde karşılama ve elektrikli araç kullanıcılarının istasyona erişim mesafelerini en aza indirmek amacıyla şarj istasyon yerlerini KTDP ile belirlemişlerdir. Model Washington eyaletindeki Seattle şehrinde uygulanmıştır. Sadeghi-Barzani ve diğerleri (2014), hızlı şarj istasyonlarının en uygun yerleşimi ve boyutlandırılması için bir karışık tamsayılı doğrusal olmayan model önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın amacı, istasyon geliştirme ve elektrifikasyon maliyetlerinin yanı sıra elektrikli araçların şarj edilmesinden kaynaklanan elektrik şebekesi enerji kaybı maliyetleri de dahil olmak üzere toplam maliyeti en aza indirmektir. Modelin çözümünde genetik algoritma kullanılarak Tahran'da farklı istasyon geliştirme senaryolarında uygulanmıştır. You ve Hsieh (2014), elektrikli araçların menzili, şarj istasyonlarının yüksek altyapı maliyeti gibi sorunlarına işaret etmek için KTDP dayalı bir model önermişlerdir. Bu problemi çözmek için genetik algoritma ve hibrit sezgisel yaklaşım kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda ise, hibrit sezgisel yaklaşımın, diğer çözüm yöntemlerine kıyasla daha verimli olduğunu iddia etmişlerdir. Shahraki ve diğerleri (2015) elektrikli araç kullanımını en üst düzeye çıkarmak için toplam seyahat mesafelerini minimize etmeyi amaçlayan kamu ücretlendirme talebini dikkate alan bir optimizasyon modeli geliştirmiş ve Çin'in Pekin kentinde uygulamışlardır. Toplam şarj istasyon sayısının artmasıyla, optimum istasyonların konumlarının şehir merkezinden uzaklaştığı belirlenmiştir. Chen ve diğerleri (2015), şarj istasyonlarının konumu için yatırım ve ulaşım maliyetini ekonomi, kapasite, kapsama alanı ve uygunluk kısıtlamaları altında en aza indirmeye yönelik çok amaçlı KTDP modeli geliştirmişlerdir. Ardından optimizasyon problemini çözmek için genetik algoritma kullanmışlardır. Zhu ve diğerleri (2016), şarj istasyonlarının konumları ve istasyonda bulunması gereken şarj sayısını bulmak için minimizasyona dayalı genetik algoritma önermişlerdir. Çalışmada şarj istasyonu kuruluş maliyetlerinin yanı sıra sürücünün bulunduğu konumda şarj istasyonu olmaması halinde en yakın şarj istasyonuna ulaşım maliyeti de dikkate alınmıştır. Bouguerra ve Layeb (2019), Tunus şehrinin ele alarak, şarj istasyonlarının yerleşimi ve boyutlandırılması için 5 farklı tamsayılı doğrusal programlama modelleri önermişlerdir. Guo ve diğerleri (2020) elektrikli taksilere batarya sağlayan altyapıların yerini belirlemeye yönelik, şarj ve batarya değişim istasyonlarının konum optimizasyonlarından oluşan iki alt problemi çözmek için minimum maliyetli model ve bir çözüm algoritması önermişlerdir. Önerilen model

Çin'in Dalian şehrinde uygulanmıştır. Dinç ve diğerleri (2021), şarj istasyonu sayısını ve her bölgenin en az bir şarj istasyonuna olan mesafesini ve şarj istasyonları arasındaki mesafeyi en aza indirmek için şarj istasyon yerlerinin belirlenmesine yönelik çok amaçlı matematiksel model geliştirmişlerdir. Model Eskişehir ilinde uygulanarak ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile çözmüşlerdir.

## 2.2. Akış Yakıt İkmal Yer Modeli Yaklaşımları

Şarj istasyonlarının konumlandırılması için optimizasyon tabanlı yaklaşımlar, talebin geometrik temsiline bağlı olarak nokta ve akış tabanlı olarak iki gruba ayrılır (Kim ve Kuby, 2012). Nokta temelli yaklaşım noktalarla ifade edilen talebi karşılar. Nokta tabanlı yaklaşıma yönelik modellere P-medyan ve maksimum kapsama modelleri örnek olarak verilebilir.

Akış tabanlı yaklaşım trafik akışları tarafından ifade edilen talebi karşılar. Akış yakalama konum modeli (AYKM) ilk olarak 1990 yılında, trafik akışı taleplerini karşılamak için marketler ve reklam panoları gibi tesisleri yol boyunca yerleştirmeye çalışan M. John Hodgson tarafından önerildi (Hodgson,1990). AYKM, yolda bir yakıt ikmali tesisi olduğunda, tüm trafik akışının yakalanabileceğini ve hedefe başarılı bir şekilde varılabileceğini varsaymaktadır. Ancak bu varsayımda, araçların maksimum sürüş mesafesi göz ardı edilmiştir. Akış yakalama konum tahsis modeline dayanarak, Kuby ve Lim (2005) araçların en uzun seyahat mesafesini dikkate almış ve akış yakıt-ikmal yer modelini geliştirmişlerdir. Akış yakıt-ikmal yer modeli, yakıt ikmali yapılan toplam akış hacmini en üst düzeye çıkarmak için bir ağ üzerinde belirli sayıda yakıt ikmali istasyonunu en uygun şekilde konumlandırır (Kuby ve Lim, 2005).

Kuby ve diğerleri (2009) yakıt ikmali için akış hacimlerini ve yakıt ikmal istasyonları ile istasyon sayısı arasındaki en çok sürüş mesafesini en büyükleme için akış yakıt ikmali lokasyon modelini geliştirmişlerdir. Coğrafi bilgi sistemi (CBS) üzerinden veriler elde edilmiş ve geliştirdikleri modeli genetik algoritma ve açgözlü ikame algoritması ile çözmüşlerdir. Önerilen algoritma Florida'daki vaka çalışmasında test edilmiştir. Lim ve Kuby (2010), hidrojen, etanol, biyodizel, doğal gaz veya elektrik



gibi alternatif yakıtlı araçların istasyon yerlerini belirlemek için akış yakıt-ikmal yer modelini kullanmışlardır. Modelin çözümünde KTDP ek olarak ağgözlü toplama, ikameli ağgözlü toplama ve genetik algoritma olmak üzere üç sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Florida eyaletinde hidrojen yakıt ikmali istasyonlarını bulmak için geliştirdikleri algoritmaları uygulamışlardır. Bu algoritmaların karmaşık akış yakıt ikmal problemlerini çözmede etkili ve verimli olduğunu göstermişlerdir. Gavranovic ve diğerleri (2014) şirket yöneticilerinin tercih puanlarını en büyükmeyi amaçlayan kapasiteli p-medyan konum modelini kullanarak Türkiye'de elektrik şarj istasyonu ağı tasarlamıştır. Honma ve Kuby (2019), toplam seyahat süresini en aza indiren ve talepleri karşılayan iki farklı şarj istasyonu konum modellerini karşılaştırmışlardır. Bu amaçla, yol tabanlı akış yakıt-ikmali yer modelini ve düğüm tabanlı p-medyan modelini kullanmışlardır. Her iki modeli de Florida eyaletindeki hidrojen yakıt ikmal istasyonlarının bulunmasında da uygulamışlardır.

Yukarıda verilen literatür araştırmasının çözüm yöntemleri Tablo 2.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Çözüm yöntemleri

Yazar	Kesin Çözüm Yöntemleri				Sezgisel Çözüm Yöntemleri			
	Karışık Tamsayılı Programlama	Çok Amaçlı Model	Akış Yakıt İkmal Modeli	P-Medyan Problemi	Genetik Algoritma	Ağgözlü İkame Algoritma	İkameli Ağgözlü Toplam Algoritma	Ağgözlü Toplam Algoritma
Bouguerra vd. (2019)	✓							
Chen vd. (2015)	✓				✓			
Chen vd. (2013)	✓							
Dinç vd. (2021)	✓	✓						
Frade vd. (2011)	✓							
Gavranovic vd. (2014)				✓				
Guo vd. (2020)	✓							
Hodgson vd. (1990)			✓			✓		
Honma vd. (2019)	✓		✓	✓				
Jia vd. (2012)	✓							
Kim vd. (2012)	✓		✓					
Kuby vd. (2009)			✓			✓		

Tablo 2.1. (Devamı)

Kuby vd. (2005)	✓	✓			
Lim vd. (2010)	✓	✓	✓	✓	✓
Sadeghi-Barzani vd. (2014)	✓		✓		
Shahkari vd. (2015)	✓				
You vd. (2014)	✓		✓		
Zhu vd. (2016)	✓		✓		

### 2.3. Skalerleştirme Yaklaşımları

Literatürde çok amaçlı optimizasyon problemleri iki farklı şekilde çözülmektedir. Bunlardan ilki problemin çok amaçlı optimizasyon çözüm yöntemleri ile çözülmesi, diğeri ise çok amaçlı optimizasyon problemlerinin tek amaçlı olacak şekilde dönüşüm yapıldıktan sonra bu tür yöntemlerin uygulanmasıdır. Birden fazla amaç fonksiyonunun hepsini temsil edebilecek tek bir fonksiyona dönüştürülmesi işleme skalerleştirme denir. Literatürde kullanılan skalerleştirme yöntemlerine örnek olarak ağırlıklı toplam yöntemi,  $\varepsilon$  kısıt yöntemi, Benson yöntemi, konik skalerleştirme yöntemi, elastik kısıt yöntemi ve hedef programlama verilebilir.

Mavrotas, (2009) ele aldığı çok amaçlı matematiksel probleminde Pareto optimal çözümlerini elde etmek için  $\varepsilon$ -kısıt yöntemi kullanmıştır. Çalışmasında zayıf Pareto optimal çözümlerinin üretilmesini önleyen ve gereksiz yinelemelerden kaçınarak tüm süreci hızlandıran yeni bir versiyon olarak artırılmış  $\varepsilon$ -kısıt yöntemini (AUGMECON) önermiştir. Kasımbeyli (2013), çalışmasında doğrusal olmayan çok amaçlı optimizasyon problemlerinin skalarizasyonu için konik skalarizasyon yöntemini incelemiştir. Monoton artan alt lineer fonksiyonların özel bir sınıfını tanıtarak bu fonksiyonlar kullanılarak oluşturulan skaler optimizasyon probleminin, dışbükeylik ve sınırlılık koşulları olmaksızın çok amaçlı problemlerin tüm etkin ve uygun verimli çözümlerini tam olarak karakterize etmeyi sağladığını göstermiştir. Amin ve diğerleri (2013), kapalı döngü bir tedarik zinciri ağı için bir tesis yerleşim modeli önermişlerdir. Modeli birden fazla tesis, talep pazarı, toplama merkezi ve ürün için oluşturmuşlardır. Modelin amacı toplam maliyeti en az, geri dönüştürülebilir ürünleri kullanma parametrelerine göre de çevresel faydayı en çok yapmaktır. Çok amaçlı modelin çözümünü için ağırlıklı toplam ve  $\varepsilon$ - kısıt yöntemlerini kullanmışlardır.

Kasimbeyli ve diğlerleri (2015), çalışmalarında konik skalarizasyon yöntemini incelemiş, bu yöntemle elde edilen çözümlerin temel özelliklerini anlatmışlardır. Ayrıca konik skalarizasyon yöntemi ile Pascoletti-Serafini ve Benson skalarizasyon yöntemleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Pascoletti-Serafini ve Benson skalarizasyon yöntemleri ile elde edilen bazı çözümlerin konik skalarizasyon yöntemi ile de elde edilebileceğini göstermişlerdir. Deniz ve diğlerleri (2016), iki amaçlı küme kapsama problemi üzerinde ağırlıklı toplam yöntemini, epsilon kısıt yöntemini, hibrit yöntemini, elastik kısıt yöntemini, Benson yöntemini, Tchebycheff ve konik skalarizasyon yöntemini kullanmış ve karşılaştırmışlardır. İnceledikleri problemde amaçlardan birincisi açılacak yeni tesis sayısını en aza indirmek, diğeri ise birden çok kez kapsanan tesis sayısını en üst düzeye çıkarmaktır. Elde edilen sonuçlara göre, epsilon kısıtı, farklı pareto optimal çözümler üretmede en iyi yöntem olarak belirlenirken, konik skalarizasyon, diğ yöntemler arasında alternatif benzersiz çözümler üretmede en iyi yöntem olduğunu göstermişlerdir. Karasay (2016), çalışmasında İstanbul'un Şişli ilçesinde bir otopark tesisi için yer seçimi problemini incelemiştir. Otopark tesislerinin yer seçimi ve boyutlandırılması için karar vericiye destek olacak genetik algoritma tabanlı yeni bir model geliştirmiştir. Model oluştururken genetik algoritmalar, doğrusal programlama, ağırlıklı toplam yöntemi ve ceza fonksiyonlarını kullanmıştır. Sonrasında modeli bir vaka çalışması kapsamında gerçek verilerle test etmiştir.

Kasimbeyli ve diğlerleri (2017), çalışmalarında çok amaçlı optimizasyonda kullanılan Ağırlıklı toplam,  $\epsilon$ -kısıtlama, Benson yöntemi, ağırlıklı Chebyshev yöntemi, Pascoletti-Serafini ve konik skalarizasyon yöntemlerinin analizi, karakterizasyonları ve karşılaştırmasını yapmış, ek olarak da bu yöntemler ve aralarındaki ilişkiler için yeni özellikler sunmuştur. Çalışmasında konik skalerleştirme yönteminin ağırlıklandırılmış toplam yöntemi, Benson ve Pascoletti-Serafini skalarizasyon yöntemlerinin geliştirilmesi olduğunu göstermiştir. Akbari ve diğlerleri (2018), çalışmalarında çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözmek için Pascoletti-Serafini skalarizasyon tekniğini incelemişlerdir. Yöntemin zayıf yönlerini ele alarak önerilerde bulunmuşlardır. Önerilerine uygun olarak yenilenen Pascoletti-Serafini skalarizasyon yöntemini sayısal örneklerle desteklemişlerdir. Çalışkan (2019), çalışmasında yerleşim

problemlerinin özel bir çeşidi olan ortogonal yerleşim problemi incelemiştir. Bu problem için çok amaçlı bir model önermiştir. Çok amaçlı problemin amaç fonksiyon değerlerini skaler hale getirmek için ağırlıklı toplam ve konik skalerizasyon yöntemlerini kullanarak problemi genetik algoritma ile çözmüştür. Çiçek ve diğerleri (2020), çok amaçlı karma tamsayı programlama modeli olarak, belirli kısıtlamalar altında bir makine çizelgeleme problemini çözmüşlerdir. Problemden, hem maksimum tamamlanma süresinin hem de toplam gecikmenin en az olması hedeflemiştir. Oluşturdukları çok amaçlı modeli tek amaca indirgemek için, Ağırlıklı toplam yöntemini, Benson yöntemini ve Pascoletti-Serafini yöntemini kullanmışlardır. Benson yöntemi ile elde edilen değerlerin, kullandıkları diğer yöntemlere göre daha iyi olduğunu göstermişlerdir.

