

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEHİRLERARASI OTOYOLLARDA
ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ
İSTASYONLARININ OPTİMİZASYONU,
YER SEÇİMİ VE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ:
EGE BÖLGESİ UYGULAMASI

Tuğba KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali KARAŞAN

Temmuz, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ŞEHİRLERARASI OTOYOLLARDA ELEKTRİKLİ ARAÇ
ŞARJ İSTASYONLARININ OPTİMİZASYONU, YER SEÇİMİ
VE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ: EGE BÖLGESİ
UYGULAMASI

Tuğba KARAKAYA tarafından hazırlanan tez çalışması 29.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ali KARAŞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ali KARAŞAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fatma KUTLU GÜNDOĞDU, Üye
Milli Savunma Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali KARAŞAN sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Şehirlerarası Otoyollarda Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Optimizasyonu, Yer Seçimi ve Önceliklendirilmesi: Ege Bölgesi Uygulaması” başlıklı çalışmada diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Tuğba KARAKAYA

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında beni bilgi ve tecrübesi ile yönlendiren, çalışmamı iyileştirmek için tüm süreç boyunca yanımda olan, yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Ali KARAŞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni mental olarak rahatlatan, desteklerini esirgemeyen kıymetli kardeşlerime, doğru bir amaca hizmet eden her bilginin ve bilgiye giden her yolun kıymetini öğreten, hayatım boyunca bana bunu aşılayan canım anneme ve canım babama sonsuz sevgi ve saygıyla teşekkürü bir borç bilirim.

Tuğba KARAKAYA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Özgün Değer	6
2 LİTERATÜR ANALİZİ	8
2.1 Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Optimizasyonlarına İlişkin Uygulamalar	8
2.2 Elektrikli Araçlarda Menzili Etkileyen Faktörler	10
2.3 Elektrikli Araç Yer Seçimine İlişkin Uygulamalar	19
2.4 Araştırma Boşluğu	40
2.5 Araştırma Soruları	41
3 METODOLOJİ	43
3.1 Küme Kapsama Modeli	43
3.2 Bulanık Çıkarım	45
3.3 DELPHI	46
3.4 SWARA	47
3.5 Bulanık TOPSIS	47
4 UYGULAMA	52
4.1 Ele Alınan Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı	52

4.2 Problemin Verileri.....	53
4.3 Uygulama Hesaplamaları.....	61
5 TARTIŞMA	90
6 SONUÇ	96
KAYNAKÇA	98
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	109



SİMGE LİSTESİ

K_j	Ağırlık katsayısı
$\tilde{v}_{ij}$	Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık değer
$\tilde{x}_{ij}$	Alternatif A_i 'nin, kriter C_j 'ye göre yapılan değerlendirmesi
D^-	Alternatifin negatif ideal çözüme uzaklığı
D^+	Alternatifin pozitif ideal çözüme uzaklığı
$\tilde{R}$	Bulanık karar matrisi
CC_i	Görelî Yakınlık Katsayısı
S_j	Görelî önem derecesi
$d(\tilde{a}, \tilde{b})$	İki üçgen bulanık sayı arasındaki bulanık uzaklık
a_{ij}	i . satır j . sütun bir matris
C_j	j . kapsayıcının maliyeti
X_j	j . kapsayıcının seçilip seçilmediğini gösteren karar değişkeni
x_j	Karar değişkeni
q_j	Kriter ağırlıkları
w_{ij}	Kriter ağırlığı
A^-	Negatif ideal çözüm
$\tilde{r}_{ij}$	Normalize edilmiş bulanık karar matrisi
$E_{measured}$	Ölçülen (gerçek) değer
A^+	Pozitif ideal çözüm
k	Sürüş menzil uzunluğu
$E_{predicted}$	Tahmin edilen değer
n	Toplam gözlem (veri) sayısı
$\tilde{x} = (l, m, u)$	Üçgensel bulanık sayı ve l : alt sınır, m : en olası değer, u : üst sınır

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current
AC	Air Conditioner
ADVISOR	Advanced Vehicle Simulator
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANP	Analytic Network Process
AMESIM	Advanced Modeling Environment for SIMulation
BEV	Battery Electric Vehicle
BN	Bayes Network
BWM	Best Worst Method
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
ChOA	Chimpanzee Optimization Algorithm
CoCoSo	Combined Compromise Solution
CO	Carbon monoxide
C ₂ O	Carbon dioxide
CS	Charge Station
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DC	Direct Current
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
EA	Elektrikli Araç
EAŞİ	Elektrikli Araç Şarj İstasyonu
EDS	Enerji Depolama Sistemleri
EDAS	The Evaluation Based On Distance From Average Solution
EPA	Environmental Protection Agency
EV	Electric Vehicle
EVCS	Electric Vehicles Charging Station
EVCSP	Electric Vehicles Charging Station Planning
EVRP	Electric Vehicle Route Problem

FAHP	Fuzzy Analytic Hierarchy Process
FCM	Fuzzy Clustering Model
FCOPRAS	Fuzzy Complex Proportional Assessment
FFS	Fermatean Fuzzy Sets
FNIS	Fuzzy Negative Ideal Solution
FPIS	Fuzzy Positive Ideal Solution
FV	Fotovoltaik
GAMS	The General Algebraic Modeling System
GIS	Geographic Information System
GWO	Grey Wolf Optimizer
G2V	Grid to Vehicle
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HFN	Hexagon Fuzzy Number
IC	Internal Combustion
KM	Kilometre
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAPE	The Mean Absolute Percentage Error
MARCOS	Measurement Alternatives and Ranking according to Companse Solution
MCDM	Multi-Criteria Decision Making
MFIS	Mamdani Fuzzy Infreance System
ML	Machine Learning
MULTIMOORA	The Multi- Objective Optimization by Ratio Analysis
NEDC	New European Driving Cycle
Ni-MH	Nikel-Metal Hidrür pil
NO _x	Nitrik Oksit
PFN	Picture Fuzzy Number
PFPNWBm	Pythagorean Fuzzy Partitioned Normalized Weighted Bonferroni Mean
PFWIG	Picture Fuzzy Weighted Interactive Geometric
PFV	Pythagorean Fuzzy VIKOR
PROMETHEE	The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
PTC	Positive Temperature Coefficient
SA	Simulated Annealing

SCA	Sine Cosine Algorithm
SMART	Simple Multi Attribute Rating Technique
SoC	State of Charge
SWARA	Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis
TOPSIS	The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TODIM	Tomada de Decisão Iterativa Multicritério
V2G	Vehicle to Grid
VIKOR	VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Akış diyagramı	49
Şekil 4.1 Çalışma alanı Ege Bölgesinin coğrafik konumu	53
Şekil 4.2 Sıcaklık girdisi bulanık çıkarım görüntüsü (MFs)	61
Şekil 4.3 Hız girdisi bulanık çıkarım görüntüsü (MFs).....	61
Şekil 4.4 Sürüş menzili (MFs).....	62
Şekil 4.5 Modelin MATLAB mamdani tipi bulanık çıkarım çıktısı (MFs)	62
Şekil 4.6 MATLAB uygulama çıktısının kontrol arayüzü	63
Şekil 4.7 MATLAB çıktısı tüm durum senaryosu.....	64
Şekil 4.8 GAMS küme kapsama model kodu.....	64
Şekil 4.9 k değeri 200 km/h ‘ye göre GAMS çıktısı.....	65
Şekil 4.10 MATLAB çıktısı kötü durum senaryosu.....	66
Şekil 4.11 k değeri 175 km/h ‘ye göre GAMS çıktısı.....	66
Şekil 4.12 MATLAB çıktısı iyi durum senaryosu.....	67
Şekil 4.13 k değeri 237 km/h ‘ye göre GAMS çıktısı.....	68
Şekil 4.14 Ana kriterler ve alt kriterler hiyerarşisi	70
Şekil 4.15 Alternatif lokasyonların Türkiye haritası üzerindeki gösterimi	78

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 EA şarj istasyonu uygun yer seçiminde kullanılan kriterler	35
Tablo 2.2 EA şarj istasyonu uygun yer seçiminde kullanılan kriterlerin kullanım sıklığı.....	37
Tablo 3.1 Bulanık TOPSIS yönteminde kullanılan dilsel ifadeler ve bulanık sayılar	48
Tablo 4.1 Klima aktif iken elektrikli araç sürüş menzillerinin verim yüzdesi	54
Tablo 4.2 Sabit hız değerlerine ilişkin araç menzil verimi	54
Tablo 4.3 Ege Bölgesi illerinin 1991-2020 yılları arasında ortalama aylık sıcaklık verileri (°C)	55
Tablo 4.4 Bulanık çıkarım sisteminin değer aralıkları ve sözel değişkenleri	56
Tablo 4.5 Sıcaklık parametreleri	56
Tablo 4.6 Hız parametreleri	57
Tablo 4.7 Sürüş menzil parametreleri (km/h)	57
Tablo 4.8 Klima kapalı durumda sayısal değerler (km/h).....	58
Tablo 4.9 Klima kapalı durumda sürüş menzili dilsel değerleri	58
Tablo 4.10 Klima açık durumda sürüş menzili sayısal değerleri (km/h)	58
Tablo 4.11 Klima açık durumda sürüş menzili dilsel değerleri	58
Tablo 4.12 Lokasyonlar arası mesafe tablosu (km)	59
Tablo 4.13 Senaryolara göre elde edilen düğümlerin çıktıları.....	68
Şekil 4.14 Ana kriterler ve alt kriterler hiyerarşisi	70
Tablo 4.14 Elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimi kriterleri ve tanımları	72
Tablo 4.15 Karar verici 1 için SWARA yönteminin sonuçları.....	75
Tablo 4.16 Karar verici 2 için SWARA yönteminin sonuçları.....	76
Tablo 4.17 Karar verici 3 için SWARA yönteminin sonuçları.....	76
Tablo 4.18 Birleştirilmiş kriter ağırlıkları	77
Şekil 4.15 Alternatif lokasyonların Türkiye haritası üzerindeki gösterimi	78
Tablo 4.19 Kriter türleri fayda/maliyet belirlenmesi	79
Tablo 4.20 KV1, KV2 ve KV3 için alternatif dilsel değerlendirmeleri.....	80

Tablo 4.21 KV1 için dilsel değişkenlerin bulanık sayıya dönüştürülmesi ($\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u}$)	80
Tablo 4.22 KV2 için dilsel değişkenlerin bulanık sayıya dönüştürülmesi ($\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u}$)	81
Tablo 4.23 KV3 için dilsel değişkenlerin bulanık sayıya dönüştürülmesi ($\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u}$)	82
Tablo 4.24 Karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirilmiş bulanık karar matrisi ($\tilde{l}_{min}; \tilde{m}_{ort}; \tilde{u}_{max}$)	83
Tablo 4.25 Normalize edilmiş bulanık karar matrisi ($\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u}$)	83
Tablo 4.26 Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi ($\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u}$)	84
Tablo 4.27 Bulanık pozitif ve negatif ideal çözüm noktaları (FPIS ve FNIS).....	85
Tablo 4.28 Alternatiflerin pozitif (D^+) ve negatif (D^-) ideal çözümlere olan bulanık uzaklıkları	86
Tablo 4.29 Alternatiflerin göreceli yakınlık değerleri (CC_i)	86
Tablo 4.30 Alternatiflerin pozitif (D^+) ve negatif (D^-) ideal çözümlere maksimum ölçekte bulanık uzaklıkları	87
Tablo 4.31 Alternatiflerin maksimum ölçekte göreceli yakınlık değerleri (CC_i)	88
Tablo 4.32 K62 ‘nin farklı ölçekte göreceli yakınlık değerleri (CC_i)	88
Tablo 4.33 K62: Yatırım geri ödeme süresi için rank sonuçları	89
Tablo 5.1 Türkiye’de elektrikli araç şarj istasyonları için uygulanan kamu teşvikleri	93

Şehirlerarası Otoyollarda Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Optimizasyonu, Yer Seçimi ve Önceliklendirilmesi: Ege Bölgesi Uygulaması

Tuğba KARAKAYA

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali KARAŞAN

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle EV'ler hem otomotiv sektörünün önemli bir parçası haline gelmiş hem de benzinli ve dizel araçlara ekonomik ve çevre dostu bir alternatif sunmuştur. Kısa sürüş menzillerinden kaynaklı şarj istasyonu erişebilirliği ve şarj verimliliğindeki zorluklara çözüm sunmak için şarj istasyon sayısını optimize ederek, istasyon erişilebilirliğini iyileştirmeye odaklanılmıştır.