Yukarıda verilen literatür araştırmasının çözüm yöntemleri Tablo 2.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Skalerleştirme yöntemleri

Yazar	Skalerleştirme Yöntemleri							
	Ağırlıklı Toplam Yöntemi	$\epsilon$ -Kısıt Yöntemi	Konik Skalarizasyon Yöntemi	Pascoletti-Serafini Yöntemi	Benson Skalarizasyon Yöntemi	Elastik Kısıt Yöntemini	Hibrit Skalerleştirme Yöntemi	Chebyshev Yöntemi
Mavrotas (2009)		✓						
Kasimbeyli (2013)			✓					
Amin vd. (2013)	✓	✓						
Kasimbeyli vd. (2015)			✓	✓	✓			
Deniz vd. (2016)	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Karasy (2016)	✓							
Kasimbeyli vd. (2017)	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Akbari vd. (2018)				✓				
Çalışkan (2019)	✓		✓					
Çiçek vd. (2020)	✓			✓	✓			

## BÖLÜM 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

### 3.1. Yer Belirleme Problemleri

Yer belirleme problemleri, bir dizi taleplere hizmet eden bir veya daha fazla hizmet tesisi ile ilgilenen optimizasyon problemleridir. Problem genellikle düğümleri, hücreleri veya alanları içerir. Bir düğümü diğerine bağlayan düğümlere dayalı bir ağ modelleme çalışması vardır. Yer belirleme problemlerinde amaç, bağımlı bir hedefi optimize etmek için tesislerin yerini belirlemektir. Belirlenen alanda, mesafenin en aza indirilmesi, sınırsız talep kapasitesi, yer sayısının ve kombinasyonların en aza indirilmesi gibi birçok yer belirleme problemi kombinasyonu vardır.

Bu bölümde literatürde sıkça kullanılan çeşitli yer belirleme problem türleri incelenecektir.

#### 3.1.1. P-Medyan problemi

P-medyan problemi, her bir talep düğümü ile en yakın tesis arasındaki toplam ağırlıklı mesafenin en az maliyet ile belirlenmesi problemidir. Maliyet kriterleri mesafe, zaman, para birimi, yer sayısı vb. olarak tanımlanabilir. P-medyan tesis yeri probleminde p tane tesis, ağ içerisindeki belirli noktalara (düğümlere) yerleştirilir.

P-medyan probleminin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir (Revelle vd. 2008):

$$\text{Enküçük } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J w_j d_{ij} Y_{ij} \quad (3.1)$$

Buna göre;

$$\sum_{i=1}^I Y_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^I X_i = P \quad (3.3)$$

$$Y_{ij} - X_i \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (3.4)$$

$$Y_{ij} - X_i = \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (3.5)$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ talebi } i \text{ hizmet noktasına açılırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ düğümüne hizmet noktası açılırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.7)$$

$I$  = Aday tesis yerlerinin sayısı

$J$  = Mevcut pazarların sayısı

$P$  = Yerleştirilecek tesis sayısı

$w_{ij}$  =  $j$  düğümündeki talep

$d_{ij}$  =  $i$  düğümünden  $j$  düğümüne en kısa yol

Amaç fonksiyonu (3.1), taleplerin en yakın hizmet noktasına atanması ile oluşan ağırlıklandırılmış mesafeyi minimize eder. Kısıt (3.2)  $j$  talebini karşılar. Kısıt (3.3)  $p$  sayıda tesisin konumlandırılacağını göstermektedir. Kısıt (3.4) sadece açık olan tesise ilgili talep noktasının atanma kısıtını ifade etmektedir. Kısıt (3.5) ise karar değişkenlerinin 0 ve 1 değerlerini alacaklarını ifade eder.

### 3.1.2. Küme kapsama problemi

Küme Kapsama Problemi (KKP), tüm talep düğümlerini kapsamak için gerekli olan minimum sayıdaki tesisin bulunmasının amaçlandığı problem türüdür (Current vd., 2002).

Küme kapsama problemlerinin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir:

$$\text{Enküçük } Z = \sum_j F_j X_j \quad (3.8)$$

$$\sum_j A_{ij} \cdot X_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (3.9)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (3.10)$$

$i$  = Talep noktaları kümesi ( $i=1,2, \dots, I$ ),

$j$  = Aday tesis noktaları kümesi ( $j=1,2, \dots, J$ )

$F_j$  =  $j$  aday noktasında kurulacak tesislerin kurulum maliyeti

$$X_j = \begin{cases} 1, & j \text{ aday noktasında tesis açılırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.11)$$

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, & j \text{ aday noktası } i \text{ talep noktasını kapsarsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.12)$$

Denklem (3.8)'deki amaç fonksiyonu, tüm noktaları kapsayacak şekilde tesis açılma maliyetlerini en aza indirir. Kısıt (3.9) tüm talep noktalarının en az bir defa kapsanmasını sağlar. Kısıt (3.10) ise  $X_j$  değişkeninin 0 veya 1 değerlerini almasını sağlar.

### 3.1.3. Maksimum kapsama problemi

Maksimum Kapsama Probleminde (MKP) talep kapsamının en üst düzeye çıkarılması amaç fonksiyonu olarak ele alınır (Frade vd., 2011). Maksimum kapsama problemi, küme kapsama problemi ile aynı amaca sahip olmakla birlikte MKP'de kapsanan tesis sayısı en üst düzeye çıkarılır.

Church ve Reville (1974) aşağıdaki modeli önermişlerdir.

$$\text{Enbüyük } Z = \sum_{j=1}^J w_j Z_j \quad (3.13)$$

Buna göre;

$$Z_j - \sum_{i=1}^J X_i \leq 0 \quad (3.14)$$

$$\sum_{i=1}^J X_i = P \quad (3.15)$$

$$Z_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ talebi kapsandıysa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.16)$$

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer aday düğüm } i \text{ 'de tesis kurulacaksa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.17)$$

I: Aday tesis yerlerinin sayısı

J: Mevcut pazarların sayısı

P: Yerleştirilecek tesis sayısı

w<sub>j</sub>: Karşılana talep miktarı

Amaç fonksiyonu (3.13) karşılanan talepleri maksimum yapmayı sağlar. Kısıt (3.14) aday yerleşimlerde düğüme hizmet edecek tesis yoksa taleplerin karşılanmadığını ifade eder. Kısıt (3.15) P adet tesisin açılacağını belirtir.

### 3.1.4. Akış yakıt-ikmal yer modeli

Akış Yakıt-İkmal Yer Modeli, alternatif yakıtlı araçların sürüş menzili göz önüne alındığında yakıt ikmal yapılabilen başlangıç-hedef (O-D) çiftleri arasındaki trafik akışını en üst düzeye çıkarmak için bir ağ üzerindeki belirli sayıda yakıt ikmal istasyonu konumlandırılır (Kuby ve Lim, 2005).

$$\text{Enbüyük } Z = \sum_{q \in Q} f_q y_q \quad (3.18)$$

$$\sum_{h \in H} b_{qh} v_h \geq y_q \quad \forall q \in Q \quad (3.19)$$



$$a_{hk}x_k \geq v_h \quad \forall h \in H ; k | a_{hk} = 1 \quad (3.20)$$

$$\sum_{k \in K} x_k = p \quad (3.21)$$

$$x_k, v_h, y_q \in \{0,1\} \quad \forall k, q, h \quad (3.22)$$

$q$  = O – D çiftlerinin indeksi (ve dolaylı olarak, her çift için en kısa yollar)

$Q$  = Tüm O – D çiftlerinin kümesi

$f_q$  = O – D çifti ile  $q$  arasındaki en kısa yoldaki akış hacmi

$k$  = Potansiyel tesis yeri

$K$  = Tüm potansiyel tesis konumlarının kümesi

$p$  = Yerleştirilecek tesis sayısı

$h$  = Tesis kombinasyonlarının indeksi

$H$  = Tüm potansiyel tesis kombinasyonlarının kümesi

$$y_q = \begin{cases} 1, & \text{eğer } f_q \text{ kapsanırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.23)$$

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{eğer tesis } k \text{ konumunda bulunuyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.24)$$

$$a_{hk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ tesisi } h \text{ kombinasyonundaysa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.25)$$

$$b_{qh} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } h, \text{ O-D çifti } q' \text{ da yakıt ikmali yapıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.26)$$

$$v_h = \begin{cases} 1, & \text{h kombinasyonundaki tüm tesisler açıksa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.27)$$

Amaç fonksiyonu (3.18),  $p$  tesisleri ile yakıt ikmali yapılabilecek toplam akışı en üst düzeye çıkarır. Kısıt (3.19), uygun bir tesis kombinasyonu ( $h$ ) seçilmedikçe  $q$  yolunun kapsanmasını önler. Kısıt (3.20),  $h$  kombinasyonundaki tüm tesisler açık olmadığı sürece  $v_h$ 'yi sıfırda tutar. Kısıt (3.21), açılan istasyon sayısının  $p$ 'ye eşitler. Kısıt (3.22), ikili kısıtlamaları sağlar.

### 3.2. Çok Amaçlı Optimizasyon

Optimizasyonun amacı, problemde belirli kısıtları göz önünde bulundurarak bir veya birden fazla amacı olan problemi en küçükleyen veya en büyükleyen çözüm kümesini bulmaktır. Tek amaca sahip optimizasyon problemlerinin genellikle en iyi çözüm olarak adlandırılan tek bir çözümleri vardır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin ise birbirleriyle çelişen birden fazla amaçları olmaktadır (Deb ve Miettinen, 2008).

Çok amaçlı optimizasyon, istenen birden fazla hedefin optimal çözüm değerlerini bulmayı ifade eder. Çok amaçlı optimizasyonda birçok modelin seçim ve uygunluk fonksiyonlarında kullandığı pareto kavramı ilk defa 1906 yılında Vilfred Pareto tarafından tanıtılmıştır (Pareto, 1906). Çok amaçlı optimizasyonda amaç fonksiyonunun bir vektörü vardır. Amaç fonksiyonunun her vektörü, çözüm vektörünün bir fonksiyonudur. Çok amaçlı problemlerde tek bir optimum çözüm yerine genellikle birbirine üstünlük kuramayan “Pareto optimal” olarak adlandırılan bir çözüm kümesi vardır. Tüm optimum çözümler ve amaçlar birlikte değerlendirildiğinde, bu çözüm kümesindeki değerlerden daha iyi bir çözüm bulunmamaktadır.

Pareto kümesini oluşturmanın çeşitli avantajları vardır. Pareto optimal kümesi, genel bir bakış açısıyla optimum olan çözümleri içerdiğinden, karar vericinin geniş bir seçenek yelpazesini görerek bilinçli bir karar vermesini sağlar.

Denklem (3.28)'de çok amaçlı bir optimizasyon probleminin genel gösterimi verilmiştir.

$$\min[f_1(S), f_2(S), \dots, f_k(S)] \quad (3.28)$$

$$g_i(S) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.29)$$

$$h_i(S) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (3.30)$$

Denklem (3.29) m eşitsizlik, denklem (3.30) p eşitlik kısıtlarını göstermektedir.

$$\begin{cases} f_i(S) \leq f_i(S^*), \\ f_j(S) \leq f_j(S^*), \end{cases} \quad \begin{array}{l} \forall_i = 1, 2, \dots, k \\ \text{en az bir } j \text{ için} \end{array} \quad (3.31)$$

Karar değişkenleri  $S^*$  vektörü eğer denklem (3.31)'de belirtilen herhangi bir  $S$  mevcut değilse Pareto optimaldir. Başka bir deyişle, bu tanım, en az bir kriterde eşzamanlı bir artışa neden olmadan bazı kriterleri azaltacak uygun bir  $S$  karar değişkeni vektörü yoksa  $S^*$ 'nin Pareto optimal olduğunu ifade eder (Belgasmı vd., 2018).

Çok amaçlı problemleri çözmek için çeşitli yöntemler vardır. Klasik yöntemler olarak adlandırılan çözüm yöntemleri, amaç fonksiyonlarını bir araya getirerek veya bir amacı optimize ederek ve diğerini kısıtlamalar olarak ele alarak çok amaçlı optimizasyon problemini bir tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürmekten oluşur. Bu tür dönüşümlerin yapıldığı işleme skalerleştirme denir.

Evrimsel algoritmaların (EA) kullanıldığı ikinci sınıf teknikler ise tüm hedefleri ayrı ayrı optimize ederek Pareto sınırının doğrudan belirlenmesine yöneliktir. Evrimsel hesaplama, biyolojik evrim sürecini taklit eder. Bu yöntemler genetik algoritmaları (GA), evrimsel algoritmaları (EA) ve yalnızca uygunluk seçimi, mutasyon ve çaprazlama işlemlerinin gerçekleştirilme biçiminde farklılık gösteren evrimsel stratejileri (ES) içerir (Ngatchou vd., 2005). Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu, çok amaçlı genetik algoritma, mikro genetik algoritma literatürde evrimsel algoritma olarak kullanılan algoritmalara örnek verilebilir.

Çok amaçlı bir problemi çözmek için kullanılacak birçok skalerleştirme yöntemleri vardır. Bu bölümde literatürde sıkça kullanılan skalerleştirme yöntemleri açıklanacaktır.

### 3.2.1. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi

Ağırlıklı toplam yöntemi, çok amaçlı optimizasyon probleminin tek amaçlı bir matematiksel optimizasyon problemi olarak oluşturulmasına izin verir. Bu yöntemde karar vericiler, hedefleri kendi tercihlerine göre önceliklendirme özgürlüğüne sahiptir.

Çok amaçlı fonksiyonlar aşağıda gösterildiği gibi her amaç için belirlenen ağırlık katsayılarıyla tek amaçlı fonksiyona dönüştürülür (Denklem 3.32).

Denklem (3.32)'de  $f_i$  i. amaç fonksiyonunu,  $w_i$  i. amaç fonksiyonunun ağırlığını ifade etmektedir.

$$enb \sum_{i=1}^I w_i \cdot f_i \quad (3.32)$$

Her bir amaç fonksiyonu  $f_i$  önce ayrı ayrı kısıtlamalar altında çözülür ve pozitif ideal çözümler (en iyi çözüm) bulunur. Daha sonra her bir çözümün karar değişkenleri modele girdi olarak eklenir ve model kalan amaç fonksiyonları dikkate alınarak çözülür. Prosedür, model tüm amaç fonksiyonları çözülene kadar tekrarlanır. Tüm çözümler arasında, her amaç fonksiyonu için negatif ideal çözüm (en kötü çözüm) bulunur. Amaç fonksiyonları farklı ölçeklerde değişiklik gösterdiğinden, her bir amaç fonksiyonunu aynı ölçekte sunmak için normalleştirme süreci uygulanır. Denklem (3.33), hem en küçük hem de en büyük amaç fonksiyonları için normalleştirmeyi göstermektedir.

$$f'_i = \begin{cases} \frac{WS_{f_i} - f_i}{WS_{f_i} - BS_{f_i}}, & \text{en küçük amaç fonksiyonu için} \\ \frac{f_i - WS_{f_i}}{BS_{f_i} - WS_{f_i}}, & \text{en büyük amaç fonksiyonu için} \end{cases} \quad (3.33)$$

Denklem (3.33)'de  $f'_i$ , i. amaç fonksiyonunun normalleştirilmiş değerini,  $WS_{f_i}$   $f_i$  amaç fonksiyonunun en kötü çözümünü,  $BS_{f_i}$   $f_i$  amaç fonksiyonunun en iyi çözümünü ifade etmektedir.

### 3.2.2. Epsilon kısıt skalerleştirme yöntemi

Epsilon kısıt skalerleştirme yöntemi Haimes ve arkadaşları tarafından 1971 yılında literatüre tanıtılmıştır ve literatürde çok kullanılan yöntemlerden biridir. Epsilon kısıt

skalerleştirme yöntemi, özellikle mühendislik tasarımında çok kriterli problemleri çözmek için en bilinen yöntemdir ve yalnızca bir orijinal amacı en aza indirmek ve diğer amaç fonksiyonlarının modele kısıt olarak eklenmesine izin vermekten oluşur (Carosi,2014).

Epsilon kısıt skalerleştirme yöntemi için matematiksel model aşağıda gösterilmiştir.

$x$ : karar değişkeni vektörü,

$X$ : uygun çözüm kümesi,

$f_k(x)$ :  $k$ . amaç fonksiyonu olmak üzere ( $k=1, 2, \dots, p$ ),  $p \geq 2$ ,

$\varepsilon_k$  : amaç fonksiyonu  $k$ 'nın kısıtlara konması sonucu oluşturulan yeni kısıt olmak üzere,

$$\min_{x \in X} f_j(x) \quad (3.34)$$

$$f_k(x) \leq \varepsilon_k, \quad k = 1, \dots, p \text{ ve } k \neq j \quad (3.35)$$

Bu formülasyonda, bir vektör  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p)$ , her bir hedef için elde edilebilecek maksimum değeri temsil eder.  $X$  uygun bölgedir. Çok amaçlı bir problemde Pareto optimal kümesinin alt kümesini elde etmek için bir vektördeki  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m)$  maksimum ulaşılabilir değerler değiştirilerek güncellenen her vektör için aşamalı bir optimizasyon süreci elde edebilir.

### 3.2.3. Konik skalerleştirme yöntemi

Çok amaçlı problemlerin çözümünde kullanılmak üzere bu yöntem ilk olarak Gasimov (2001) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde öncelikle amaç fonksiyonlarının ağırlıkları ve bu amaçlar için bir referans noktası içeren öncelik parametreleri belirlenir, sonrasında skaler optimizasyon problemi çözülür.

Yöntemin öncelik parametreleri şu şekilde açıklanır:

1. Ağırlık vektörü: Karar verici tarafından belirlenmektedir ve  $i$ . amaç fonksiyonunun öncelik derecesini belirtmektedir.  $W = (W_1, W_2, \dots, W_k)$  ve  $W_i \geq 0, \forall i$  olarak ifade edilir.
2. Referans noktası: Karar vericinin bir noktaya daha yakın en küçük unsurları hesaplamak istediği durumlarda bu tip bir nokta karar verici tarafından belirlenebilir.  $B = (B_1, B_2, \dots, B_k)$  olarak ifade edilmektedir. Konik skalerleştirme yöntemi, referans noktalarının belirlenmesinde herhangi bir kısıtlama getirmez.
3. Artırma parametresi: Destek konisinin tepe açısını değiştirmek için kullanılan bir parametredir. Diğer bir ifade ile konikliği belirleyen bir parametredir ve  $0 \leq \alpha \leq \text{enk}(W_1, W_2, \dots, W_k)$  olarak ifade edilmektedir.

$(W, \alpha)$  ve  $B$  parametreleri ile konik skalerleştirmenin genel formülasyonu aşağıdaki gibidir (Kasimbeyli, 2010, 2013).

$$\text{enk}_{x \in S} \sum_{i=1}^k W_i (F_i(x) - B_i) + \alpha \sum_{i=1}^k |F_i(x) - B_i| \quad (3.36)$$

Eşitlik (3.36)'da görüldüğü üzere  $\alpha = 0$  olursa skalerleştirme optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu ağırlıklı toplam yöntemi olarak bilinen bir amaç fonksiyonuna dönüşmektedir.

### 3.2.4. Benson skalerleştirme yöntemi

Benson skalerleştirme yöntemi 1978 yılında Benson tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin ana fikri şöyledir: Uygun çözüm alanında  $x^0 \in X$  başlangıç noktası seçilir. Seçilen noktanın Pareto sınırına uzaklığını ölçen  $l_k = f_k(x^0) - f_k(x)$  değeri hesaplanarak elde edilen sonucun negatif olmasını engelleyici kısıt modele eklenir. Sapma değişkeninin toplamını en küçükleme modelin amaç fonksiyonunu oluşturur.

Benson'un önerdiği skalerleştirme yönteminin matematiksel modeli aşağıda sunulmuştur:

$x$ : karar değişkeni vektörü,

$X$ : uygun çözümler kümesi,

$x^0 \in X$

$l_k = f_k(x^0) - f_k(x)$  :  $x^0$  noktasının Pareto sınırına uzaklığı olmak üzere:

$$\min_{x \in X} \sum_{k=1}^p l_k \quad (3.37)$$

$$f_k(x^0) - l_k - f_k(x) = 0, \quad k = 1, \dots, p \quad (3.38)$$

$$l_k \geq 0, \quad k = 1, \dots, p \quad (3.39)$$

Benson skalerleştirme yöntemi başlangıçta seçilen  $x^0 \in X$  uygun çözümüne baskın çözümler içinden amaç fonksiyonu ile Pareto en iyi çözümü bulur. Amaç fonksiyonunun sıfır değerini alması, seçilen noktanın Pareto en iyi çözüm olduğunu gösterir (Üstün, 2007).

## BÖLÜM 4. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYON YERLERİNİN ÇOK AMAÇLI MATEMATİKSEL MODEL İLE ÇÖZÜLMESİ

### 4.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada Sakarya ili için elektrikli araçların şarj istasyon yerlerinin belirlenmesi problemi çözülmüştür. Ele alınan problemde yakıt ikmali yapabilecek akış hacminin en çok, şarj istasyon kurulum maliyetlerinin en az olması amaçlanmıştır.

Problemde Sakarya ilinin tüm ilçelerine ulaşımı sağlayan belediye ve özel halk otobüs güzergahları, başlangıç-hedef (O-D) çifti olarak kullanılmıştır. Tablo 4.1. O-D çiftlerinin yollarını ve yolların akış değerlerini göstermektedir. Akış değerlerinin, yollar üzerindeki akaryakıt istasyon sayıları ile orantılı olduğu varsayılmaktadır.

Tablo 4.1. O-D çiftleri ve akış değerleri

q	Yollar	Akış değerleri (fq)
1	Kaynarca - Karasu - Kocaali	0,13107
2	Akyazı - Hendek	0,17961
3	Adapazarı - Söğütlü	0,19903
4	Adapazarı - Kaynarca	0,19417
5	Adapazarı - Serdivan	0,21359
6	Adapazarı - Söğütlü - Ferizli	0,2233
7	Adapazarı - Arifiye	0,23301
8	Adapazarı - Erenler	0,24757
9	Adapazarı - Arifiye - Sapanca	0,25243
10	Adapazarı - Arifiye - Serdivan	0,28641
11	Adapazarı - Erenler - Karapürçek	0,26699
12	Adapazarı - Söğütlü - Ferizli - Karasu - Kocaali	0,32039
13	Serdivan - Adapazarı - Erenler	0,30097
14	Adapazarı - Akyazı - Hendek	0,33981
15	Adapazarı - Arifiye - Geyve	0,33495
16	Adapazarı - Erenler - Arifiye	0,32039
17	Adapazarı - Erenler - Akyazı	0,35922



Tablo 4.1. (Devamı)

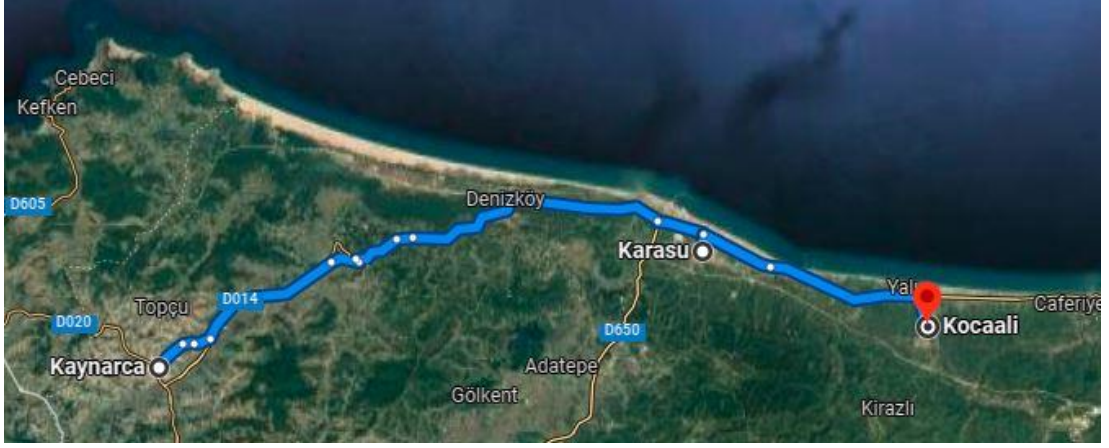
18	Adapazarı - Söğütlü - Ferizli - Karasu	0,29612
19	Adapazarı - Arifiye - Geyve - Taraklı	0,35922
20	Adapazarı - Erenler - Karapürçek - Akyazı	0,37864
21	Arifiye - Adapazarı - Söğütlü - Ferizli - Karasu - Kocaali	0,3932
22	Adapazarı - Arifiye - Geyve - Pamukova	0,42233
23	Adapazarı - Arifiye - Erenler - Akyazı - Hendek	0,5

Yollar üzerindeki akaryakıt istasyon sayıları ile orantılı olduğu varsayımına dayanan akış değerleri ( $f_q$ ), Tablo 4.2.'deki verilerden faydalanarak elde edilmiştir ([www.benzinlitre.com](http://www.benzinlitre.com)).

Tablo 4.2. Akaryakıt istasyon sayısı verileri

İlçeler	Akaryakıt İstasyon Sayıları	Normalize edilmiş değerler
Adapazarı	33	0,160194
Serdivan	11	0,053398
Akyazı	23	0,11165
Erenler	18	0,087379
Hendek	14	0,067961
Karasu	15	0,072816
Geyve	21	0,101942
Arifiye	15	0,072816
Sapanca	4	0,019417
Pamukova	18	0,087379
Ferizli	5	0,024272
Kaynarca	7	0,033981
Kocaali	5	0,024272
Söğütlü	8	0,038835
Karapürçek	4	0,019417
Taraklı	5	0,024272
Toplam	206	1

Sakarya ilinin 16 ilçesindeki akaryakıt istasyon sayıları normalleştirilerek her bir ilçeye karşılık gelen yaklaşık değerleri hesaplanmıştır. Oluşturulan O-D çiftlerinin akış değerleri ( $f_q$ ), q yollarının güzergahında bulunan ilçelere karşılık gelen yaklaşık değerlerin toplamıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.1. q1 yolunun güzergahı

Şekil 4.1. Kaynarca – Karasu – Kocaali güzergahını harita üzerinde göstermektedir. Yolun akış değeri ( $f_q$ ), Tablo 4.2.’deki Kaynarca, Karasu ve Kocaali ilçelerine karşılık gelen akaryakıt istasyon sayılarının normleştirilmesiyle elde edilen değerlerin toplamına eşittir.

$$\text{Kaynarca – Karasu – Kocaali} = 0,033981 + 0,072816 + 0,024272 = 0,13107$$

Tüm güzergahların akış değerlerinin hesaplanması için aynı işlem adımları tekrar edilmiştir. Güzergahların akış değerlerinin hesaplanması Tablo 4.3.’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Akış değerlerinin hesaplanması

q	Kapsanan Yollar	Yolların Akış Hacimleri	Toplam Akış Değeri
1	Kaynarca - Karasu - Kocaali	0,033981+0,072816+0,024272	0,13107
2	Akyazı - Hendek	0,11165+0,067961	0,17961
3	Adapazarı - Söğütlü	0,160194+0,038835	0,19903
4	Adapazarı - Kaynarca	0,160194+0,033981	0,19417
5	Adapazarı-Serdivan	0,160194+0,053398	0,21359
6	Adapazarı-Söğütlü-Ferizli	0,160194+0,038835+0,024272	0,2233
7	Adapazarı-Arifiye	0,160194+0,072816	0,23301
8	Adapazarı - Erenler	0,160194+0,087379	0,24757
9	Adapazarı - Arifiye - Sapanca	0,160194+0,072816+0,019417	0,25243
10	Adapazarı - Arifiye - Serdivan	0,160194+0,072816+0,053398	0,28641
11	Adapazarı - Erenler - Karapürçek	0,160194+0,087379+0,019417	0,26699
12	Adapazarı - Söğütlü - Ferizli - Karasu - Kocaali	0,160194+0,038835+0,024272+0,072816+0,024272	0,32039
13	Serdivan-Adapazarı-Erenler	0,053398+0,160194+0,087379	0,30097
14	Adapazarı - Akyazı - Hendek	0,160194+0,11165+0,067961	0,33981
15	Adapazarı - Arifiye - Geyve	0,160194+0,072816+0,101942	0,33495
16	Adapazarı-Erenler-Arifiye	0,160194+0,087379+0,072816	0,32039
17	Adapazarı - Erenler - Akyazı	0,160194+0,087379+0,11165	0,35922
18	Adapazarı - Söğütlü - Ferizli - Karasu	0,160194+0,038835+0,024272+0,072816	0,29612
19	Adapazarı - Arifiye - Geyve - Taraklı	0,160194+0,072816+0,101942+0,024272	0,35922
20	Adapazarı - Erenler - Karapürçek - Akyazı	0,160194+0,087379+0,019417+0,11165	0,37864
21	Arifiye - Adapazarı - Söğütlü - Ferizli - Karasu - Kocaali	0,072816+0,160194+0,038835+0,024272+0,072816+0,024272	0,3932
22	Adapazarı - Arifiye - Geyve - Pamukova	0,160194+0,072816+0,101942+0,087379	0,42233
23	Adapazarı - Arifiye - Erenler - Akyazı - Hendek	0,160194+0,072816+0,087379+0,11165+0,067961	0,5

Yakıt ikmali yapabilecek akış hacminin maksimum olmasını amaçlayan fonksiyonda kullanılmak üzere oluşturulan diğer veriler aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Tablo 4.4. tüm potansiyel istasyon konumlarını (*K*), Tablo 4.5. tüm potansiyel tesis kombinasyonlarını (*H*) göstermektedir. Potansiyel tesis konumları Sakarya ilinin tüm ilçeleri olabileceği varsayımına göre belirlenmiştir. Potansiyel tesis kombinasyonları ise ilçeler arası ulaşımda kullanılabilen fiziki yollardan oluşmaktadır.