Bu çalışma, Türkiye'nin Ege Bölgesindeki şehirlerarası otoyollarda şarj istasyonlarını optimize etmek ve yerleşimini değerlendirmek için iki fazdan oluşan model önermektedir. 1. fazda EVCS sayısını optimize edebilmek için GAMS ile birlikte küme kapsama modelini ve MATLAB ile bulanık çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Model, menzil değişimlerinin dinamikliğini literatür araştırmasıyla elde edilen sıcaklık ve hız parametrelerini modele entegre ederek modeli kantitatif hale getiriyor. Küme kapsama modeli, şarj istasyonu sayısını optimize etmek için kullanılırken, bulanık çıkarım, çevresel faktörlerin EV menzili üzerindeki etkisini temsil eden k değerlerini hesaplamak için kullanılır. Model üç farklı senaryo altında test edilmiştir: -5°C ile 40°C sıcaklık aralığını ve 90 km/s ile 150 km/s hız

aralığında genel durum, 9, 13 ve 19 düğümlerini, 120 km/s ile 150 km/s hız aralığında ve sıcaklıkların -5°C ile 10°C arasında olduğu kötü durumda, 1, 13 ve 19 düğümlerini ve 90 km/s ile 120 km/s hız aralığıyla 15°C ile 25°C arasındaki sıcaklıkları temsil eden iyi durum, 9 ve 22 düğümlerini optimum istasyon yerleşimiyle sonuçlanır. Modelin 2. fazında ise, alternatif lokasyonların önceliklendirilmesi için yer seçimi kriterleri uzman görüşleri ile değerlendirilmiş, ÇKKV metotlarından SWARA ile kriterlerin önem ağırlık dereceleri hesaplanmış, bulanık TOPSIS ile de önem ağırlıkları belirlenen kriterlerin alternatif lokasyonlar ile ilişkisi incelenmiş ve sıralamada en iyi alternatif A1 (Aydın Efemak Petrol) lokasyonu olmuştur. Sonuçların anlamlılığı için simülasyon yapılmıştır.

Çalışma, şarj istasyonu yerleşimine dinamik çevre koşullarını dahil ederek EV altyapı planlamasında karar alma süreçlerini iyileştirmeye ve ulaşımında daha verimli ve sürdürülebilir enerji kullanımına katkıda bulunur. Bu çalışma Ege Bölgesi ile sınırlandırılarak yapılmıştır. Gelecek çalışmalar Türkiye karayolu ağı göz önünde bulundurularak yapılabilir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Optimizasyonu, Bulanık Çıkarım, Küme Kapsama Modeli, SWARA, Bulanık TOPSIS

ABSTRACT

Optimization, Site Selection and Prioritization of Electric Vehicle Charging Stations on Intercity Highways: A Case Study of the Aegean Region

Tuğba KARAKAYA

Department of Industrial Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali KARAŞAN

With the rapid advancement of technology, EVs have become an important part of the automotive sector and have offered an economical and environmentally friendly alternative to gasoline and diesel vehicles. In order to provide solutions to the difficulties in charging station accessibility and charging efficiency due to short driving ranges, the focus has been on improving station accessibility by optimizing the number of charging stations.

This study proposes a two-phase model to optimize and evaluate the placement of charging stations on intercity highways in the Aegean Region of Türkiye. In the first phase, cluster coverage model with GAMS and fuzzy inference method with MATLAB are used to optimize the number of EVCS. The model quantifies the dynamics of range changes by integrating temperature and speed parameters obtained from the literature research into the model. While cluster coverage model is used to optimize the number of charging stations, fuzzy inference is used to calculate k values representing the effect of environmental factors on EV range. The model was tested under three different scenarios: the general case, representing nodes 9, 13 and 19 in the temperature range of -5°C to 40°C and speed range of 90

km/h to 150 km/h, the bad case, representing nodes 1, 13 and 19 in the speed range of 120 km/h to 150 km/h and temperatures between -5°C and 10°C, and the good case, representing nodes 9 and 22 in the speed range of 90 km/h to 120 km/h and temperatures between 15°C and 25°C, resulting in optimum station placement. In the second phase of the model, the site selection criteria were evaluated with expert opinions for the prioritization of alternative locations, the importance weights of the criteria were calculated with SWARA from the MCDM methods, the relationship between the criteria, whose importance weights were determined with fuzzy TOPSIS, and the alternative locations were examined, and the best alternative in the ranking was location A1 (Efemak Petrol, Aydın). Simulation was performed for the significance of the results.

The study contributes to improving decision-making processes in EV infrastructure planning and more efficient and sustainable energy use in transportation by incorporating dynamic environmental conditions into charging station layout. This study was limited to the Aegean Region. Future studies can be conducted for all highways in Türkiye.

Keywords: Electric Vehicle Charging Station Optimization, Fuzzy Inference, Set Covering Model, SWARA, Fuzzy TOPSIS

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde fosil yakıt kullanan araçların çevreyi kirletmesi ve artan yakıt maliyetleri sebebiyle, Dünya üzerinde artan nüfus yoğunluğunun beraberinde getirmiş olduğu ulaşım sorunu gelişen teknolojiyle birleşerek bir yerden başka bir yere ulaşım kolaylığı sağlamak amacıyla yeni, sürdürülebilir geleneksel yöntemlere alternatif elektrikli araçların oluşumunu ortaya çıkarmış, elektrikli araçların geliştirilme çalışmaları hız kazanmıştır. Bu gelişmeler, elektrikli araçların trafikte sayılarının artması ve yaygınlaşmaları için uygun zemini oluşturmuştur. Elektrikli araçlarda talebin artması ve bununla beraber elektrikli araçların günden güne gelişen pazara sahip olması şarj istasyonları için uygun yer seçimi gerektirir ve bu günden güne önem arz etmektedir. Elektrikli araçların kullanımının kolaylaştırılması ve yaygınlaştırılması için gerekli olan şarj istasyonları, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde sorun haline gelmekte olup bunu önlemek ve geliştirmek için elektrikli araç şarj istasyonlarının en az maliyet ile en çok hizmeti sağlayacak biçimde yerleştirilmesi gerekmektedir.

Elektrikli araçlar, günümüzde enerji krizine ve çevresel sorunlara çözüm sunan önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. İlk elektrikli aracın 1835 yılında Profesör Stratingh tarafından geliştirildiği bildirilmektedir (Ünlü, vd., 2003). Ancak, elektrikli araçların yaygınlaşmasını ve geliştirilmesini engelleyen en önemli faktörlerden biri, yeterli şarj altyapısının eksikliğidir (Zhihui, vd., 2018). Bu bağlamda, Japonya’da faaliyet gösteren Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Organizasyonu (NEDO), 2030 yılına kadar 1.600 kilometre menzile ulaşabilen yeni nesil batarya teknolojisinin geliştirilmesini amaçlamaktadır (Zhou vd., 2010).

Dünya genelinde kullanılan araçlar, gemiler, trenler ve uçakların büyük çoğunluğu fosil yakıtla çalışmaktadır. Bu durum, ulaşım sektörünü en yüksek CO2 salınımına sahip alan haline getirmektedir (EPA, 2014). Artan CO2 seviyeleri çevre kirliliğini artırmakta ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Küresel ısınmanın hızlanması ve iklim değişiklikleri, doğal habitatların tahrip olmasına ve canlıların yaşam kalitesinde azalmaya yol açmaktadır. Bu değişikliklerin etkileri arasında, kutup bölgelerindeki buzulların erimesi, türlerin yaşam alanlarında kaymalar, artan kuraklık ve zararlı türlerin yayılımı yer almaktadır (National Geographic, 2019). Söz konusu etkiler, çevresel denge ve insan sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır.

Bu zararlı etkileri azaltmak amacıyla ülkeler çeşitli stratejiler geliştirmektedir. Ulaşım sektöründeki yüksek CO2 salınımı nedeniyle, yeşil lojistik giderek daha fazla önem kazanmakta ve yaygınlaşmaktadır. Yeşil lojistiğin benimsenmesi, CO2 emisyonlarının azalmasına katkı sağlamanın yanı sıra elektrikli araç kullanımının artışı da teşvik etmektedir.

Dünya nüfusunun artışıyla birlikte enerji talebi de hızla yükselmekte ve bu durum fosil yakıt kaynaklarının tükenmesine yol açmaktadır. Hem fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak hem de sera gazı emisyonlarını düşürmek amacıyla ülkeler düşük karbon stratejilerine yönelmektedir. Gelişmiş ülkelerde elektrikli araç teknolojilerine yapılan yatırımların artmasıyla birlikte, yükselen şarj güçlerinin elektrik şebekesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği tahmin edilmektedir. Bu noktada, araçtan şebekeye enerji aktarımı (Vehicle-to-Grid, V2G) kavramı önem kazanmıştır; çünkü V2G teknolojisi sayesinde EV bataryalarında depolanan enerji şebekeye geri beslenebilmektedir. Özellikle talebin yüksek olduğu puant saatlerde, V2G destekli şarj istasyonları dağıtık enerji kaynağı olarak şebekeye katkı sağlayabilmektedir. Bu tür istasyonların konumlandırılması ve kapasite belirlenmesi, şebekeye sağladıkları faydayı doğrudan etkilemektedir (Sarıdağ vd., 2021).

Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması ve kapasitelerinin belirlenmesi üzerine yapılan araştırmalarda, Nurmhammed vd. (2021) şarj istasyonlarının yüksek güç taleplerinin elektrik şebekesinde ani yük artışlarına yol açabileceğini belirtmektedir. Bu durumun trafo ömrünün kısılmasına ve trafo kapasitelerinin artırılması gerekliliğine sebep olarak, önemli maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olabileceği ifade edilmektedir.

Elektrikli araçlar, tahrik sistemlerinde bir veya daha fazla elektrik motoru kullanan taşıtlardır. Bu araçlar, harici bir elektrik kaynağından toplayıcı sistemler aracılığıyla enerji alabilir ya da dahili piller sayesinde bağımsız olarak çalışabilirler. Ayrıca, bazı modellerde güneş panelleri, yakıt hücreleri veya jeneratörler vasıtasıyla yakıtın elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle de elektrik sağlanabilmektedir (Shaheen, 2001).

Elektrikli araçlar otomotiv sektöründe son on yılda hızla büyüyen bir trende sahiptir. İlk çıkan elektrikli araçların batarya kapasitelerine nazaran günümüzde çok daha büyük batarya kapasitesine sahi elektrikli araçlar vardır. Elektrikli araçların aynı anda veya tahmin edilemeyen zamanlarda şarj edilmesi elektrik arz ve talebinde dengesizlik yaratmaktadır. Elektrik arz ve talebinde oluşan bu farklar dikkate alınmadığı takdirde yüksek hızlarda şarj olan araçlar şebekede gerilim dengesizliğine, güç kayıplarına sebep olur ve böylece enerji şebekesini de olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle elektrikli araç şarj istasyonlarının doğru yerleşimi oldukça önemlidir (Nurmuhammed vd., 2021).

2021 yılı verilerine göre, son 10 yıllık dönemde elektrikli araçların küresel Pazar payı 41 kat artarak %8,3 seviyesine ulaşmıştır. Aynı dönemde, küresel elektrikli araç satışları ise 2021 yılında bir önceki yıla kıyasla %108 oranında artış göstererek 6,75 milyon adede ulaşmış ve bu değer, bugüne kadarki en yüksek satış seviyesi olarak kaydedilmiştir (Dörtköşe vd., 2022).

Elektrikli araçların talep edilmesinde çevreye duyarlı olması ve yakıt tüketim maliyetlerinin düşük olması önemli etkenlerdir (Alkan vd., 2023).

Elektrikli araçlar, performans açısından içten yanmalı motorlu geleneksel taşıtlarla rekabet edecek düzeye ulaşmıştır. Maksimum hız, hızlanma ve menzil gibi temel performans göstergelerinde önemli başarılar sergileyen elektrikli araçların, şarj süresi ve altyapı konuları ise halen çözülmesi gereken zorluklar arasında yer almaktadır. Tek enerji kaynağı akü olan tamamen elektrikli araçlardaki uzun şarj dolum süreleri, içten yanmalı motorlu olan araçlara göre kullanım zorluğu yaratır. Şarj işlemlerinin kısaltılmasının ele alınmasının yanı sıra menzillerin de efektif kullanması önem teşkil etmektedir. Elektrikli araçların mevcut şarj durumuna göre yapılan rota optimizasyonu, enerji kullanımında maksimum verimlilik sağlamaktadır. Bu sayede şarj duraklama sayısı minimize edilerek zaman

kazanılmakta ve elektrikli araçların yaygınlaşması desteklenmektedir (Bozkurt, 2011).

Optimizasyon, sistemlerdeki mevcut kaynakların (zaman, iş gücü, ekipman, kapasite gibi) belirli hedefler doğrultusunda en verimli biçimde kullanılmasını amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu hedefler genellikle maliyetin azaltılması, kârın artırılması veya verimliliğin maksimize edilmesi gibi sonuçlar üzerine odaklanmaktadır. Optimizasyon süreçlerinde, problemin matematiksel modeller aracılığıyla tanımlanması ve bu modeller üzerinden en uygun çözümün elde edilmesi temel bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Literatürde, bu alandaki ilk çalışmalardan biri olarak Leontief'in (1933; 1936) Amerika Birleşik Devletleri'nin ekonomik yapısını analiz etmeye yönelik geliştirdiği girdi-çıktı modellemesi örnek gösterilmektedir.

Optimizasyon çalışmaları; enerji, üretim, gıda, endüstri, sağlık, tarım ve turizm başta olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılan etkili bir araştırma yöntemidir. İşletmeler açısından, ihtiyaçların doğru şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Zira ihtiyaçların hatalı tanımlanması; müşteri kaybı, itibar zedelenmesi ve maddi zararlar gibi olumsuz sonuçlara yol açabilirken, doğru talep analizi işletme verimliliğini maksimize edebilmektedir. Elektrikli araçlar, küresel ölçekte hızla yaygınlaşan yeni bir teknoloji olduğundan, piyasa dinamikleri ve kullanıcı ihtiyaçlarının gerçeğe en yakın biçimde tespit edilmesi, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde izlenen enerji ve ulaşım politikaları açısından stratejik önem taşımaktadır. Bu bağlamda, doğru hizmet planlaması ile maliyetlerin minimize edilmesi ve verimliliğin maksimize edilmesi, elektrikli araçlar gibi gelişmekte olan teknolojiler için kritik bir gerekliliktir.

Elektrikli araçların temel çalışma prensibi, enerji kaynağından elde edilen gücün motora iletilmesi açısından içten yanmalı motorla çalışan (benzinli) araçlarla benzerlik göstermektedir. Ancak, elektrikli araçların bazı modelleri ile benzinli araçlar arasında çeşitli yapısal ve işlevsel farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklar şu şekilde özetlenebilir (Schneider vd., 2014):

- Elektrikli araçlarda yakıt deposu yerine enerji depolamak amacıyla kullanılan bataryalar bulunmaktadır.
- Genel olarak, menzilleri benzinli araçlara kıyasla daha sınırlıdır.

- Sera gazı emisyonu üretmedikleri için egzoz borusuna ihtiyaç duymazlar.
- Motor sesleri, içten yanmalı motorlu araçlara oranla oldukça düşüktür.
- Şarj maliyetleri, benzinli araçların yakıt dolum maliyetlerine göre daha ekonomiktir.

BEV (Battery Electric Vehicle) kategorisindeki araçlar, enerji ihtiyaçlarını tamamen elektrikten karşılayan ve içten yanmalı motor içermeyen araçlardır. Bu araçların güç kaynağı tamamen elektrik motorlarından oluştuğundan, fosil yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak karbon dioksit (CO₂) emisyonu bulunmamaktadır. Dolayısıyla, BEV'ler çevresel açıdan önemli avantajlar sunmakta ve sıfır egzoz gazı salınımı ile sürdürülebilir ulaşım çözümlerine katkı sağlamaktadır (Kılıç, 2020).

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, hızla gelişen teknolojiyle birlikte daha sürdürülebilir bir çevre ve ekonomiye katkı sunmayı amaçlayan elektrikli araçların (EV'ler) en büyük problemi olan elektrikli araç şarj istasyonlarının optimize edilmesini amaçlayan entegre bir model önerisi sunmaktadır. Elektrikli araçlar benzinli ya da dizel araçlara göre daha kısa sürüş menzilleri sunduğundan daha kısa sürede şarj gereksinimi ortaya çıkarıyor. Türkiye'nin Ege Bölgesindeki şehirlerarası yollarda şarj istasyonlarının yerleşimini değerlendirmek ve optimize etmek için GAMS Set Covering ve MATLAB bulanık çıkarımını kullanarak alternatif lokasyonlar elde edilirken aynı zamanda gerekli kriterler göz önünde bulundurularak uzman görüşlerine başvurulup uygun alternatif lokasyon seçimi yapmayı destekleyen entegre bir model önerisi ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda aşağıdaki alt hedefler sırasıyla gerçekleştirilecektir.

- Elektrikli araçlarda sürüş menzilinin geleneksel benzinli ve dizel araçlara göre daha kısa olması sebebiyle menzil değerine etki edebilecek, dinamik yapıya sahip dış parametrelerin incelenmesi amaçlanmaktadır.
- Sürüş menzil değeri $k'y_1$, dış parametrelerin etkisini göz önünde bulundurarak, bulanık çıkarım Mamdani tipi yöntemi ile daha kantitatif bir yaklaşımla ele almayı amaçlamaktadır.

- Sürüş menzil değerini ifade eden k 'ya bağlı olarak minimum sayıda gerekli olan elektrikli araç şarj istasyon sayısı küme kapsama metodu (set covering model) ile elde edilmesi amaçlanmaktadır.
- Bulunan optimum lokasyonların belli kısıtlar doğrultusunda (örneğin maliyet) aynı anda tüm belirlenmiş alternatif lokasyonların önceliklendirilmesi istendiğinde literatüre ve uzman görüşlerine başvurularak DELPHI yöntemiyle uygun yer seçimi için gerekli kriterlerin toplanması amaçlanmaktadır.
- Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan SWARA ile kriterlerin sistem içindeki önem ağırlıklarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.
- SWARA ile belirlenen kriter önem ağırlıkları kullanılarak, yine birçok kriterli karar verme yöntemi olan bulanık TOPSIS yöntemi ile karar vericilere sistem içindeki alternatif lokasyonların önceliklendirilmesi için karar verme konusunda destek olmayı amaçlamaktadır.
- Elde edilen sonuçların duyarlılık analizinden faydalanarak farklı senaryolar ile değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

1.3 Özgün Değer

Bu çalışmada bir entegre karar destek sistemi oluşturulup, Ege Bölgesi pilot bölge seçilmiştir. Literatürden farklı olarak aşağıdaki 2 temel husus özgün değer olarak literatüre katkı sağlamayı hedeflemiştir.

Modelde kullanılan küme kapsama modeli, gerekli şarj istasyonu sayısını en aza indirmek için kullanılırken, bulanık çıkarım, çevresel faktörlerin EV menzili üzerindeki etkisini temsil eden k değerlerini hesaplamak için kullanılır. Model, menzil değişimlerini dinamik olarak izlemek ve değerlendirmek için sıcaklık ve hız parametrelerini modele entegre ederek k menzil değerlerini bulanık çıkarım yaklaşımıyla elde eder. Küme kapsama modellerinde kullanılan k değerlerini sabit varsayan önceki çalışmalardan farklı olarak, bulanık yaklaşım ile bulunan k menzil değerleri dinamik senaryolarda daha hassas ve anlamlı bir tahmin sağlar. Bu da kantitatif bir yöntemle şarj istasyonu yerleştirme kararlarının doğruluğunu artırır.

Literatürde sürüş menziline etki eden çevresel ve sürüşe bağlı değişkenlerin (sıcaklık, hız gibi) analiz edildiği bazı çalışmalar bulunmakla birlikte (Yi ve Bauer, 2017), bu değişkenlerin şarj istasyonu yer seçimi optimizasyonuna doğrudan

entegre edildiği çok sınırlı sayıda örnek mevcuttur. Bu çalışmada dinamik menzil değerleri, çok kriterli karar verme sürecine entegre edilerek sadece teorik değer, uygulamaya dönük bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Bu yönüyle çalışma, mevcut yaklaşımlara pratikte uygulanabilir bir katkı sunmaktadır.

Literatürden elde edilen kriterler ve parametrelerin sayısını uzman görüşleriyle optimum seviyeye çeken DELPHI yöntemi zaman ve maliyet açısından modele katkı sağlanmıştır. Uzman görüşlerinden elde edilen çıktılar çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak alternatiflerin önceliklendirilmesi karar vericiler için büyük avantaj olacaktır.