Tablo 4.4. Tüm potansiyel tesis konumları

Numara	K: Tüm potansiyel istasyon konumları
1	Adapazarı
2	Serdivan
3	Akyazı
4	Erenler
5	Hendek
6	Karasu
7	Geyve
8	Arifiye
9	Sapanca
10	Pamukova
11	Ferizli
12	Kaynarca
13	Kocaali
14	Söğütü
15	Karapürçek
16	Taraklı

Tablo 4.5. Tüm potansiyel tesis kombinasyonları

Numara	H: Tüm potansiyel istasyon kombinasyonları
1	Adapazarı - Erenler - Arifiye - Sapanca
2	Serdivan - Sapanca
3	Adapazarı - Akyazı
4	Kaynarca - Karasu - Kocaali
5	Adapazarı - Hendek
6	Serdivan - Erenler
7	Akyazı - Hendek
8	Adapazarı - Erenler - Karapürçek
9	Akyazı - Erenler
10	Adapazarı - Söğütü
11	Erenler - Arifiye
12	Adapazarı - Serdivan
13	Erenler - Arifiye - Sapanca
14	Erenler - Hendek
15	Adapazarı - Kaynarca
16	Karasu - Kocaali
17	Geyve - Pamukova

Tablo 4.5. (Devamı)

18	Adapazarı - Arifiye - Geyve - Taraklı
19	Adapazarı - Arifiye
20	Adapazarı - Erenler
21	Adapazarı - Arifiye - Serdivan
22	Adapazarı - Arifiye - Sapanca
23	Adapazarı - Arifiye - Geyve
24	Adapazarı - Erenler - Arifiye
25	Arifiye - Sapanca
26	Serdivan - Erenler - Arifiye
27	Adapazarı - Ferizli - Söğütlü
28	Adapazarı - Serdivan - Erenler - Arifiye
29	Adapazarı - Serdivan - Arifiye - Sapanca
30	Serdivan - Arifiye
31	Adapazarı - Arifiye - Geyve - Pamukova
32	Sapanca - Arifiye - Erenler - Karapürçek
33	Kocaali - Karasu - Ferizli - Söğütlü - Adapazarı - Akyazı - Hendek
34	Karasu - Ferizli - Söğütlü - Adapazarı - Erenler - Arifiye - Geyve - Taraklı
35	Erenler - Adapazarı - Söğütlü - Ferizli - Karasu

Problemde minimum olması hedeflenen elektrikli araçların şarj istasyon kurulum maliyetleri, arsaların ilçelere göre metrekare birim fiyat üzerinden normalleştirme yapılarak hesaplanmıştır. İlçe bazında hesaplanan şarj istasyon kurulum maliyetleri Tablo 4.6.'da gösterilmiştir ([www.endeksa.com.tr](http://www.endeksa.com.tr)).

Tablo 4.6. İstasyon kurulum maliyetleri

İlçeler	Kurulum (TL/m <sup>2</sup> )	maliyetleri Normalizasyon
Adapazarı	672	0,092651
Serdivan	1024	0,141183
Akyazı	382	0,052668
Erenler	485	0,066869
Hendek	337	0,046464
Karasu	393	0,054184
Geyve	178	0,024542
Arifiye	655	0,090307
Sapanca	769	0,106025
Pamukova	243	0,033503
Ferizli	300	0,041362
Kaynarca	210	0,028954
Kocaali	768	0,105887
Söğütlü	344	0,047429
Karapürçek	379	0,052254
Taraklı	114	0,015718
Toplam	7253	1

## 4.2. Problemin Çözümü

Problemde kullanılacak veriler Bölüm 4.1.'deki gibi elde edildikten sonra, maksimum akış hacmini amaçlayan 1. amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\text{Ençok } f_1 = \sum_{q=1}^{23} f_q y_q \quad (4.1)$$

$$\sum_{h=1}^{35} b_{qh} v_h \geq y_q \quad \forall q \in Q \quad (4.2)$$

$$a_{hk} x_k \geq v_h \quad \forall h \in H ; k | a_{hk} = 1 \quad (4.3)$$

$$\sum_{k=1}^{16} x_k = p \quad (4.4)$$

$$x_k, v_h, y_q \in \{0,1\} \quad \forall k, q, h \quad (4.5)$$

Denklem (4.1)'de 23 O-D çiftinin akış hacmini gösteren Tablo 4.1.'deki  $f_q$  değerleri, Denklem (4.2)'de ilçeler arası ulaşımda kullanılabilen fiziki yollardan oluşan H değerleri, Denklem (4.4)'de Sakarya ilinin tüm ilçeleri olabileceği varsayımına göre belirlenen K değerleri ifade edilmiştir.

Elektrikli araçların şarj istasyon kurulum maliyetlerinin minimum olmasını amaçlayan 2. Amaç fonksiyonu Denklem (4.6)'de gösterilmiştir.

$$\text{Enaz } f_2 = \sum_{k=1}^{16} c_k x_k \quad (4.6)$$

Denklem (4.6)'da  $c_k$ , Tablo 4.5.'deki arsaların ilçelere göre metrekare birim fiyat üzerinden normalleştirilen değerlerini ifade etmektedir.

Çok amaçlı matematiksel modelin çözümünde, 3. Bölümde tartışılan ağırlıklı toplam metodu kullanılmıştır. Yakıt ikmali yapabilecek akış hacmini maksimum yapmayı amaçlayan  $f_1$  ile şarj istasyon kurulum maliyetinin minimum olmasını amaçlayan  $f_2$  amaç fonksiyonlarının, çok amaçlı matematiksel model çözümünde eşit derecede öneme sahip olduğu varsayılmıştır. Oluşturulan amaç fonksiyonların 16 ilçe için tek ve çok amaçlı optimum çözümleri Tablo 4.7.'de sunulmuştur.

Tablo 4.7. İstasyon yeri seçimi için optimum çözümler

P (Yerleştirilecek tesis sayısı)	1. Amaç fonksiyonu	2. Amaç fonksiyonu	Çok amaçlı fonksiyon
	En büyük $f_1$ (akış hacmi)	En küçük $f_2$ (kurulum maliyeti)	En küçük $= f_1' + f_2'$ (ağırlıklı toplam)
1	$f_1 = 0,35922$ (en iyi) $f_2 = 0,09265$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,01572$ (en iyi)	$f_1 = 0,35922$ $f_2 = 0,01572$ $f_1' = 1$ $f_2' = 1$ $f_{enk} = 1$
2	$f_1 = 0,60679$ (en iyi) $f_2 = 0,15952$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,04026$ (en iyi)	$f_1 = 0,35922$ $f_2 = 0,0426$ $f_1' = 0,592$ $f_2' = 1$ $f_{enk} = 0,796$
3	$f_1 = 0,92718$ (en iyi) $f_2 = 0,24983$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,06921$ (en iyi)	$f_1 = 0,35922$ $f_2 = 0,06921$ $f_1' = 0,387$ $f_2' = 1$ $f_{enk} = 0,694$
4	$f_1 = 1,42718$ (en iyi) $f_2 = 0,39101$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,10272$ (en iyi)	$f_1 = 0,97573$ $f_2 = 0,2104$ $f_1' = 0,684$ $f_2' = 0,626$ $f_{enk} = 0,655$
5	$f_1 = 1,76213$ (en iyi) $f_2 = 0,41555$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,14408$ (en iyi)	$f_1 = 1,684$ $f_2 = 0,308$ $f_1' = 0,956$ $f_2' = 0,397$ $f_{enk} = 0,676$
6	$f_1 = 2,18446$ (en iyi) $f_2 = 0,44906$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,19054$ (en iyi)	$f_1 = 1,917$ $f_2 = 0,32359$ $f_1' = 0,878$ $f_2' = 0,485$ $f_{enk} = 0,682$
7	$f_1 = 2,45145$ (en iyi) $f_2 = 0,50131$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,23797$ (en iyi)	$f_1 = 2,112$ $f_2 = 0,353$ $f_1' = 0,861$ $f_2' = 0,565$ $f_{enk} = 0,713$

Tablo 4.7. (Devamı)

8	$f_1 = 2,70388$ (en iyi) $f_2 = 0,60733$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,29023$ (en iyi)	$f_1 = 2,379$ $f_2 = 0,405$	$f_1' = 0,88$ $f_2' = 0,639$ $f_{enk} = 0,759$
9	$f_1 = 2,93689$ (en iyi) $f_2 = 0,62305$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,34289$ (en iyi)	$f_1 = 2,534$ $f_2 = 0,441$	$f_1' = 0,863$ $f_2' = 0,649$ $f_{enk} = 0,756$
10	$f_1 = 3,13592$ (en iyi) $f_2 = 0,67048$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,39708$ (en iyi)	$f_1 = 2,8$ $f_2 = 0,494$	$f_1' = 0,893$ $f_2' = 0,647$ $f_{enk} = 0,77$
11	$f_1 = 3,35922$ (en iyi) $f_2 = 0,71184$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,46395$ (en iyi)	$f_1 = 2,8$ $f_2 = 0,54$	$f_1' = 0,834$ $f_2' = 0,693$ $f_{enk} = 0,763$
12	$f_1 = 3,55339$ (en iyi) $f_2 = 0,7408$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,55425$ (en iyi)	$f_1 = 2,98$ $f_2 = 0,593$	$f_1' = 0,839$ $f_2' = 0,794$ $f_{enk} = 0,816$
13	$f_1 = 3,55339$ (en iyi) $f_2 = 0,79346$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,64691$ (en iyi)	$f_1 = 2,98$ $f_2 = 0,647$	$f_1' = 0,839$ $f_2' = 1$ $f_{enk} = 0,919$
14	$f_1 = 3,733$ (en iyi) $f_2 = 0,83993$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,75279$ (en iyi)	$f_1 = 2,98$ $f_2 = 0,753$	$f_1' = 0,798$ $f_2' = 0,998$ $f_{enk} = 0,898$
15	$f_1 = 3,733$ (en iyi) $f_2 = 0,94582$ (en kötü)	$f_1 = 0$ (en kötü) $f_2 = 0,85882$ (en iyi)	$f_1 = 3,364$ $f_2 = 0,859$	$f_1' = 0,901$ $f_2' = 1$ $f_{enk} = 0,951$

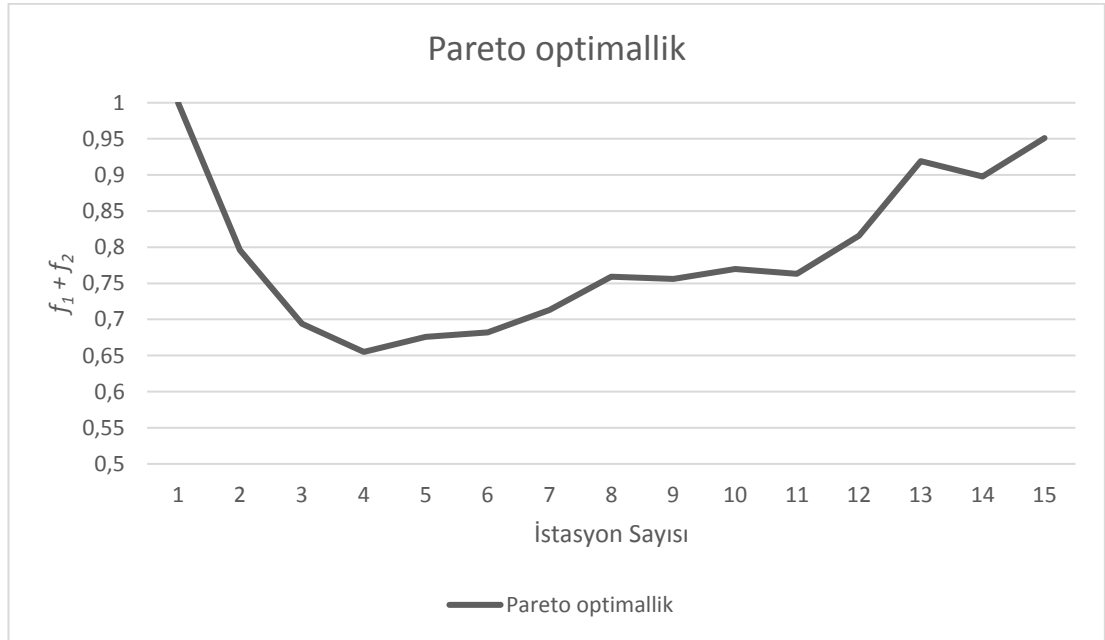
Tablo 4.7.'de optimum çözüm kümesini bulmak için öncelikle birinci amaç fonksiyonu en iyilenecek model çözülmüştür. Birinci modelin çözümüne gidilirken ikinci amaç fonksiyonun aldığı değerler hesaplanmıştır. Sonrasında ikinci amaç fonksiyonu en iyilenecek çözüm sağlandığında birinci amaç fonksiyonunun aldığı değerler bulunmuştur. Bu şekilde her bir amaç fonksiyonunun almış olduğu en iyi ve



en kötü değerler hesaplanmıştır. Ağırlıklı toplam yöntemine göre normalleştirme prosedürü uygulanarak istasyon sayısına göre değişen optimum çözümler elde edilmiştir.

Tablo 4.7.'ye göre toplam amaç fonksiyon değerinin açılacak istasyon sayısında en aza gidildiğinde istasyon kurulum maliyetinde en iyi değeri aldığı ancak toplam akış olarak en kötü değeri aldığı görülmüştür. İstasyon sayısının en çok olduğu durumda ise akış değerleri en iyilenmiş ancak istasyon kurulum maliyeti istasyon sayısının artmasıyla en kötü değeri almıştır.

Çok amaç içeren problemlerin çoğu, sık karşılaşılan ve birbirleriyle kıyaslanamaz amaçların aynı anda en iyilenmesini içermektedir. Genellikle bu tür problemlerde tek bir çözümden ziyade alternatif çözümler kümesi vardır. Bu alternatif çözümler kümesinin elemanları için bütün amaçlar düşünüldüğünde hiçbirinin diğerine göre daha iyi çözüm olduğu söylenemez. Bu tür çözümlere Pareto-optimal çözümler denir. Şekil 4.2.'de belirlenen amaçların en iyilendiği pareto optimallik, istasyon sayısının ortalama değerler aldığı aralıkta gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Pareto optimal grafiği

Şekil 4.2.'ye göre dört istasyondan daha az şarj istasyonu açılması durumunda model, maliyeti en aza indirgeyen amaç fonksiyonuna göre uygun çözümler bulmaktadır. Dört adet istasyon açılması durumunda, en düşük toplam istasyon maliyeti ile trafik akışını en çok yapacak şekilde en uygun çözüm elde edilmektedir. Dört istasyondan daha fazla açılması durumunda ise, istasyon sayısına bağlı olarak toplam maliyet artarak optimum çözümler bulunmuştur. Tablo 4.8.'de açılacak istasyon sayısına göre belirlenen şarj istasyon konumları sunulmuştur.