2 LİTERATÜR ANALİZİ

2.1 Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Optimizasyonlarına İlişkin Uygulamalar

Sarıdağ vd. (2021), V2G (Vehicle-to-Grid) uygulamasında şarj istasyonlarının farklı zaman dilimlerinde karşılanması gereken enerji taleplerine göre şebekeye enerji aktarımı gerçekleştirecek biçimde, konum ve kapasite bakımından en uygun şekilde yerleştirilmesini hedeflemiştir. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen model, ağ üzerindeki kayıpların azaltılmasına odaklanmaktadır. V2G şarj istasyonlarının yer seçimi problemi için Grey Wolf Optimization (GWO) yöntemi tercih edilmiş; elde edilen sonuçlar Sinüs-Cosinus Algoritması (SCA) ve Şempanze Optimizasyon Algoritması (ChOA) ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan algoritmalar IEEE 34-baralı ve 85-baralı test sistemleri üzerinde uygulanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonucunda, GWO algoritmasının diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Bozkurt'un çalışmasında, elektrikli araçların rotalama süreci ele alınmış ve aracın şarj durumu ile seyir güzergâhı dikkate alınarak rota optimizasyonu yapılmıştır. Farklı rota alternatiflerinin enerji tüketim değerleri karşılaştırılarak, enerji kullanımını en aza indirecek rotalar tercih edilmiştir. Rota belirleme sürecinde maliyet unsurları göz önüne alınarak dört ayrı senaryo oluşturulmuş ve her senaryo için optimum rota seçimi yapılmıştır. Böylelikle elektrikli araçların enerji verimliliğinde artış sağlanmıştır. Ayrıca şarj işlemleri, araçların yoğun kullanım göstermediği zaman dilimlerine kaydırılarak verimlilik daha da artırılmıştır (E. Bozkurt, 2012).

Barco vd. (2017) çalışmasında, elektrikli araçların toplu taşıma sistemlerinde kullanımını inceleyerek bir vaka çalışması gerçekleştirmiştir. Araştırmada, bu araçların toplu taşımaya entegrasyonu kapsamında; elektrikli araç sayısı, ücretlendirme politikaları, zamanlama, batarya kapasitesi gibi unsurlar dikkate alınarak operasyonel planlama yapılmıştır. Rotaların optimizasyonu ile enerji maliyetlerinin en aza indirilmesi hedeflenmiş, ayrıca araçların batarya değişim süreçlerinin de planlamaya dahil edilerek etkinliğin artırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, rota planlarının güncellenmesiyle batarya kullanımına bağlı maliyetlerin azaltılabileceği tespit edilmiştir.

Keskin vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, zaman pencereli bir Elektrikli Araç Rotalama Problemi (EVRP), hibrit bir algoritma aracılığıyla çözülmeyi hedeflemiştir. Problemin matematiksel modellemesinde yalnızca elektrikli dağıtım araçlarının (EDV) enerji tüketimi ve şarj süreleri değil, aynı zamanda klasik araç rotalama formülasyonları ve esnek zaman penceresi kısıtları da dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, EVRP'nin çözümü için Genetik Algoritma (GA) ile Benzetilmiş Tavlama (SA) algoritmalarının birbirini tamamlayacak şekilde bütünleştirildiği bir hibrit çözüm yöntemi önerilmiştir. Yöntemin etkinliğini değerlendirmek amacıyla 25 müşteriden oluşan, 2 şarj istasyonu, bir depo ve 3 özdeş EDV içeren örnek bir senaryo üzerinde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen hibrit algoritmanın hem çözüm kalitesi hem de hesaplama süresi açısından bağımsız olarak kullanılan genetik algoritmaya kıyasla üstün performans sergilediğini ortaya koymuştur.

Çimen vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sürdürülebilir dinamik bir araç rotalama problemi için karma tamsayılı doğrusal programlama tabanlı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Çalışmada ele alınan elektrikli araç rotalama probleminde, dinamik çevresel koşulların dikkate alınmasının önemi sayısal analizlerle ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, elektrikli araçlara özgü batarya kısıtlarının dinamik çevre değişkenlerinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, düşük batarya kapasitesine sahip araçların, tüm müşteri taleplerini karşılamada yetersiz kaldığı görülmüştür.

Yıldız vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bir otoparkta batarya şarj durumları önceden bilinen 10 elektrikli aracın şarj edilmesi sonucu oluşan enerji maliyetlerinin, sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritma ile en aza

indirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada geliştirilen model, çift yönlü enerji akışına olanak tanıyan bir yapıda olup hem araçtan şebekeye (V2G – Vehicle-to-Grid) hem de şebekeden araca (G2V – Grid-to-Vehicle) enerji transferini desteklemektedir.

Arayıcı vd. (2018), şarj istasyonlarının konumlandırılması problemine yönelik bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Önerilen model, potansiyel şarj istasyonu lokasyonları arasında yatırım yapılacak en uygun yerleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Modelde kullanılan veriler, MATLAB ortamında oluşturulan sisteme entegre edilerek Yalmip/Cplex araçlarıyla optimal çözüme ulaşılmıştır. Çalışmanın uygulama örneği olarak İstanbul’da konumlandırılacak şarj istasyonları ele alınmış ve model, veri büyüklüğünden bağımsız olarak en uygun sonucu sağlamıştır.

Kalakanti vd. (2022) çalışmasında, Makine öğrenimi (ML) ve simülasyona dayalı açıklanabilir çözümler, niceliksel ve niteliksel metrikler ile birleştirilmiştir. Elde edilen Austin’in gerçek bir şarj istasyonu alanı ve Bengaluru’nun bir yeşil alanı kullanılarak geleneksel yaklaşımlarla karşılaştırıldı. EVCSP için ortalama bazlı, yoğunluk bazlı, spektrum veya özdeğer bazlı ve Gauss dağılımı değerlendirildi. Şehir planlamacısının perspektifi olan kümelenme verimliliği ve EV sahibinin perspektifi olan en yakın şarj istasyonuna kabul edilebilir bir mesafe gibi farklı perspektifler dikkate alındı. Şarj istasyonu ihtiyaç tahmini için ikinci dereceden regresyon ve simülasyonlara dayalı ML çözümleri değerlendirildi. Bu değerlendirmelerden çıkan sonuç ise şehir plancıları, şarj istasyonu planlama yöntemlerimizi kullanarak daha iyi şarj istasyonu yerleştirme kararları verebilir, şimdiki ve gelecekteki şarj istasyonu ihtiyaçlarını tahmin edebilir.

2.2 Elektrikli Araçlarda Menzili Etkileyen Faktörler

Demirci vd. (2023) çalışmalarında, elektrikli araç (EA) şarj istasyonlarının güneş enerjisi sistemleriyle entegrasyonunu ele almıştır. Bu kapsamda, solar fotovoltaik (FV) paneller ve enerji depolama sistemleri (EDS) ile entegrasyon potansiyeli teknik, ekonomik ve çevresel açılardan optimize edilmiştir. Ayrıca, önerilen model farklı iklim koşullarına sahip bölgelerdeki performansı hassasiyet analizleri ile değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, iklimsel farklılıkların birim enerji maliyetlerinde %21’e varan artışlara neden olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, yenilenebilir enerji kullanımını maksimize etmek ve temiz enerji tüketimini

artırmak amacıyla, EA şarj istasyonlarının konumlandırılmasında bölgenin iklimsel özelliklerinin dikkate alınmasının sistem performansını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, altyapı planlamaları ve yatırımcı teşvik mekanizmalarının bölgesel farklılıklar göz önünde bulundurularak geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmaktadır.

Samadani vd. (2014) çalışmasında, klima yükünün elektrik menzili ve Li-ion pil ömrü üzerindeki etkisini değerlendirmektedir. İklim kontrol sisteminin kullanılması EV tasarımına daha fazla zorluk katıyor. Klimanın öncelikli görevi araç kabin sıcaklığını ve nemini istenilen seviyelerde tutarak yolcuya termal konfor sağlamaktır. Konvansiyonel ve hibrit elektrikli araçlarda bu güç motor tarafından sağlanırken, elektrikli araçlarda bu gücün aküden alınması gerekmektedir. AC'nin, çekiş kaynağından en fazla miktarda güç gerektiren ana aksesuar olduğuna inanılmaktadır. Elektrikli araçlarda klimanın sürüş menzili %35'e kadar azaltılabileceği belirtiliyor.

Yıldız vd. (2018) tarafından yürütülen çalışmada, bir otoparkta batarya şarj durumları önceden bilinen on elektrikli aracın şarj edilmesiyle oluşan enerji maliyetlerinin, sezgisel algoritmalarından biri olan genetik algoritma kullanılarak en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada geliştirilen model, çift yönlü enerji transferine olanak tanımakta olup hem şebekeden araca (G2V – Grid to Vehicle) hem de araçtan şebekeye (V2G – Vehicle to Grid) enerji akışını içerecek şekilde tasarlanmıştır.

Lee vd. (2013) çalışmasında, hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik mevcut çabalar kapsamında Elektrikli Araçlar (EV'ler) ortaya çıkmış ve geliştirilmektedir. Elektrikli araçlar, pil paketleriyle desteklenerek elektrik enerjisi kaynağı kullanılarak çalıştırılmaktadır. Klimanın etkisinin pilin tükenmesinde ciddi bir sorun olduğu kanıtlanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, klimanın (yani soğutma ve ısıtmanın) sürüş menzili üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, elektrikli araç enerji verimliliğinin, şehir içi sürüş moduna göre otoyol sürüş modunda içten yanmalı motorlu taşıtın yakıt tüketimine ilişkin olağan eğilimin tersi olduğunu göstermiştir. Otoyol modunda elektrikli araç (EV) enerji verimliliği ve sürüş menzili de şehir içi sürüş moduna göre azalmıştır. Bu durum, yüksek hızda dönme koşullarında torkun azaldığı ve otoyol sürüş modunun sabit hız hızından oluştuğu ve rejeneratif frenleme sistemini etkin bir şekilde kullanmadığı motor

karakteristiğinden etkilenmiştir. Genel olarak klima (yani soğutma ve ısıtma), sürüş menziline ortalama %33 civarında bir azalmaya neden olur.

Leyan vd. (2019) çalışmasında, klima sisteminin araçtaki en büyük ikinci enerji tüketen cihaz olduğunu ve çalışma sırasında menzilin önemli ölçüde azalmasına neden olacağını belirtmektedir. Bu çalışmada, iklimlendirme sisteminde devridaim havasının kullanılmasının enerji tasarrufu etkisi değerlendirilmektedir. CO2 limitlerine ve ön camın buğulanmayı önleme gereksinimlerine dayalı dış hava havalandırma oranı hesaplanıyor ve bu stratejinin Çin genelinde 30 şehirde enerji tasarrufu etkisi, yıllık enerji tüketimi modeli kullanılarak değerlendiriliyor. Devridaim edilen havanın kullanılmasının, PTC ısıtıcı kullanıldığında %14-46 ısıtma enerjisinden, ısı pompası AC sisteminde ise %33-57 ısıtma enerjisinden tasarruf sağlayabileceği bulunmuştur. Bir yıl boyunca devridaim edilen havanın kullanılması sürüş menzili %11-30 oranında uzatabilir.

Jose vd. (2022) çalışmasında, çevre koruma girişimleri, mevcut IC motorlu ulaşım sisteminin elektrik motorlu bir sistemle değiştirilmesini hızlandırdığını belirtmişlerdir. Elektrikli araçlarda (EV), akülerde depolanan enerji, aracın çekişi ve yardımcı ekipmanların çalışması için kullanılır. Elektrikli aracın menzili EV segmentinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri olduğu belirlenmiştir. Depolanan enerji tüketiminin optimizasyonu, bir EV'de menzil iyileştirmesi için en iyi çözümdür. Araçtaki yardımcı donanımlar arasında aydınlatma sistemi gibi temel aksesuarlar ve klima gibi konforu artıran ekipmanlar yer alıyor. Klima ekipmanı, bir EV'de çekiş motoru dışında en çok güç tüketen yardımcı ekipmandır. Bu inceleme makalesinde, klima sisteminin farklı bileşenlerinin önemi ve etkisi ile araç yelpazesini genişletmek amacıyla klima sisteminin performansını optimize etmek ve enerji tüketimini azaltmak için araştırmacılar tarafından takip edilen yöntemler tartışılmaktadır. Bu çalışmada termal yükün ve iklimlendirilecek alan hacminin etkileri de dikkate alınmıştır. Bu inceleme, güç tüketiminin azaltılmasına yönelik farklı olasılıkların belirtilmesiyle sonuçlanmakta ve enerji tüketimini azaltmak veya elektrikli araçların menzili artırmak için bir çözüm olarak kullanıcı alanının bölgesel iklimlendirilmesini vurgulamaktadır. Tam alan iklimlendirmeyle karşılaştırıldığında bölgesel klima, güç tüketimini %51'e kadar azaltabilir.

Sato (2001) çalışmasında, ısıtmanın etkilerine karşı hassas olan Ni-MH, Li-ion ve diğer pillerde ısı kontrolü önemli bir konudur. 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklar, bu pillerin

şarj verimliliğini düşürecek veya uzun ömürlülük özelliklerini azaltacağından bahsetmiştir. Ekzotermik davranış, batarya sistemine bağlı olarak büyük ölçüde değişebileceğinden, termal yönetim, batarya reaksiyonlarını ve termal üretim faktörlerini de hesaba katmalıdır.

Zhang vd. (2017) çalışmasında, elektrikli araçta en fazla enerji tüketen yardımcı cihaz olan klima sisteminin enerji tüketimi, toplam enerji verimliliği üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, Çin genelinde farklı şehirlerdeki elektrikli araç klima sisteminin yıllık toplam enerji tüketimini değerlendirmek için kapsamlı bir model oluşturulmuştur. İklim verileri, araç kullanım yoğunluğu, ortalama sürüş hızı ve iklimlendirme sisteminin performansı gibi temel etkileyen faktörler, kabin ısı konforu ve iklim kontrolü yükü yaklaşımı temel alınarak dikkate alınır. Model ile Çin genelinde 30 eyalet başkentinde hafif ticari araçlarda klima sisteminin enerji tüketimi analiz ediliyor. Isıtma enerjisi tüketiminin enleme göre uyum eğrileri de verilmiştir. İklimlendirme sisteminin enerji tüketiminin şehirlere göre büyük oranda değişiklik gösterdiği, ısı pompasının ortalama %41,03 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir.

Farrington vd. (2000) çalışmasında, araç kliması, geleneksel ve hibrit elektrikli araçların yakıt ekonomisini ve egzoz borusu emisyonlarını önemli ölçüde etkileyebilir ve elektrikli araç menzili azaltabileceğinden bahsetmektedir. Ayrıca, Tamamlayıcı Federal Test Prosedürü adı verilen yeni bir ABD emisyon prosedürü, ABD'deki araç klima sistemlerinin boyutunun küçültülmesine yönelik motivasyonu sağladı. Mevcut iklimlendirme sistemleri, yüksek yakıt tasarruflu araçların yakıt tasarrufunu yaklaşık %50 oranında azaltabilir ve günümüzün orta boy araçlarının yakıt tasarrufunu %20'den fazla azaltabilir, NOx'i yaklaşık %80 ve CO'yu %70 oranında artırabilir.

Wager vd. (2016) çalışmasında, elektrikli araçlar (EV'ler), emisyonlu çalışma potansiyeline sahip olduğunu ve dolayısıyla fosil yakıtlarla çalışan arabalarla ilgili birçok çevre ve sağlık sorununun üstesinden gelebileceğini vurgulamıştır. Şarj süresi ve sürüş menzili, elektrikli araç teknolojisinin ana akım kabulü ve uygulanmasının önündeki en büyük engeller arasında yer alıyor. Hızlı DC şarjı, şarj süresini önemli ölçüde azaltır ve daha uzun elektrikli araç yolculuklarını mümkün kılmak için kullanılabilir; şehirlerarasındaki otoyollarda sınırlı sürüş menzili, şarj istasyonları, yardımcı yüklerin araç enerji tüketimi ve emisyonları üzerindeki etkisi

gibi konuları ayrı ayrı ele alan bazı EV ve HEV otomobil çalışmaları yapılmış olmasına rağmen, sürüş kombinasyonunun sürüş menzili üzerindeki etkisine ilişkin şu anda sınırlı araştırma bulunmaktadır. Otoyol hızlarında elektrikli araçlar, ısıtma veya klima gibi yardımcı yükleri kullanmaktadır ve hızlı DC şarjı ve deşarj güvenlik marjlarından dolayı şarj kapasitesi azalmaktadır. Bu çalışmada bu parametreleri ve bunların enerji tüketimi ve elektrikli araçların sürülebilir menzili üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırmanın sonucunda ise otoyolda sürüşle ilgili koşullar altında menzilin önemli ölçüde azaldığını ve elektrikli araç üreticileri tarafından yayınlanan sürüş menzillerinden önemli ölçüde sapma olduğunu göstermiştir. Bu projenin sonuçları ve çıktıları, 'Elektrikli Karayolları' olarak adlandırılan sistemlerin verimli tasarımı ve uygulanması açısından kritik öneme sahiptir.

Jung vd. (2018) çalışmasında, ticari olarak temin edilebilen hafif hizmet akülü elektrikli araçların (BEV'ler) 2011 ila 2018 model yılı arasındaki ölçeklendirme eğilimlerini araştırmıştır. Bu çalışmanın motivasyonu, sınırlamaları daha iyi anlamak için BEV performans parametrelerine göre BEV teknolojisinin durumunu karakterize etmektir. Ham veriler üç ana kaynaktan elde edilmiştir: INL (Idaho Ulusal Laboratuvarı) web sitesi, EPA (Çevre Koruma Ajansı) Yakıt Ekonomisi web sitesi ve BEV üreticilerinin web siteleri. Bir akünün tam şarjı başına EPA sürüş menzili ile araç ağırlığına göre normalleştirilen akü kapasitesi arasında mükemmel ölçeklendirme eğilimleri bulunmuştur. Ayrıca, EPA şehir yakıt ekonomisi ile araç boş ağırlığı arasında nispeten güçlü bir korelasyon bulunurken, EPA otoyol yakıt ekonomisi ile araç boş ağırlığı arasında zayıf bir korelasyon bulunmuştur. INL'de incelenen 10 BEV için 0-60 mil/saat hızlanma süresi ile aküden gelen tepe güç çıkışının araç boş ağırlığına bölünmesi arasında ters bir güç korelasyonu bulundu. INL'de çevre kontrollü oda şasi dinamometresi üzerinde yapılan testler, yakıt ekonomisinin klima açıkken yaz sürüş koşullarında ortalama %19, kış sürüş koşullarında ise ortalama %47 düştüğünü göstermiştir.

Hao vd. (2020) çalışmasında, farklı hava ve sürüş koşulları altında BEV enerji tüketimi ve sürüş menzilineki değişiklikler, bu araçların kullanılabilirliğini ve tüketici tarafından kabul edilmesini etkileyebileceğinden söz etmektedir. Bu nedenle, gerçek sürüş koşullarında tüketimi ve menzili etkileyen mevsimsel faktörlerin daha iyi anlaşılmasına ve ölçülmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, aynı modele ait 197

BEV'nin 12 ay boyunca 0,1 Hz'lik bir yoklama frekansında kaydedilen gerçek dünyadaki sürüş aktivitesini temsil eden bir veri seti, farklı sürüş uygulamalarındaki (kişisel sürüş, taksi işletimi ve araç paylaşımı) BEV ve mevsimlerin performansını tahmin etmek için analiz edilmiştir. Sonuçlar, BEV'lerin elektrik tüketiminin, seyahat düzenlerinin ve şarj düzenlerinin hem araç uygulamasına hem de mevsime göre önemli ölçüde değiştiğini göstermiştir. Çalışmada, ortam sıcaklığının 10 °C 'nin altına düştüğü durumlarda sıcaklıktaki her 5 °C'lik düşüş için elektrik tüketiminin 2,4 kWh/100 km arttığı belirlenmiştir. Sıcaklık 28 °C'nin üzerinde olduğunda, sıcaklıktaki her 5 °C'lik artış için EC 2,3 kWh/100 km artacağı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, üreticilerin uygulamaya uygun sürüş menzillerine sahip BEV'ler tasarlaması ve soğuk ortamlarda akü performansının artırılmasına yönelik Ar-Ge yatırımları yapması gerektiğini göstermiştir.

Park vd. (2017) çalışmasında, elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon pillerin performansı, pil sıcaklığına bağlı olarak büyük ölçüde değiştiğine değinmiştir. Bu çalışmada, pilin ısı üretimine göre sıcaklık değişimini değerlendirmek ve pilin şarj miktarını, iç direncini ve voltaj değişimini araştırmak için sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Pilin bir sıcaklığı var 25°C 'nin altına düştüğünde iç direnç artar, ısı üretimi artar ve sürüş mesafesi azalır. Ayrıca pilin sıcaklığı 25°C'yi aştığında pilin şarjı azalır, bu da pil performansının düşmesine ve bunun sonucunda sürüş mesafesinin azalmasına neden olur. Pil sıcaklığı 20°C ve 45°C olduğunda, pil performansını en iyi şekilde koruyabilen sıcaklık olan 25°C bazında elektrikli araçlar sürüş mesafesi sırasıyla %33 ve %1,8 azaldı. Bataryanın optimum sıcaklığını korumak için, düşük sıcaklıklarda ısıtma ve yüksek sıcaklıklarda soğutma, verimli batarya termal yönetimi yoluyla sağlanmalıdır. Analiz sonucunda dış sıcaklık 20°C ise 500 W ısı sağlanması gerekirken, dış sıcaklık 45°C ise 250 W ısı sağlanması gerekir. Pili çalıştırmak için soğutma yoluyla serbest bırakılması gerekir. 25°C 'lik optimum sıcaklık korunabilir.

Mao vd. (2022) çalışmasında, sınırlı sürüş menzili ve şarj altyapılarının mevcudiyeti, hâlâ elektrikli araçların (EV) pazarda benimsenmesinin önündeki ana engeller arasında yer aldığını söylemektedir. Bu sınırlayıcı faktörlerin birleşimi ise EV kullanıcılarında sürüş menzili kaygısı yaratmaktadır. Farklı EV pil teknolojileri ve şarj altyapıları geliştirilme aşamasındayken, EV kullanıcısına doğru bir menzil tahmini sağlamak ile EV kullanıcısını menzil kaygısını azaltmak amaçlanmıştır. Bu

çalışmada, mevcut sürüş şeklini tanıyan ve daha sonra onu önceden tanımlanmış kümelerden (sürüş modları) birine sınıflandıran bir EV aralığı tahmin tekniği önerilmektedir. Kilometre başına gelecekteki enerji tüketimi daha sonra her kümenin ortalama enerji tüketimine göre ayarlanır. Güncellenmiş bir enerji tüketim oranına sahip olan EV aralığı, pilin şarj durumuna göre hesaplanır. Bu uygulama için 'ortalama hız' ve 'ortalama güç'ün en iyi seçenekler olarak tanımlandığı sürüş modeli kümelemesi için farklı özellikler dikkate alınır. Önerilen EV aralığı tahmincisinin etkinliği, ilerideki EV enerji tüketimi tahmininde ortalama %9'luk bir hata veren gerçek sürüş verileri kullanılarak doğrulanmıştır.