Tablo 4.8. Açılan istasyonların konumları

p	Açılacak İstasyon Konumları
1	Taraklı
2	Taraklı - Geyve
3	Taraklı - Geyve - Kaynarca
4	Adapazarı - Ferizli - Kaynarca - Söğütlü
5	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova
6	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı
7	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca
8	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca - Karapürçek
9	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca - Ferizli - Söğütlü
10	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca - Ferizli - Söğütlü - Karapürçek
11	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca - Ferizli - Söğütlü - Karapürçek - Hendek
12	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca - Ferizli - Söğütlü - Karapürçek - Hendek - Akyazı
13	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca - Ferizli - Söğütlü - Karapürçek - Hendek - Akyazı - Karasu
14	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca - Ferizli - Söğütlü - Karapürçek - Hendek - Akyazı - Karasu - Sapanca
15	Adapazarı - Erenler - Geyve - Arifiye - Pamukova - Taraklı - Kaynarca - Ferizli - Söğütlü - Karapürçek - Hendek - Akyazı - Karasu - Sapanca - Kocaali

## **BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ**

Son yıllarda nüfusla birlikte araç sayısındaki önemli artış, çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Araçlarda kullanılan fosil yakıtların sınırlı kaynak olması ve dünyada küresel ısınma, iklim değişikliği gibi ciddi çevre sorunlara neden olması, sürdürülebilir ulaşım için elektrikli araçlara olan ilgiyi artırmıştır. Bu durum devlet ve özel sektörü elektrikli araçlar ile ilgili yeni yatırımlara yönelmesini sağlamıştır.

Gelişmekte olan ülkeler arasında Türkiye’de, çevre dostu elektrikli araçlara yapılan yatırımlar ile elektrikli araç kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Elektrikli araç teknolojisine uyum sağlamak ve elektrikli araç kullanımını artırmak için erişilebilir ve yeterli sayıda şarj istasyonlarının konumlandırılması gerekmektedir. Yeterli şarj altyapısı sağlandığı takdirde elektrikli araç sahiplerinin kilometre aralığı konusundaki mevcut endişeleri azaltılarak sürücülerin bu teknolojiye adaptasyonu artabilir.

Bu çalışmada Sakarya ili için elektrikli araçların şarj istasyon yerlerinin belirlenmesi problemi çözülmüştür. Problemden istasyon kurulum maliyetleri en az, ilçeler arasındaki tüm yolların akışı ise en çok olacak şekilde akış yakıt ikmal yer modeline dayanan çok amaçlı karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Modelde kullanılan O-D verileri, belediye ve özel halk otobüslerinin kullandığı güzergahlardan elde edilmiştir. İstasyon maliyetleri ise arsaların ilçelere göre değişen metrekare birim fiyatları üzerinden hesaplama yapılarak elde edilmiştir. Çok amaçlı modelin çözümünde literatürde sıkça kullanılan ağırlıklı toplam metodu kullanılmıştır. Elde edilen optimum çözümlere göre, modelde belirlenen amaçların en iyilendiği pareto optimallik dört adet şarj istasyonu açılması durumunda sağlanmıştır. En uygun çözümün sağlandığı şarj istasyonlarının konumları Adapazarı, Ferizli, Kaynarca ve Söğütü olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada çok amaçlı matematiksel model trafik akışı en çok, şarj istasyon kurulum maliyeti en az olacak şekilde iki amaç fonksiyonu ile çözülmüştür. Daha sonra yapılacak çalışmalar için amaç fonksiyonlarının kapsamı genişletilerek, şarj esnasında harcanan süre, şarj kapasitesi vb. durumlar göz önünde bulundurularak daha geniş kapsamlı modeller elde edilebilir. Ayrıca çalışma Türkiye veya diğer ülkeler için genişletilerek sezgisel çözümler geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Akbari, F., Ghaznavi, M., & Khorram, E. 2018. A revised pascoletti–serafini scalarization method for multiobjective optimization problems. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 178(2), 560-590.
- Amin, S. H., & Zhang, G. 2013. A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4165-4176.
- Bouguerra S., Layeb S.B. 2019. Determining optimal deployment of electric vehicles charging stations: Case of Tunis city, Tunisia. *Case Studies on Transport Policy* 7(3):628-642
- Çalışkan, E. 2019. Savunma yarıçaplı iki boyutlu ortogonal yerleşim problemleri için çok amaçlı genetik algoritma önerisi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Carosi, L. 2014. Multicriteria optimization: Scalarization techniques. Master's Thesis, University of Pisa, Pisa, Italy
- Chen S., Shi Y., Chen X., Qi F. 2015. Optimal location of electric vehicle charging stations using genetic algorithm. 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), IEEE, 372-375
- Chen T.D., Kockelman K.M., Khan M 2013. Locating electric vehicle charging stations: Parking-based assignment method for Seattle, Washington. *Transportation Research Record* 2385(1):28-36
- Çiçek, Z. İ. E., Öztürk, Z. K. 2020. A comparative study of scalarization techniques on the multi-objective single machine-scheduling problem under sequence-dependent setup time. Release Date and Due Date Constraints. *Gazi University Journal of Science*, 33(2), 429-444.
- Deniz, N., & Sarac, T. 2016. A comparative study of scalarization techniques on the bi-objective set covering problem. In LM-SCM 2016 XIV. International Logistics And Supply Chain Congress, 90.
- Dinç Yalçın, G., Özsoy, C. Y., & Taşkın, Y. 2021. A multi-objective mathematical model for the electric vehicle charging station placement problem in urban areas. *International Journal of Sustainable Energy*, 1-17.

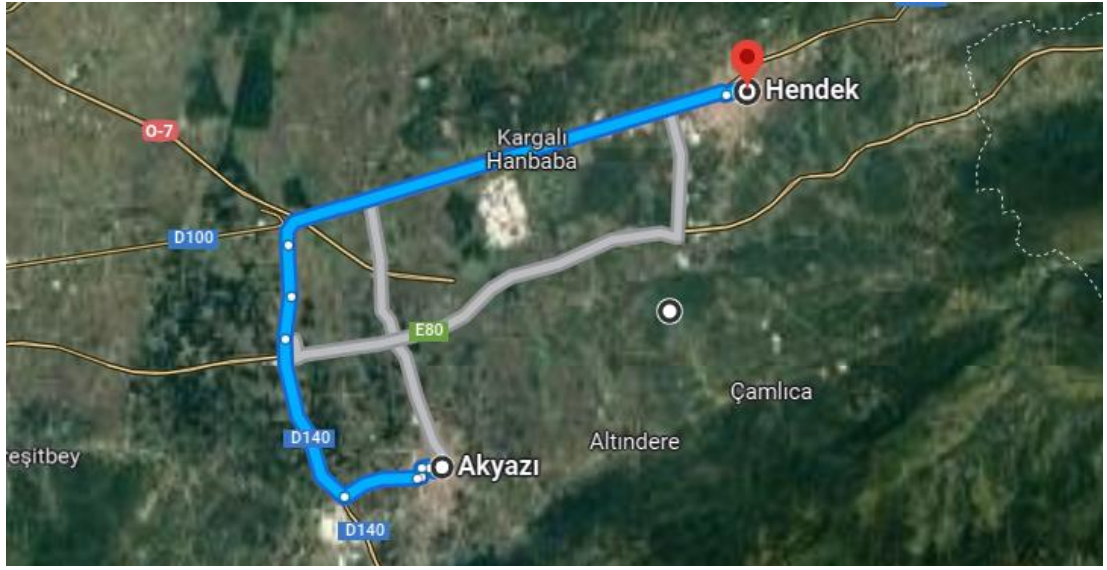
- Frade I., Ribeiro A., Gonçalves G., Antunes A.P. 2011. Optimal location of charging stations for electric vehicles in a neighborhood in Lisbon, Portugal. *Transportation Research Record*, 2252(1), 91-98.
- Gavranovic, H., Barut A., Ertek G., Yüzbaşıoğlu, O. B., Pekpostalcı O. & Tombuş Ö. 2014. Optimizing the electric charge station network of EŞARJ. *Procedia Computer Science* 31, 15-21.
- Guo Z., Yu B., Li K., Yang Y., Yao B., Lin Q. 2020. Locating battery supplying infrastructures for electric taxis. *Transportation Letters* 12(2), 77-86
- Hodgson M. J. 1990. A flow capturing location-allocation model. *Geographical Analysis*, 22, 270-9.
- Honma Y., Kuby M. 2019. Node-based vs. Path-based location models for urban hydrogen refueling stations: comparing convenience and coverage abilities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 15246-15261.
- Jia, L., Hu, Z., Song, Y., & Luo, Z. 2012. Optimal siting and sizing of electric vehicle charging stations. *IEEE International Electric Vehicle Conference*, 1-6.
- Karasay, T. 2016. Mekanik otopark tesislerinin yer seçimi ve boyutlandırılması için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Kasimbeyli, R. 2013. A conic scalarization method in multi-objective optimization. *Journal of Global Optimization*, 56(2), 279-297.
- Kasimbeyli, R., Kamışlı, Z., Kasimbeyli, N., Dinç, G. & İçmen, B. 2017. Comparison of some scalarization methods in multiobjective optimization, *Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society*, 1-31.
- Kasimbeyli, R., Ozturk, Z. K., Kasimbeyli, N., Yalcin, G. D., & Icmen, B. 2015. Conic scalarization method in multiobjective optimization and relations with other scalarization methods. *Modelling, computation and optimization in information systems and management sciences*, Springer, Cham, 319-329.
- Kim, J. G., Kuby, M. 2012. The deviation-flow refueling location model for optimizing a network of refueling stations. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 37(6), 5406-5420.
- Kuby M., Lines L., Schultz R., Xie Z., Kim J.G., Lim S. 2009. Optimization of hydrogen stations in Florida using the flow-refueling location model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 6045-6064.
- Kuby, M., and Lim, S. 2005. The flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles. *Socio-Economic Planning Sciences*, 39, 125–145.

- Lim, S., Kuby, M. 2010. Heuristic algorithms for siting alternative-fuel stations using the flow-refueling location model. *European Journal of Operational Research*, 204(1), 51-61.
- Mavrotas, G. 2009. Effective implementation of the e-constraint method in multiObjective mathematical programming problems, *Applied Mathematics and Computation*, 213(2), 455-465.
- Ngatchou, P., Zarei, A., & El-Sharkawi, A. 2005. Pareto multi objective optimization. *IEEE Proceedings of the 13th International Conference on, Intelligent Systems Application to Power Systems* 84-91.
- Pareto, V., 1906, *Manuale di Economica Politica*, Societa Editrice Libraria. Milan; translated into English by A.S. Schwier as *Manual of Political Economy*, edited by A.S. Schwier and A.N.
- Revelle, C. S., Eiselt, H. A., & Daskin, M. S. 2008. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research*, 184, 817-848.
- Sadeghi-Barzani P., Rajabi-Ghahnavieh A., Kazemi-Karegar H. 2014. Optimal fast charging station placing and sizing. *Applied Energy*, 125:289-299.
- Shahkari, N., Cai, H., Turkay, M., & Xu, M. 2015. Optimal locations of electric public charging stations using real world vehicle travel patterns. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 165-176.
- Üstün, Ö., 2007. Çok amaçlı portföy optimizasyon problemi ve çözüm yaklaşımları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doktor Tezi.
- You, P.S., Hsieh, Y.C. 2014. A hybrid heuristic approach to the problem of the location of vehicle charging stations. *Computers & Industrial Engineering*, 195- 204.
- Zhu, Z. H., Gao, Z. Y., Zheng, J. F., & Du, H. M. 2016. Charging station location problem of plug-in electric vehicles. *Journal of Transport Geography*, 52, 11-22.
- Zitzler E., Thiele L. 1998. Multiobjective optimization using evolutionary algorithms- a comparative case study. *Parallel Problem Solving From Nature-PPSN V*, Amsterdam, The Netherlands, Springer-Verlag, 292-301.
- [www.benzinlitre.com](http://www.benzinlitre.com) , Erişim Tarihi: 25.11.2021
- [www.endeksa.com/tr](http://www.endeksa.com/tr) , Erişim Tarihi: 06.11.2021