Nagasubramanian (2001) çalışmasında, araç aküsünün düşük sıcaklıklardaki performansının azalması, BEV'nin sürüş menzilini de etkileyeceğini belirtmiştir. Soğuk koşullar Li-iyon hücrelerde reaktivitenin azalmasına ve iyonik iletkenliğin azalmasına neden olur ve bu da onların kullanılabilir kapasitesini ve empedansını etkiler. Bu bağlamda Nagasubramanian aşırı soğuk koşullar altında (-40 °C) bir Li-iyon hücrenin, 25 °C'deki performans seviyelerine kıyasla enerjisinin %95'ini ve güç kapasitesinin %98'inden fazlasını kaybedebileceğini göstermiştir. Benzer araştırmalar, bir hücrenin kapasitesinin 25 °C'deki kapasiteye kıyasla -20 °C'de %23'e kadar düşebileceğini göstermektedir. Hücre performansındaki bu geçici kayıpların yanı sıra, düşük sıcaklıklar da Li-kaplamayı teşvik eder ve bu da hücre performansında kalıcı bir azalmaya yol açabilir. Li kaplama, metalik lityumun hücrenin anotunda birikmesidir. Bu, döngülebilen Li-iyonların sayısını azaltır ve hücrenin empedansını artırır. Bu etkilerin her ikisi de kısmen geri döndürülemez ve hücrenin enerji ve güç kapasitesinde kalıcı bir azalmaya yol açar. Bu tür hücre yaşlanma süreçlerini azaltmak için pil yönetim sistemi, düşük sıcaklıklarda şarj ve deşarj akımlarını sınırlandırır.

Steinstraeter vd. (2021) çalışmasında, bir BEV'nin iyileşme yeteneğinin büyük ölçüde pilin sıcaklığına bağlı olduğunu göstermiştir. Sıcak koşullar altında, herhangi bir sınırlama olmadan rejeneratif frenleme yoluyla geri kazanılan enerji, bir yolculuk için gereken toplam enerjinin %18'ine katkıda bulunabildiğinden, soğuk koşullar altında sınırlı enerji kazanımı, BEV'nin sürüş menzili açısından özellikle kritik bir faktördür.

Kostopoulos vd. (2020) çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla birlikte elektrikli araçların ulaştırma sektörünün

karbonsuzlaştırılmasına yönelik çözüm olduğundan bahsetmiştir. Elektrikli araçlar son on yılda ilgi odağı olmasına rağmen, araç aküsünün doğru kullanımı konusunda çok az çaba gösterilmiştir. Bu nedenle, elektrikli otomobillerin çoğunluğunun kalbini temsil eden Lityum-iyon (Li-iyon) pillerin, deşarj ve şarj işlemi sırasında daha iyi anlaşılması çok önemlidir. Sürüş koşulları altında deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışma, özellikle daha önce keşfedilmemiş olan %80-%100 şarj durumuna odaklanarak, Bataryalı Elektrikli Aracın (BEV) şarj edilmesi sırasında meydana gelen enerji kayıplarını niceliksel olarak (SoC) alanını analiz etmektedir. Sonuçlar, yukarıda belirtilen alan dahilinde şarj sırasındaki kayıpların, %20-%80 SoC alanına kıyasla neredeyse iki kat olduğunu ve aracın ortalama özgül gerçek enerji tüketiminin, sürücünün ekranda gördükleriyle karşılaştırıldığında neredeyse 2 kWh/100 km daha fazla olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, gerekli şarj süresi, her bir SoC alanının sağladığı mesafe ve pilin kendi ömrü dikkate alındığında, şarj sırasında SoC'nin %80'ini aşmak sürücünün yararına değildir. Bu sonuçlara dayanarak ve kapsamlı bir literatür incelemesinden sonra yazarlar, sürücülerin EV pilini çalıştırması gereken optimum SoC aralığını önermektedir.

Farklı zaman aralıkları ve rotalar için MAPE'yi gösterir. MAPE, bireysel yolculuk başına (kısa mesafeli yolculukların doğruluğunu temsil etmek üzere) ve toplam zaman dilimi için (uzun mesafeli yolculukları temsil eden, o zaman aralığındaki tüm bireysel yolculukların toplanmasıyla) hesaplanışı Denklem 2.1'de verilmiştir (Donkers vd., 2020).

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{E(measured) - E(predicted)}{E(predicted)} \right| \quad (2.1)$$

Ölçülen son iki zaman aralığı aykırı değerlerdir. Bu, bu rotalardaki yüksek sürüş hızıyla açıklanabilir (Shitzer, A. 2006). Daha yüksek hızlarda, ısı transfer katsayısının sürüş hızıyla neredeyse doğrusal olarak arttığını bulmuştur. Daha yüksek bir ısı transfer katsayısı, bir nesneyi ısıtmak için daha fazla termal güç gerektirdiğinden, iklim sistemi daha yüksek sürüş hızlarında daha fazla güce ihtiyaç duyacaktır. Bu etki enerji modelinde dikkate alınmamıştır. Enerji tüketimi önemli ölçüde arttığından, yüksek sürüş hızlarında iklim sistemlerinin güç tüketiminin nasıl modelleneceği daha fazla araştırmayla belirlenmelidir. Aykırı değerler hariç

tutulduğunda, kısa yolculuklar (<5 km) için MAPE %7,8 iken daha uzun yolculuklar (5-20 km) %3,4'lük bir MAPE ile sonuçlanmıştır (Donkers vd., 2020).

Wei vd. (2022) çalışmasında, elektrikli araçların sınırlı sürüş menzili, sürücülerin menzil kaygısına neden olduğundan bahsetmektedir. Bu nedenle, kalan sürüş menzilin doğru tahmini elektrikli araçlar için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Pekin, Çin'deki gerçek yollarda çalışan bir elektrikli araçlardan toplanan gerçek dünya verilerini kullanarak, tipik şehir içi sürüş döngüsünün sınıflandırmasına dayalı olarak kalan sürüş menzili için çevrimiçi bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Sürüş döngüsü verileri ilk olarak şarj durumuna göre bölümlere ayrılır ve daha sonra gerçek sürüş döngüsü, temel bileşen analizini bulanık c-ortalamlar kümelemeyle birleştirilerek dört kategoriye sınıflandırılır. Model doğrulama sonuçları modelin doğruluğunu teyit eder. Elektrikli araçların enerji tüketim oranını etkileyen faktörler analiz edilmiş ve elektrikli araçların ekonomik sürüş hızını araştırmak için bir ekonometrik modeli oluşturulmuştur. Sonuçlar, Elektrikli araçların genel ortalama enerji tüketiminin 0,151 kW·h/km olduğunu ve yaza kıyasla kış aylarında enerji tüketim oranının %39 artış ve sürüş menziline %30 azalma olduğunu göstermektedir. Optimum sürüş hızları 48 ile 62 km/saat arasındadır ve enerji verimliliği açısından ekonomik sürüş hızı 58 km/saattir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, otomobil üreticilerine ve tüketicilere elektrikli araçların fiili kullanımı hakkında daha net bilgi edinme konusunda ilham verebilir.

Kunt (2020) çalışmasında, elektrikli araçların günümüzde yeterince yaygınlaşmamasının başlıca sebebinin menzillerin kısalığı olduğunu söylemektedir. Yuvarlanma direnci etkisinin elektrikli araç menziline önemli ölçüde etki ettiğinden bahsetmektedir. Yuvarlanma direnç kuvveti lastiklerin durumuna göre, çevresel faktörlere göre değişiklik göstermektedir. Yuvarlanma direnç kuvvetindeki değişimlerin frenleme ve batarya performansı üzerindeki etkilerinin yanı sıra, aracın menziline olan etkileri de değerlendirilmiştir. Elektrikli bir araç üzerinde yapılan analizlerde, ADVISOR taşıt simülasyon programı kullanılarak iki farklı yuvarlanma direnci senaryosu altında aracın ivmelenme karakteristikleri ve transmisyon kayıpları incelenmiştir. Gerçek sürüş koşullarını yansıtmak amacıyla, yol eğimi, yuvarlanma direnç katsayısı ve çevre sıcaklığı gibi dış etkenlerin oluşturduğu zorluklar dikkate alınarak simülasyon temelli analizler

gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, farklı menzil değerlerine karşılık gelen ortalama yuvarlanma direnç kuvvetleri arasında 2,1 kat fark gözlemlenmiştir. Sierpiński vd. (2020) çalışmalarında, yoldaki enerji tüketimi nedeniyle beklenmedik araç hareketsizlik durumlarını ortadan kaldırarak ve menzil endişesi olarak adlandırılan olguyu en aza indirerek yolculuğu tamamlamak için güvenli bir minimum enerji rezervinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Karar verme desteği, seçilen üç istasyon yerleştirme yöntemi için elektrikli araçların başlangıç şarj durumlarına göre en uygun seyahat rotalarının belirlenmesiyle sağlanmaktadır. Değerlendirme şu üç hususa odaklandı: (1) yapılamayan seyahat sayısı (başlangıç noktası çevresinde belirli bir mesafede şarj istasyonu bulunmaması nedeniyle), (2) aracın güzergah üzerinde şarj edilmesi ihtiyacından kaynaklanan seyahatin uzatılması ve (3) elektrikli araçların şarj istasyonuna ulaşmak için ihtiyaç duyduğu ek enerji tüketimi (optimum rotadan ayrılma zorunluluğu).

Trafik ve yol koşulları, araçların hız-zaman profillerini ifade eden sürüş çevrimleri üzerinde doğrudan etkilidir. Karabaşoğlu vd. (2010), sürüş çevrimlerinin hibrit ve şarj edilebilir elektrikli araçların yaşam döngüsü maliyetleri ve emisyonları üzerindeki etkilerini analiz etmiş ve bu çevrimlerin söz konusu parametreler üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Öte yandan Zhang vd. (2010), hibrit araçlarda enerji yönetimi stratejilerine arazi öngörüsünün entegre edilmesinin, enerji verimliliğini artırmada önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir.

2.3 Elektrikli Araç Yer Seçimine İlişkin Uygulamalar

Nurmuhammed vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, elektrikli araç şarj sistemleri ile bu sistemlerin enerji şebekesi üzerindeki etkileri ele alınarak, son on yıllık dönemde yapılan öncü araştırmalar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada özellikle şarj altyapısının hızla yaygınlaşmasının enerji şebekesinde oluşturabileceği yük ve dengesizlikler değerlendirilmiş, bu etkilerin minimize edilmesine yönelik çözüm önerilerine odaklanılmıştır. Analizler sonucunda, şarj istasyonlarının enerji şebekesi üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılabilmesi için, bu istasyonların optimum konumlandırılması gerektiği vurgulanmış ve bu konumlandırmaya ilişkin kriterlere dair veriler detaylı biçimde sunulmuştur.