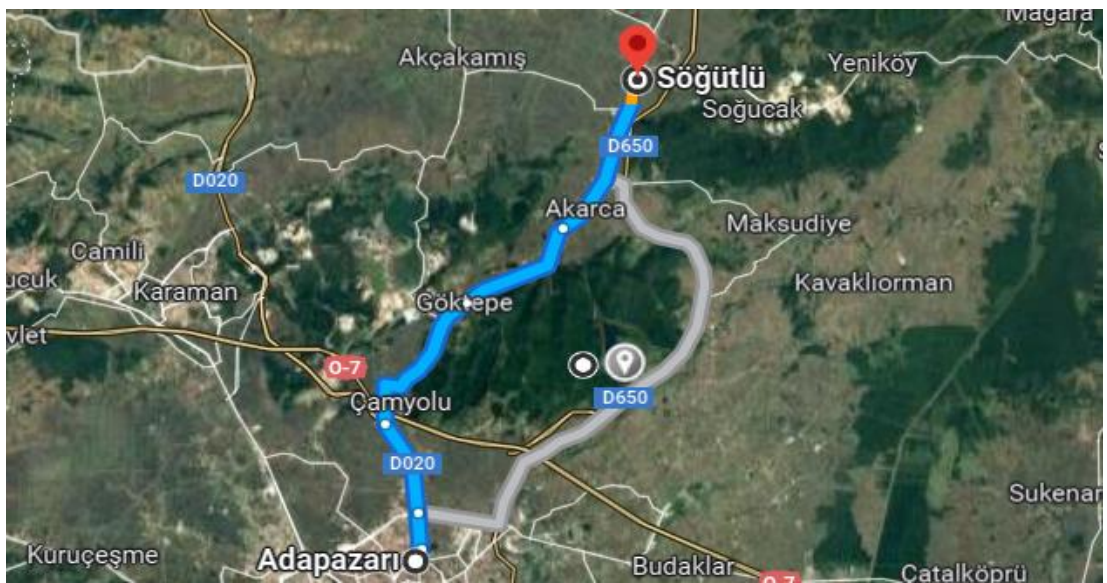


## EKLER

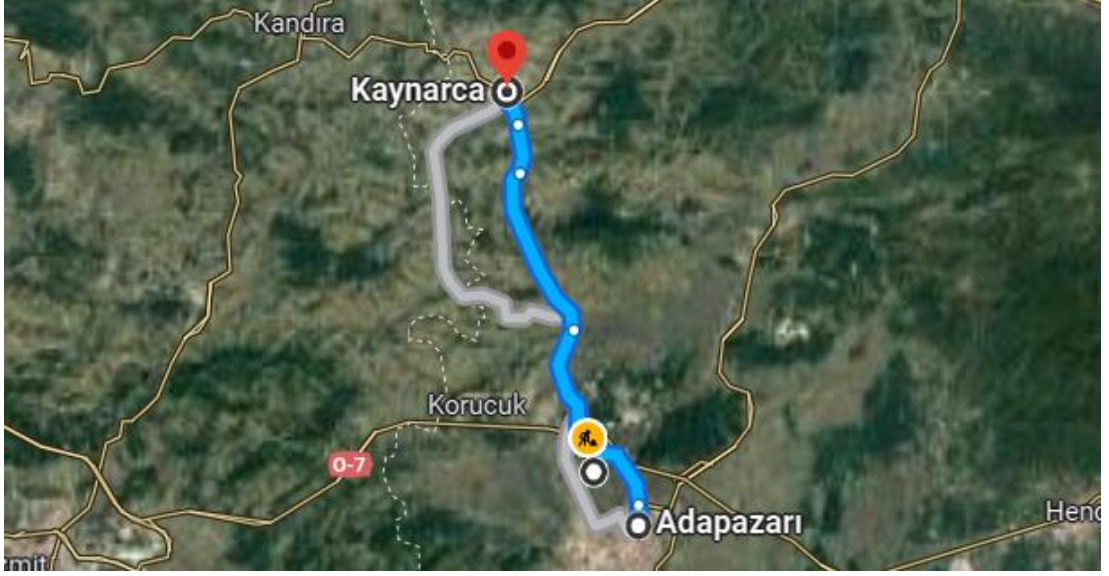
### EK 1: O-D Çifti Yol Güzergahları



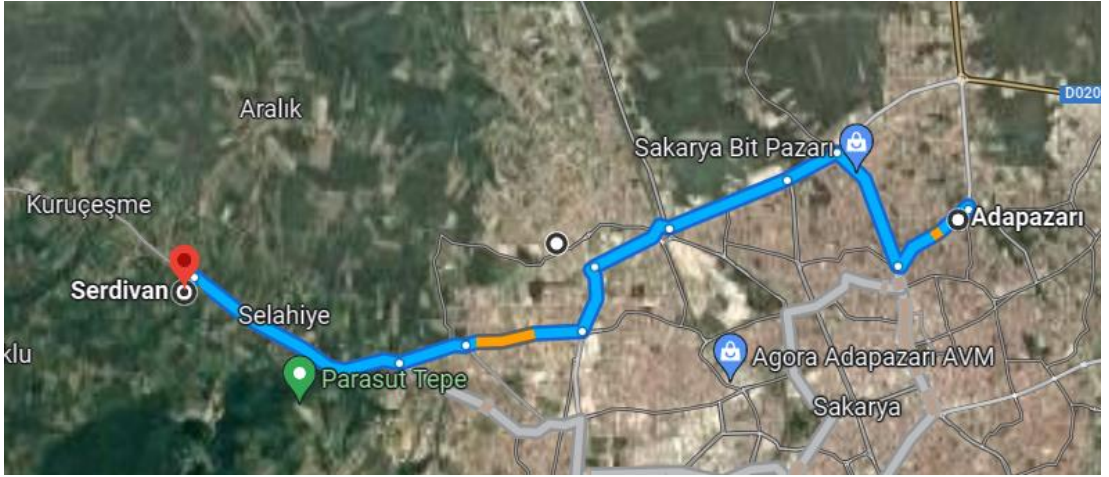
Şekil 1. q2 yolunun güzergahı



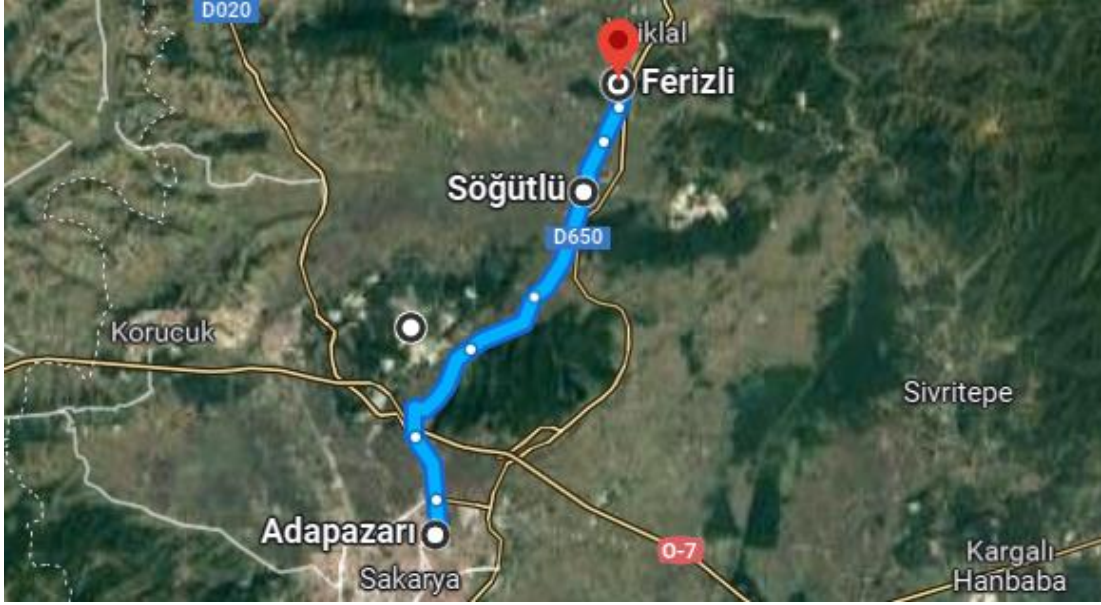
Şekil 2. q3 yolunun güzergahı



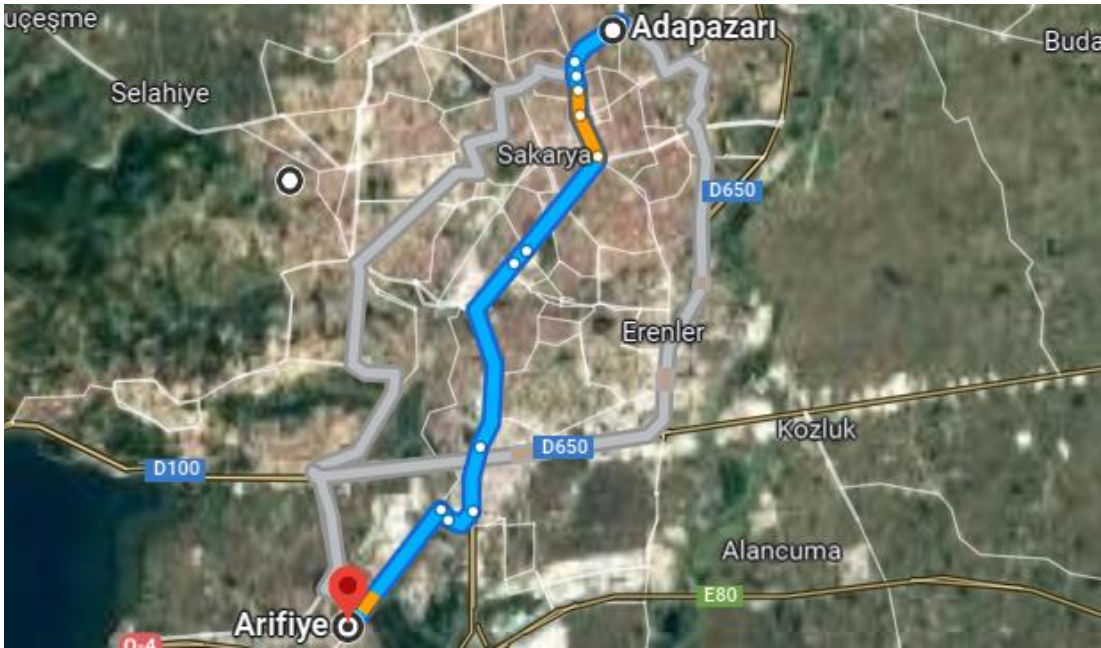
Şekil 3. q4 yolunun güzergahı



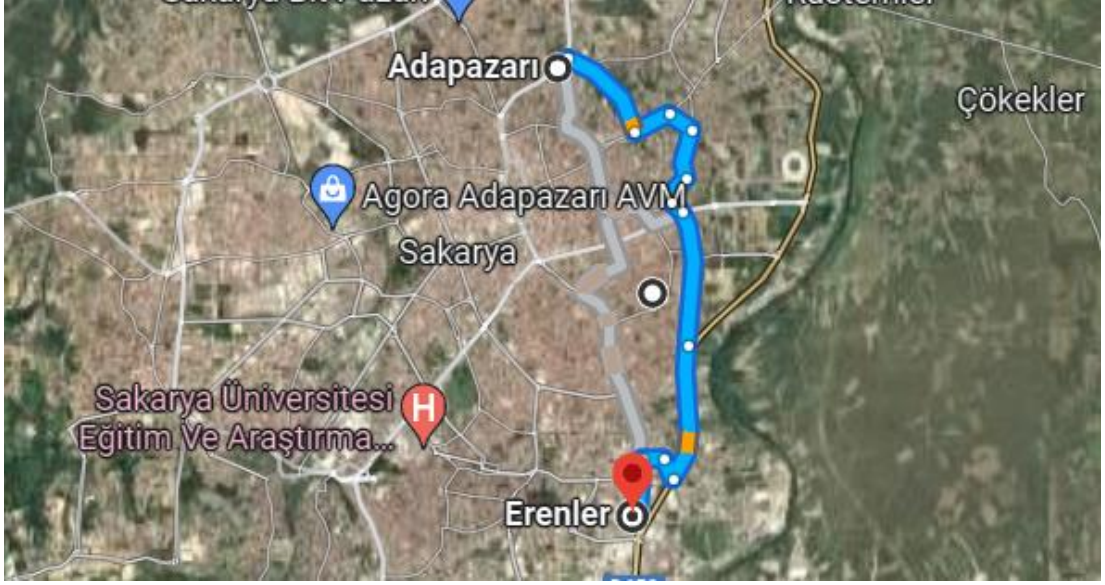
Şekil 4. q5 yolunun güzergahı



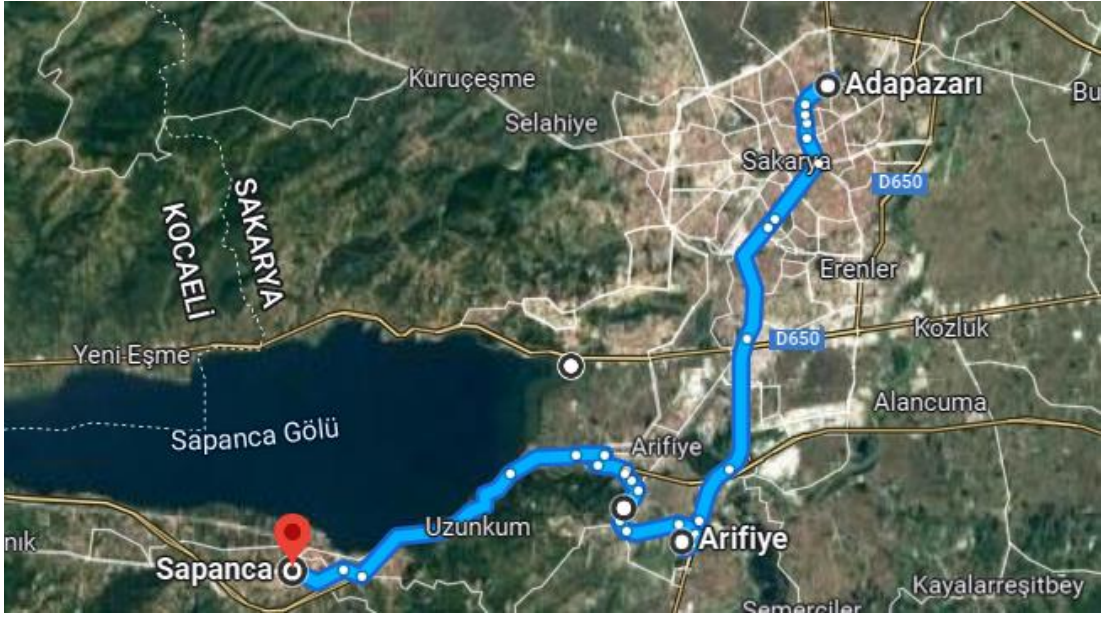
Şekil 5. q6 yolunun güzergahı



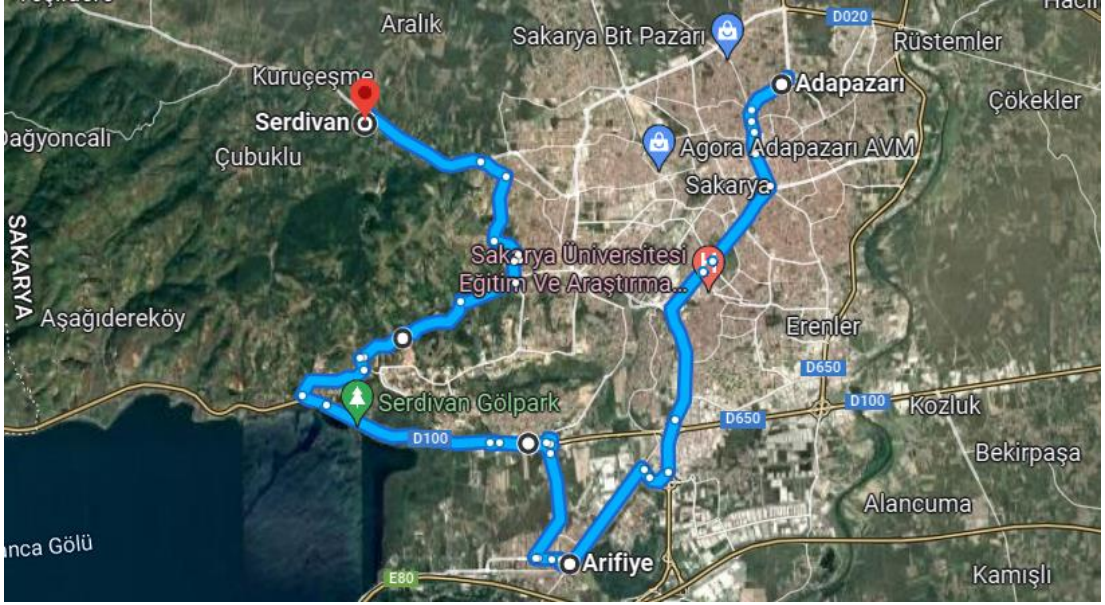
Şekil 6. q7 yolunun güzergahı



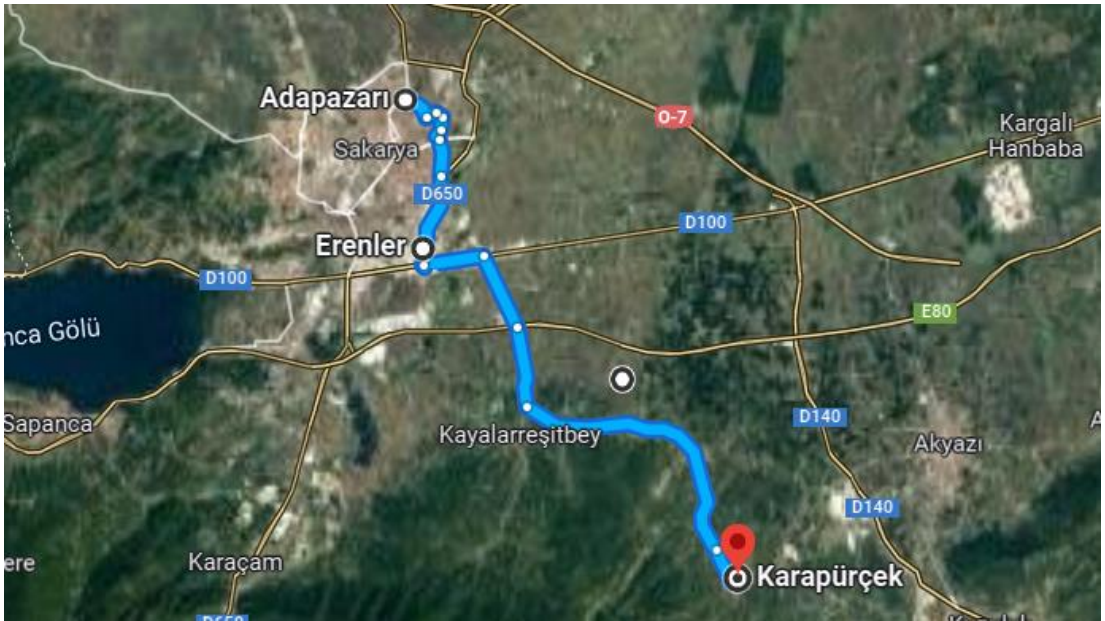
Şekil 7. q8 yolunun güzergahı



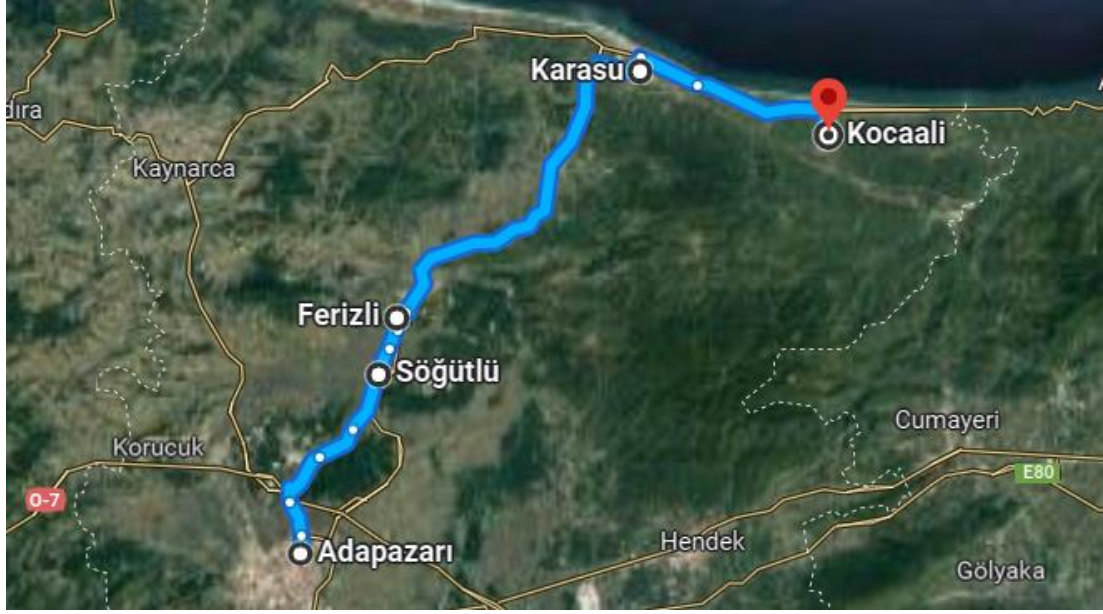
Şekil 8. q9 yolunun güzergahı



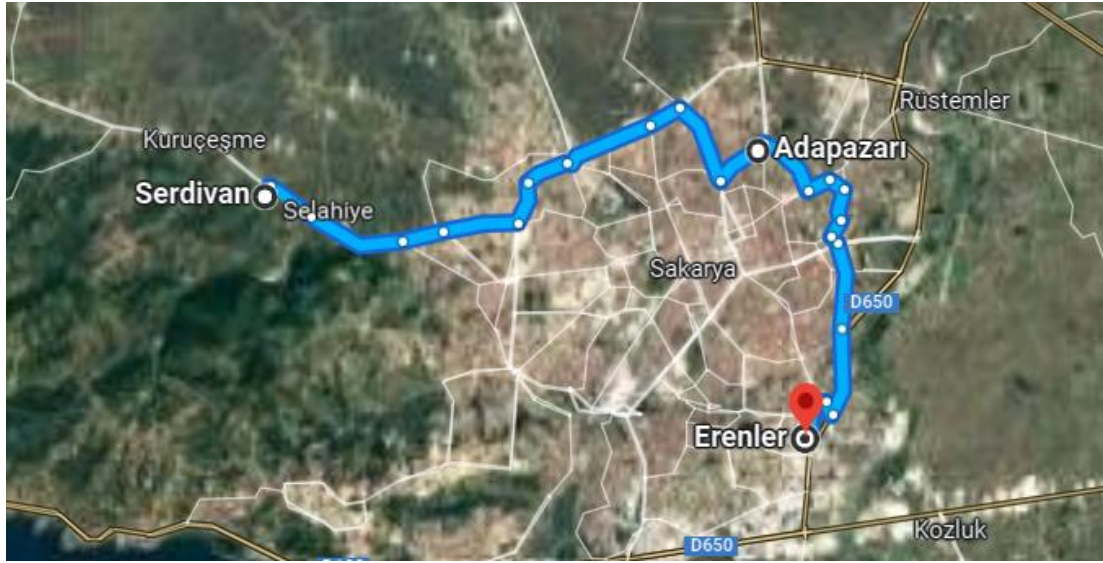
Şekil 9. q10 yolunun güzergahı



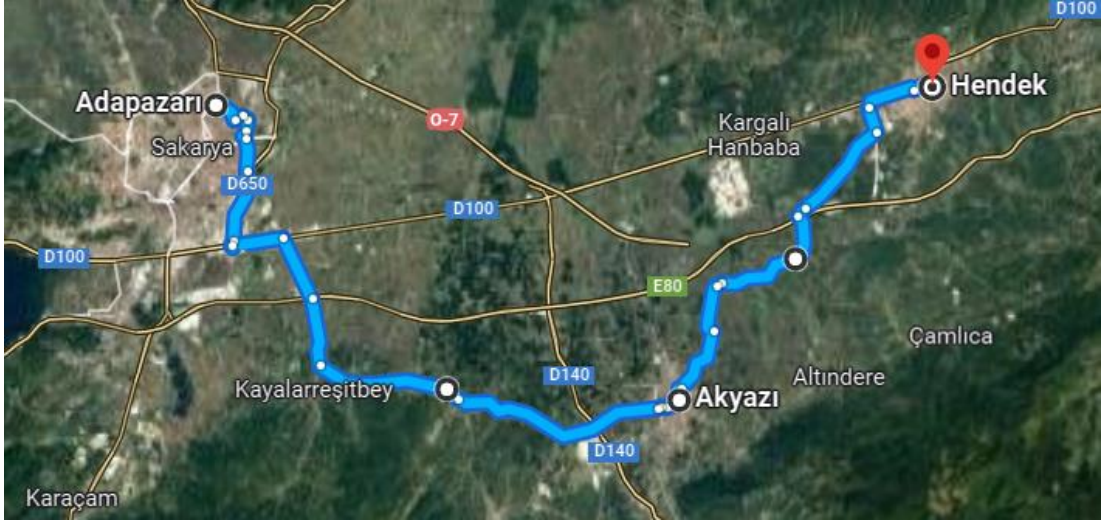
Şekil 10. q11 yolunun güzergahı



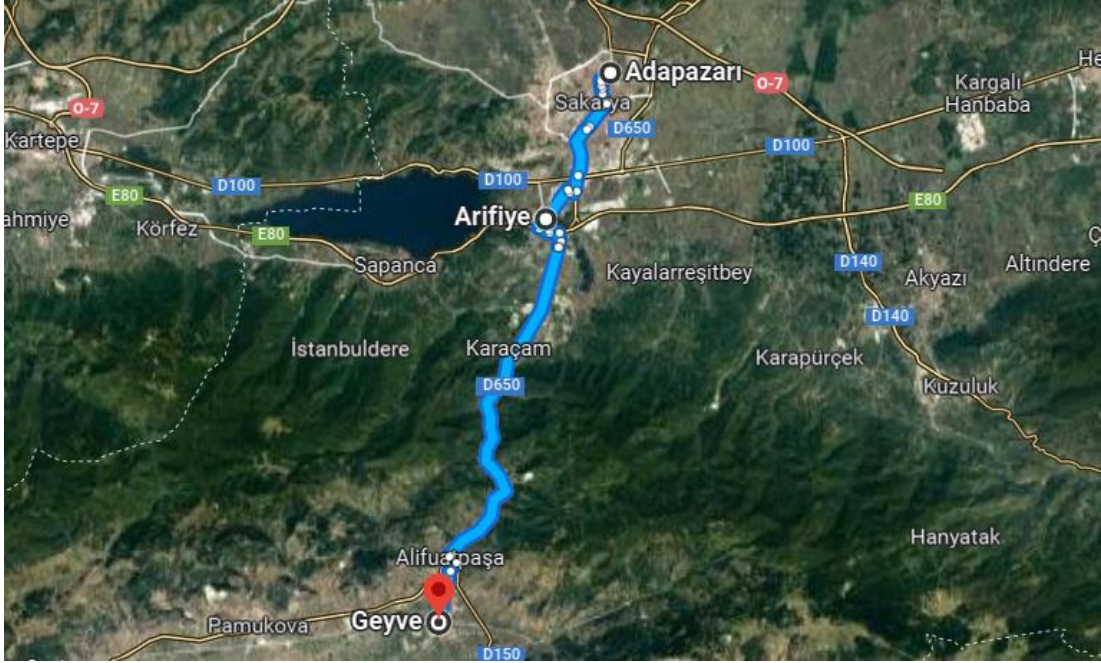
Şekil 11. q12 yolunun güzergahı



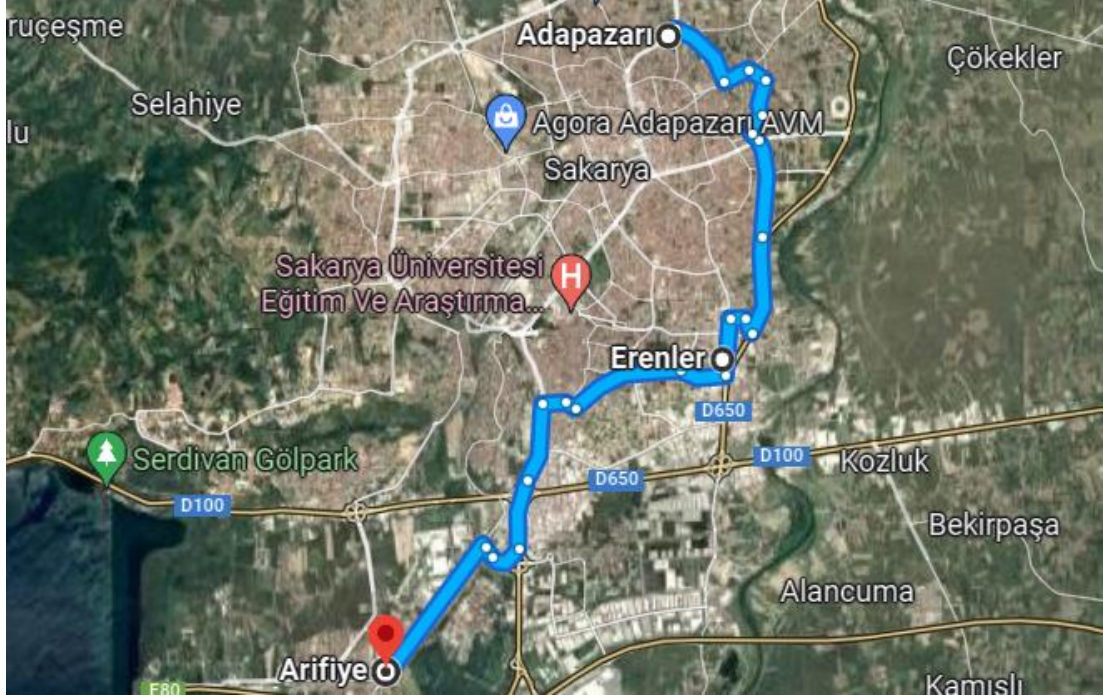
Şekil 12. q13 yolunun güzergahı



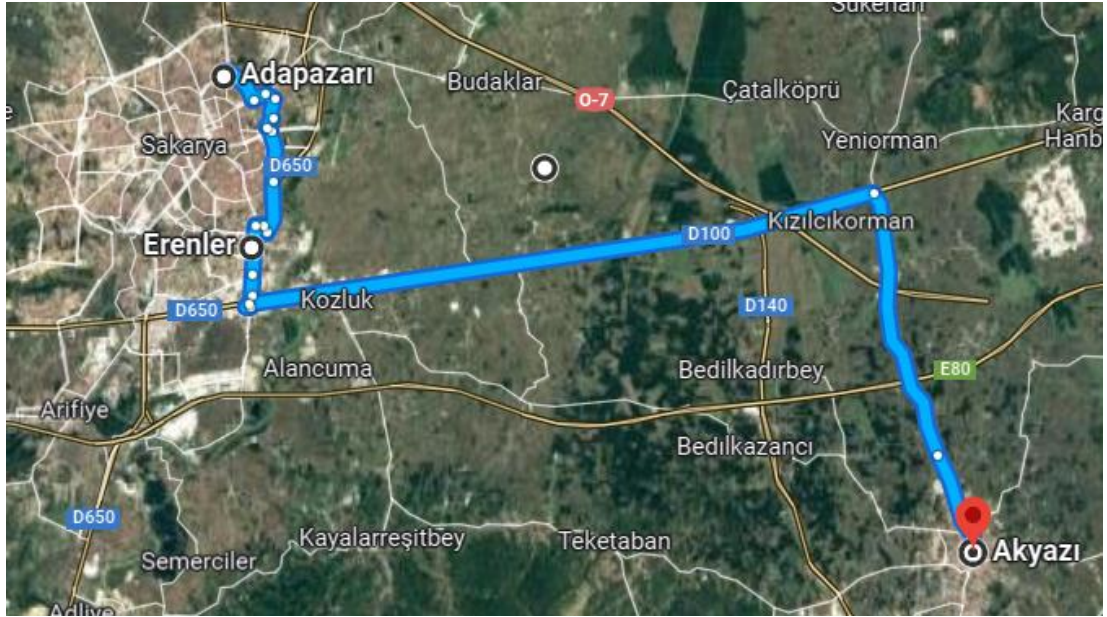
Şekil 13. q14 yolunun güzergahı



Şekil 14. q15 yolunun güzergahı

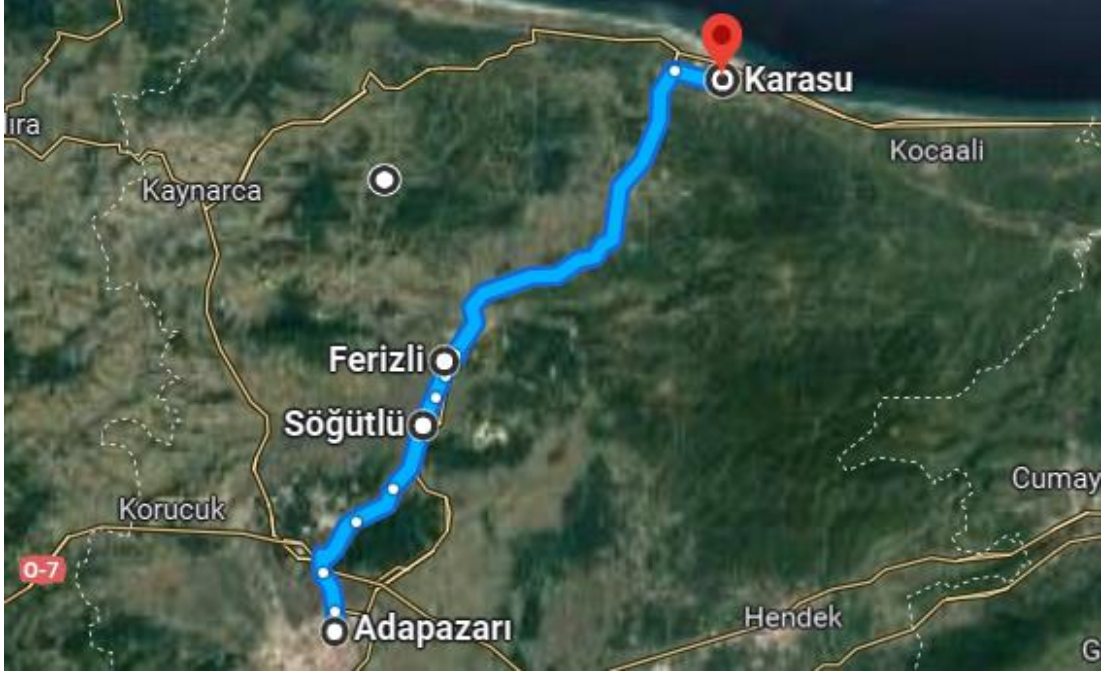


Şekil 15. q16 yolunun güzergahı

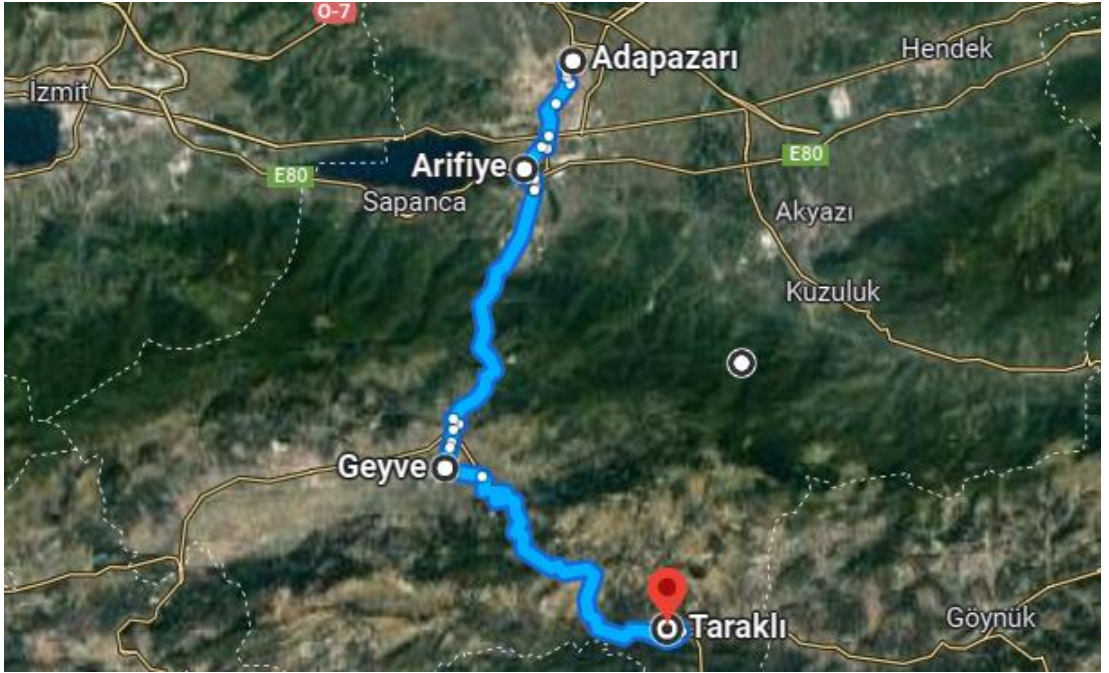


Şekil 16. q17 yolunun güzergahı

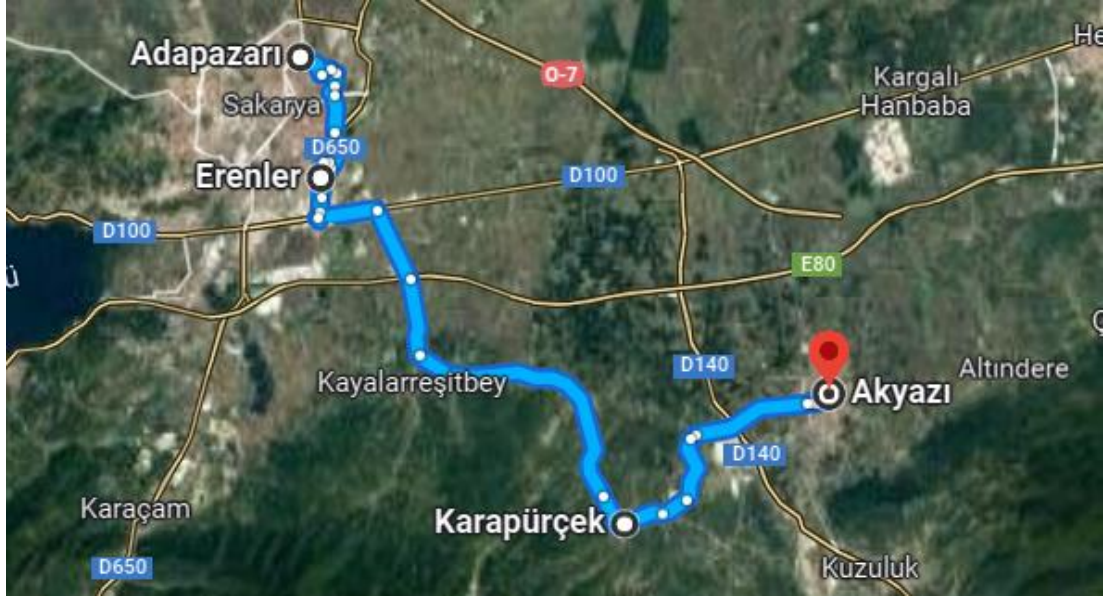




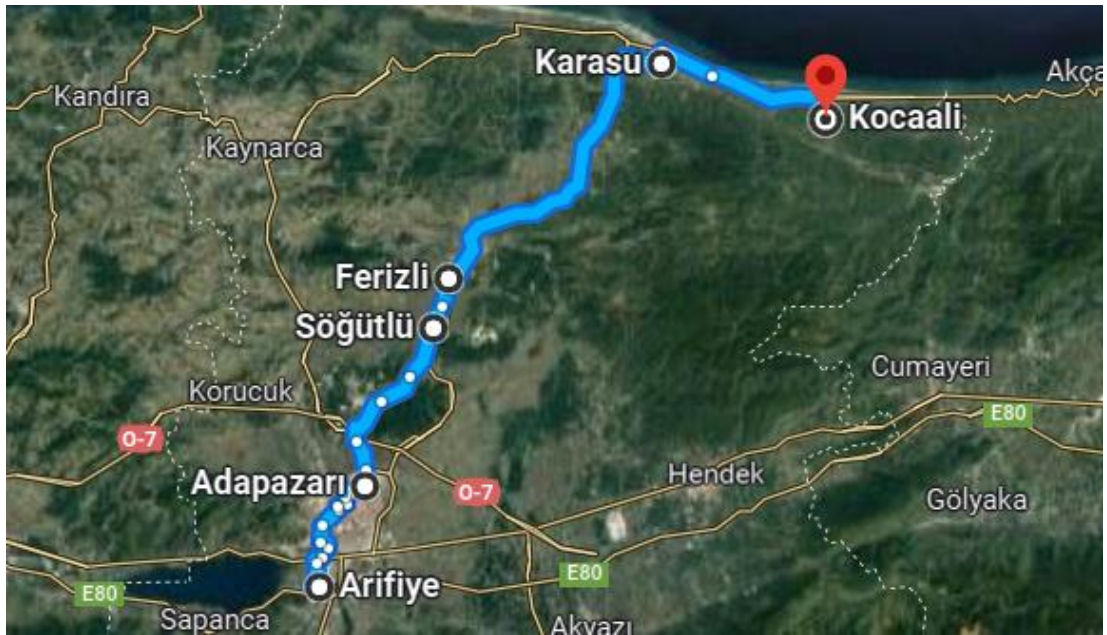
Şekil 17. q18 yolunun güzergahı



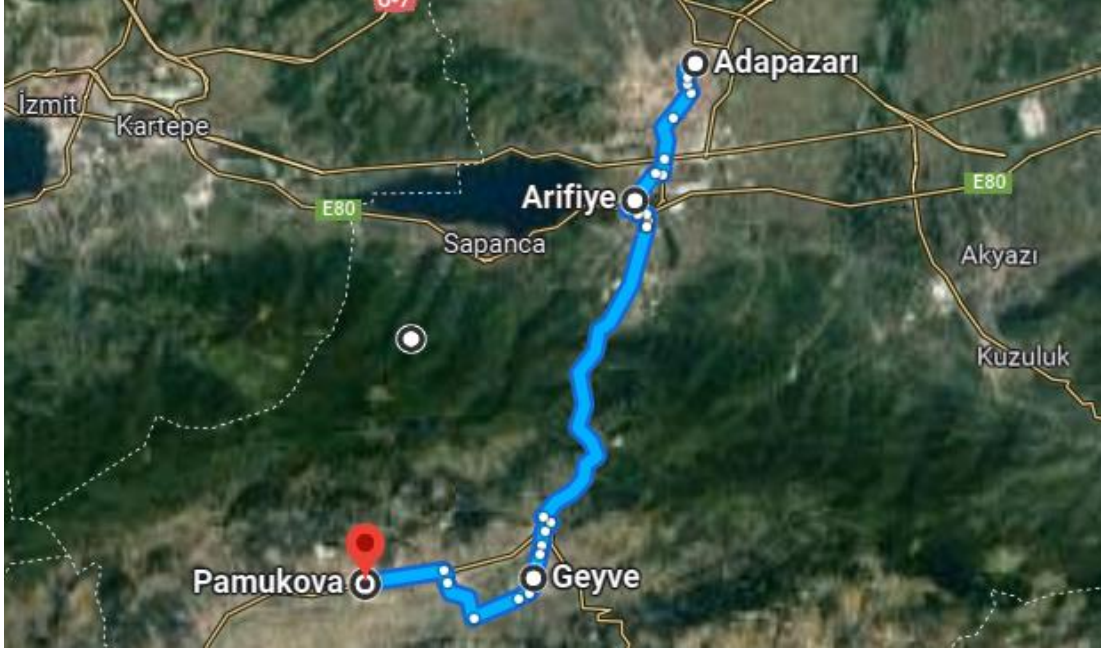
Şekil 18. q19 yolunun güzergahı



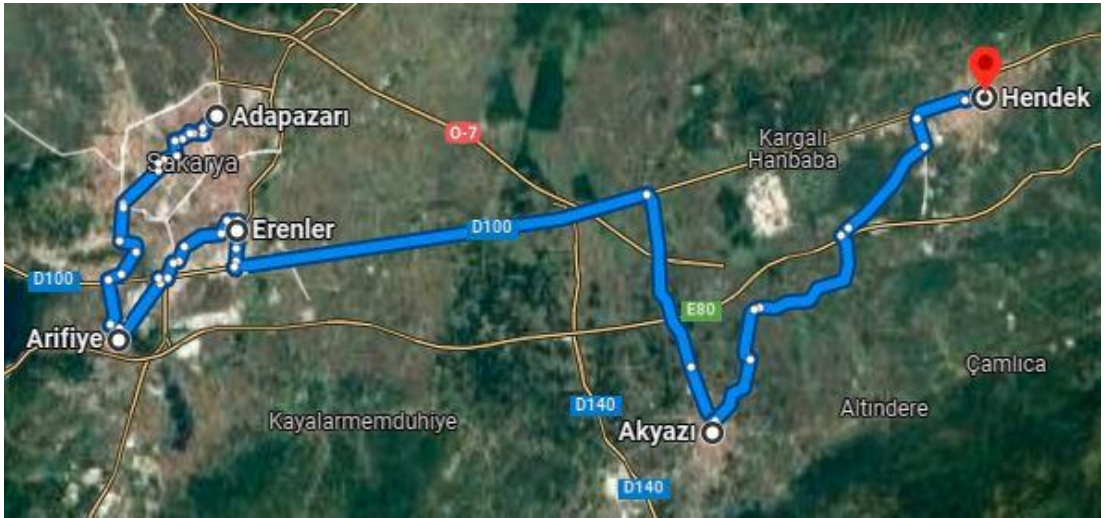
Şekil 19. q20 yolunun güzergahı



Şekil 20. q21 yolunun güzergahı



Şekil 21. q22 yolunun güzergahı



Şekil 22. q23 yolunun güzergahı

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Sena DÖRTKÖŞE

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Endüstri Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği	2018
Lise	Ali Dilmen Anadolu Lisesi	2013

### İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2022-Halen	Başak Traktör Tarım Ziraat ve İş Mak. A.Ş.	Mühendis
2020-2021	Türkiye Finans Katılım Bankası	Müşteri Temsilcisi

### YABANCI DİL

İngilizce

### ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Kübra Yazıcı, Sena Dörtköşe, Burak Say, Abdullah Hulusi Kökçam, Fahrettin Turna - Classification of Heart Attack Risk Using Fuzzy Inference System - 2019

### HOBİLER

Bitki yetiştirmek.