Arayıcı vd. (2018) çalışmasında, şarj istasyonu konumlandırılması ile ilgili ihtiyacı çözmeye çalışan bir optimizasyon modeli tanıtmıştır. Model, olası şarj istasyonları için belirlenen lokasyonlardan hangisine yatırım yapılmalı sorusunun cevabını aramaktadır. Gerekli veriler MATLAB programında geliştirilen modele eklenerek, Yalmip/Cplex yardımıyla optimal sonuç için çözülmektedir.

Güler vd. (2020) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun yerlerinin bulunması için GIS teknikleri ile ÇKKV yöntemlerini entegre eden bir yaklaşım önermektedir. Bu bağlamda kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında AHP ve FAHP yöntemleri kullanılmaktadır. AHP ile çevresel etki ve erişilebilirlik açısından her kriterde iki farklı önem ağırlığı elde edilirken, FAHP'nin uygulanması amacıyla her kriterde ayrı bir önem ağırlığı elde edilmektedir. Bütünsel, güvenilir bir sonuç elde etmek için üç farklı uygunluk indeksinin kesişimi belirlenir. Alternatif lokasyonları sıralamak için İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sipariş Tercihi Tekniği (TOPSIS) yöntemi kullanılmaktadır. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın uygun şarj istasyonu konumlarının seçilmesinde işe yarar bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Politika yapıcılar ve yöneticiler ileriye yönelik planlama ve stratejiler konusunda etkili kararlar alabilmek için bu sonuçlardan yararlanabilirler.

Alkan vd. (2023) çalışmasında, elektrikli araçlar benzinli ve dizel yakıtlı araçlara göre daha ekonomik ve daha çevre dostu araçlar olduğunu ve elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşması ve kolaylaştırılması için şarj istasyonlarının yerleşimini önemini vurgulamaktadır. Alkan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Konya ili sınırları içerisinde kurulması planlanan elektrikli araç (EA) şarj istasyonu için potansiyel yerlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Şarj istasyonu yer seçiminde etkili olan faktörler belirlenmiş; bu faktörler, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Çalışmada dikkate alınan ana kriterler üç temel grupta toplanmıştır: çevresel özellikler, enerji altyapısı ve kentsel özellikler. Mekânsal analizler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu analizler sonucunda Konya ili için uygunluk haritası oluşturulmuştur. Elde edilen harita aracılığıyla, karar vericilere elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu açısından en uygun konumlar önerilmiştir. Böylece, enerji verimliliği, kullanıcı erişilebilirliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından optimal konumların belirlenmesi sağlanmıştır.

Aybirdi (2021), otoparklara ilişkin veriler kullanarak şarj istasyonlarının en uygun lokasyonlarının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kampüsü'nde seçilen lokasyonların potansiyelleri, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri ve uzman görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Çalışmada dört ana kriter altında toplanan on altı kriter ve sekiz alternatif üzerinde AHP ile entegre TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılarak sonuçlara ulaşılmış, bu çıktılar karar vericilerin yatırım kararlarını desteklemek amacıyla sunulmuştur.

Erbaş vd. (2017), çalışmasında lokasyon seçiminde belirleyici kriterler olarak bitki örtüsüne, suya ve heyelana uzaklık, eğim, genleşme olasılığı, deprem riski, arazi maliyeti, elektrikli araç sahipliği, elektrik kesintisine uzaklık, hizmet alanı nüfusu, kavşak ve ana yollara yakınlık, trafo merkezine ve benzin istasyonlarına yakınlık gibi çok sayıda faktörü ele almıştır.

Aşnaz vd. (2021) çalışmasında, Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü'nde elektrikli araçlara yönelik şarj istasyonu altyapısı planlaması üzerine çalışılmış ve uygulama olarak bu bölge modelde kullanmıştır. Araç giriş-çıkış verileri analiz edilerek, kullanıcı alışkanlıkları hakkında anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, kampüs içinde optimum sayıda şarj istasyonunun belirlenmesi amacıyla kuyruk teorisi kullanılmıştır. İstasyonların yerleştirileceği alanlar olarak otoparklar belirlenmiş; doluluk oranları, kapasite ve trafo merkezine olan uzaklık gibi ölçütler dikkate alınmıştır. Bu kriterlerin önceliklendirilmesinde ise FAHP yöntemi tercih edilmiştir ve sonuç olarak alternatif konumlar bu önceliklere göre sıralanmıştır. Alternatif konumlar, bu önceliklere göre değerlendirilmiş; her bir alternatifin performansı ayrıca PROMETHEE ve SMART gibi çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleriyle de analiz edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırılarak, otoparklara şarj istasyonu yerleşiminin ÇKKV yöntemleriyle nasıl optimize edilebileceği ortaya konmuştur.

Güler vd. (2018) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçiminde kullanılabilecek verileri yönetmek için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araştırılmıştır. Çalışma alanı Türkiye'de İstanbul ili sınırlarında bulunan üç komşu ilçe tarafından belirlenmiştir. CBS ile FAHP kullanılarak elektrikli araç şarj istasyonunun yer seçimi problemi çözümü bulunması amaçlanmaktadır.

Bilgilioglu (2022), Ankara ili genelinde elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılmasına yönelik kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile desteklenen Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden yararlanılmıştır. Toplam dokuz kriter temel alınarak yürütülen değerlendirmede; nüfus yoğunluğu, ana yollara yakınlık, yol eğimi, alışveriş merkezlerine erişim, kamu kurumları ve rekreasyon alanlarına yakınlık, arazi değeri, mevcut akaryakıt istasyonlarına yakınlık, ulaşım merkezlerine (örneğin otobüs ve tren istasyonları) erişim ile mevcut otoparklara yakınlık gibi etmenler dikkate alınmıştır. Kriterler arasındaki önem düzeyleri, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP) yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve oluşturulan uygunluk haritası aracılığıyla yeni şarj istasyonları için potansiyel yer alternatifleri ortaya konmuştur.

Chen vd. (2013) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarına erişimin, EV'nin benimsenme oranlarını, kullanım kararlarını, elektrikli mil paylaşımlarını, petrol talebini ve günün belirli saatlerindeki güç tüketimini etkileyeceğini belirtmişlerdir. Puget Sound, Washington, Bölge Konseyi'nin 2006 Hanehalkı Aktivite Anketi'ndeki 30.000'den fazla kişisel yolculuk kaydından elde edilen park bilgileri, halka açık park yerlerini ve sürelerini belirlemek için kullanmışlardır. Regresyon denklemleri, park talebi değişkenlerini, saha erişilebilirliğinin, yerel iş ve nüfus yoğunluğunun, yolculuk özelliklerinin ve çoğu bölgede ve seyahat araştırmalarında mevcut olan diğer değişkenlerin bir fonksiyonu olarak tahmin ettiğini söylemişlerdir. Bu değişkenler elektrikli araç şarj istasyonları için en uygun yer seçiminin belirlenmesi için geliştirilen karma tamsayılı programlama probleminin temel girdileri olduğunu belirtmişlerdir. Algoritma sayesinde karşılanmayan talep cezalandırılırken elektrikli araç kullanıcılarının istasyon erişim maliyetlerini en aza indirilmektedir. Burada geliştirilen modeller hemen hemen her bölge için mevcut olan veri setlerine genelleştirilebilir ve dünya çapındaki istasyon konumları hakkında daha bilinçli kararlar vermek için kullanılabilir.

Erol (2022) çalışmasında, elektrikli araçların petrole bağımlılığın azaltılmasıyla birlikte ülkelerin ekonomilerine katkıda bulunduğunu, ayrıca daha yaşanabilir ve sürdürülebilir kentsel alanlara da katkısı bulunduğu için günümüzde üzerinde çalışılması gereken önemli bir alan olduğunu belirtmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının konum seçimi elektrikli araçların kullanımını geliştirecek ve artıracak en önemli konulardan birisidir. Çalışmanın amacı Coğrafi Bilgi Sistemi

(CBS) tekniklerini ve Çoklu Kriter Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerini bir arada kullanarak elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun konumlarını bulmaktır. Çalışmasında İstanbul ilinin ilçeleri Maltepe, Kartal, Ümraniye ve Ataşehir'i çalışma alanı olarak belirlemiştir. İlk olarak çalışmada kullanılacak kriterlere karar verilmiştir, seçilmiş olan bu kriterlerin ağırlıklarının hesaplaması için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Ağırlıklandırılmış kriterler ve ilçelere ait veri katmanları CBS'nin sağladığı yer seçimi analiz araçları yardımıyla analiz edilmiştir. Sonuç analizinde mevcut çalışma bölgesinde batarya istasyonlarının kurulabileceği alanlar uygunluk derecesine göre belirlenmiştir. Sonuçlar, ileriye dönük planlama ve stratejiler için öneri sunmaktadır. Uygunluk analizi ile belirlenen alanların yardımıyla 14 adet alternatif istasyon lokasyonuna karar verilmiştir.

Genevois vd. (2018) çalışmasında, son yıllarda, petrol fiyatlarının yükselmesi ve çevresel sorunlar nedeniyle, otomobil üreticileri sürdürülebilir ulaşım için elektrikli araçlar sunduğundan bahsetmektedir. Ancak, EV'lere geçiş şu anda çeşitli eksikliklerle karşı karşıyadır; bunlar arasında: EV pillerinin yüksek maliyeti ve sınırlı sürüş menzili ve yetersiz gelişmiş şarj istasyonu altyapısı bulunmaktadır. Bu eksikliklerin üstesinden gelmek için, kritik yerlere yeterli şarj istasyonu kurmak önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin İstanbul ilçelerinde şarj istasyonlarının nereye yerleştirileceği sorunu ele alınmaktadır. Elektrikli araç şarj istasyonunun nereye yerleştirileceği sorunu, birçok kriter ve alternatifin aynı anda dikkate alınması gereken bir karar verme problemi olarak gruplandırılabilir. Bu nedenle, İstanbul'un iki ilçesi olan Kadıköy ve Ataşehir'de on alternatif yer belirlenmiştir. Bu alternatif yerleri birbirleriyle karşılaştırmak için literatür incelemesinden üç ana kriter oluşturulmuştur. Her alternatif yerin bileşik ağırlığını elde etmek ve bunları sıralamak için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodolojisi kullanılmıştır. Daha sonra bu ağırlıklar, kurulacak şarj istasyonu sayısını belirlemek için matematiksel modele girdi olarak kullanılmıştır. Matematiksel model, her alternatif nokta için optimum şarj istasyonu sayısını elde etmek için bütçe ve kapasite kısıtlamaları altında kullanıcı faydasını maksimize etmek üzere formüle edilmiştir. Bu nedenle, matematiksel modelde kullanılan bileşik ağırlıklar, yerleştirilecek şarj istasyonu sayısını etkiler. Son olarak, entegre metodoloji etkili ve sağlam sonuçlar verir.

Wang vd. (2024) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının, araç sahiplerinin enerji tüketimi ve dayanıklılık kaygısı sorunlarını çözmek için şart olduğuna değinmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonları ayrıca fosil yakıtlara dayanmadan kentsel ekonomilerde sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eder. Bu araştırma, elektrikli araçlar (EV'ler) için yer seçimi sorununu ele almak üzere Bayes ağı ile en iyi-en kötü yöntemi (BN-BWM) ve bir coğrafi bilgi sistemini (CBS) entegre eden bir hibrit yaklaşım önermektedir. Bu çalışmanın yeniliği, BN-BWM ve bir CBS kombinasyonuna dayalı yeni bir karar alma yönteminin geliştirilmesinde yatmaktadır. Bu yöntem yalnızca daha yenilikçi olmakla kalmayıp aynı zamanda ağırlık sonuçlarının doğruluğu açısından oldukça işlevsel ve ikna edicidir. Bu araştırma, CS'lerin yer seçimi ve inşası için uygulanabilir ve güvenilir fikirler sunmaktadır. Ayrıca EV şirketlerinin ve hükümet personelinin stratejik planlama yapmasına yardımcı olabilir. Çalışma, geliştirilen hibrit yöntemin Pekin'deki on altı idari bölgede uygulanabilirliğini ve etkinliğini doğruladı. Sonuçlara göre, 1) dokuz kriterden oluşan bir gösterge sistemi kuruldu ve yollar, şarj istasyonları ve eğimler, yer seçimi için en hassas kriterler olarak belirlendi; 2) CS'lerin kurulması için en uygun yerler olarak üç alternatif istasyon belirlendi.

Ghosh vd. (2021) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi için altıgen bulanık çok kriterli karar verme (MCDM) metodolojisinin uygulanması ele alınmıştır. Bu bağlamda, e-arac şarj yeri seçimi için dört faktör ve on üç alt faktör dikkate alınmıştır. Bu çalışmada, coğrafi bilgi sistemi (CBS) MCDM teknikleriyle birleştirilmiştir. Bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP), faktörlerin ve alt faktörlerin bulanık ağırlığını elde etmek için kullanılmıştır. MCDM araçları, ideal çözüme benzerliğe göre tercih sıralaması için bulanık teknik (FTOPSIS) ve bulanık karmaşık orantılı değerlendirme (FCOPRAS), seçilen yerleri sıralamak için kullanılmıştır. Bu makale için, iki altıgen bulanık sayı (HFN) arasındaki bulanıklaştırma ve mesafe ölçümü için bir merkez tabanlı yöntem geliştirilmiştir. Modelin uygulanabilirliğini ve kullanılabilirliğini göstermek için Hindistan, Howrah'daki pratik bir örnek ele alınmıştır. Sonuçlar, önerilen araştırmanın uygunluğunu göstermektedir. Önerilen yöntemin güvenilirliğini, sağlamlığını ve etkinliğini kontrol etmek için karşılaştırmalı ve duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Ju vd. (2018) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi problemi, elektrikli araç endüstrisinin gelişimini teşvik etmede önemli bir rol oynadığından

bahsetmektedir. EVCS yer seçiminin amacı, bazı çelişkili kriterleri göz önünde bulundurarak optimum yeri bulmaktır. EVCS yer seçimi problemindeki bilgi belirsizliğini ele almak için, pozitif üyelik derecesi, nötr üyelik derecesi ve negatif üyelik derecesi olmak üzere üç işlevle karakterize edilen resim bulanık kümesi (PFS) iyi bir seçimdir. Bu makalede, resim bulanık ortamında optimum EVCS yerini değerlendirmek ve seçmek için etkili bir kapsamlı çerçeve önerilmiştir. İlk olarak, sürdürülebilirlik perspektifinden, bazı ana kriterler ve karşılık gelen alt kriterler, mevcut literatüre ve uzmanların deneyimlerine referansla belirlenir. İkinci olarak, resim bulanık sayılarının (PFN'ler) bazı operasyonel yasaları tanımlanır ve resim bulanık ağırlıklı etkileşim geometrik (PFWIG) operatörü geliştirilir. Üçüncüsü, geliştirilen PFWIG operatörüne dayalı kapsamlı resim bulanık karar matrisi daha fazla oluşturulmadan önce, kriterlerin ağırlıklarını ve karşılık gelen alt kriterlerin yerel ağırlıklarını belirlemek için bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) tekniği kullanılır. Daha sonra, her EVCS sahasının göreceli gri ilişkisel projeksiyonunu hesaplamak için geleneksel gri ilişkisel projeksiyon (GRP) yöntemi genişletilir. Böylece, tüm EVCS sahasları sıralanır ve en arzu edilen seçilebilir. Son olarak, önerilen çerçevenin uygulamasını göstermek için Pekin'deki EVCS sahası seçimi hakkında deneysel bir örnek verilir. Sonuçlar, önerilen çerçevenin potansiyel şarj istasyonları arasında uygun EVCS sahasını belirlemek için yararlı olduğunu göstermektedir.

Rani vd. (2021) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonunun optimum konumu, elektrikli araç sektörünün hızlı gelişimini destekleyeceğini ve genellikle, EVCS konum seçimi, birçok nicel ve nitel etki faktörünün varlığı nedeniyle karmaşık belirsiz çok kriterli karar verme (MCDM) problemi olarak ele alındığından bahsetmektedir. Dahası, belirsizlik genellikle EVCS konum seçimi probleminde ortaya çıkar ve Pisagor bulanık kümesinin bir genişlemesi olan Fermatean bulanık kümesi (FFS), insan müdahalesini azaltarak belirsizliği etkili bir şekilde ele alabilir. Bu çalışmanın amacı, FFS bağlamında çok kriterli EVCS konum seçimi problemini çözmek için entegre bir karar verme yöntemi tasarlamaktır. Bu yöntem, tam çarpımsal form (MULTIMOORA) yaklaşımı, maksimize edici sapma yöntemi ve Fermatean bulanık ortamında Einstein toplama operatörleri ile oran analizine dayalı çok amaçlı optimizasyona dayanmaktadır. Aynı zamanda, kriter ağırlıkları maksimize edici sapma yöntemi ile belirlenir. Bunun için, FFS'ler için bir iraksama

ölçüsü sunulmuştur. Karar bilgilerini bir araya getirmek için FFS için bazı yeni Einstein işlemleri önerilmiştir. Mevcut metodolojinin potansiyelini ve kullanılabilirliğini göstermek için, FFS ayarıyla EVCS konum seçimi probleminin açıklayıcı bir çalışmasını yürütülmüştür. Mevcut MULTIMOORA çerçevesini mevcut yöntemlerle karşılaştırmak, elde edilen sonuçların gücünü doğrulamaktadır. Bulgular, tanıtılan yöntemin daha kullanışlı ve mevcut yöntemlerle iyi tutarlı olduğu sonucuna varmaktadır.

Yang vd. (2021) çalışmasında, karbon emisyonu azaltımı elde etmek için elektrikli araçların ve şarj tesislerinin tanıtımı, ulaşım alanında bir araştırma merkezi olduğundan bahsetmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonu (EVCS) konumunun kapsamlı kararını hedefleyen bu çalışmada, şebeke yükü, trafik tesisleri, kullanıcı tercihi, inşaat maliyeti ve hizmet yarıçapı olmak üzere beş endeks içeren bir EVCS konum değerlendirme endeksi sistemi oluşturmuştur. İlk olarak, kesin sayıyı aralık yargı matrisine dönüştürülür, faktörlerin ağırlığını hesaplamak için Shapley bulanık ölçüsünü tanıtılır ve ağırlığı daha da optimize etmek için iki aşamalı optimizasyon modelini kullanmıştır. Pisagor bulanık ortamındaki çoklu kriterli karar verme (MCDM) yöntemini bölümlenmiş normalleştirilmiş ağırlıklı Bonferroni ortalaması (PFPNWBm) operatörüyle birleştirilir ve alternatiflerin performans fonksiyonuna ve doğruluk fonksiyonuna göre optimum sıralaması hesaplanır. Son olarak, alternatif şema değerlendirmesinde birinci dereceden doğrusal optimizasyon ile iki aşamalı optimizasyon arasındaki farkı analiz etmek için sayısal bir örnek kullanılmıştır ve EVCS konumunu değerlendirmek için model kullanmanın pratik değeri doğrulanmıştır.

Yılmaz vd. (2023) çalışmasında, günümüzde yaygın olarak kullanılan petrol ve türevlerini kullanan araçların çevre ve ekonomi üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğunu belirtmiştir. Artan CO2 emisyonu, küresel ısınma ve gürültü kirliliği bu olumsuzlukların sonuçlarıdır. Ayrıca petrol ve petrolden üretilen yakıtların maliyetinin artması sonucu insanlar alternatif enerji kaynakları aramaya başlamıştır. Fosil yakıtlı araçlarla karşılaştırıldığında elektrikli araçlar tercih edilmektedir. Bu nedenle EV'ler sürücülerin ilgisini çekmektedir. Ancak elektrikli araçlara olan talep arttıkça, bunlar için şarj istasyonlarına olan ihtiyaç da artmıştır. Bu bağlamda, şarj istasyonlarının doğru konumlandırılması büyük ekonomik, çevresel ve sosyal öneme sahiptir. Bu çalışmanın amacı, Ankara'daki altı farklı

alışveriş merkezinin şarj istasyonu tahsisinde sıralanmasının önemini belirlemektir. Bu amaçla elektrikli araçlar ve elektrikli araç şarj istasyonlarına ilişkin bir literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra, (I) ekonomik, (II) sosyal ve (III) ulaşım olmak üzere 3 ana kriter altında değerlendirme kriterleri tanıtılmış ve bu ana kriterlere bağlı olarak toplam 10 alt kriter belirlenmiştir. Kriterler değerlendirilmiş ve kriter ağırlıkları, küresel bulanık AHP ve MACBETH aracılığıyla entegre çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Uzmanlar tarafından lokasyon seçiminde kararlaştırılan kriterlerin ağırlıkları bu durumda küresel bulanık AHP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Küresel bulanık AHP yöntemi kriterlere ağırlıklar atar ve daha sonra MACBETH yöntemi dilsel karşılaştırmalar kullanarak alternatifleri sıralamak için kullanılır.

Özçekiç (2024) çalışmasında, elektrikli araçların yaygınlaşması, kullanışlı ve sürdürülebilir bir şarj altyapısına duyulan ihtiyacın önemini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda ÇKKV yöntemlerinden faydalanan optimum elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi problemi üzerinde durmuştur. Çalışmasında, entropi, CoCoSo ve EDAS yöntemlerini kullanmıştır. Altıeylül ilçesini kapsayan bu çalışma 25 potansiyel konumu değerlendirmek için uygulanmıştır. İlk olarak entropi yöntemi her bir kriterin ağırlığını belirlemek için kullanılmış, önem ağırlığı daha yüksek olan kriterlerin karar üzerindeki etkisinin arttırmıştır. Saha erişilebilirliği, hava kalitesinin artması ve kullanıcı konforunun sağlanması gibi kriterler dahil edilmiştir. Bu çalışma kriterlerin değerlendirilmesi ile birlikte optimum elektrikli araç şarj istasyonu için uygun yer seçiminde katkıda bulunmuştur.

Büyükkantarcı vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Kayseri ili Talas ilçesinde elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlarının belirlenmesi, çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi çerçevesinde ele alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda Best Worst Method (BWM) ve MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) yöntemleri kullanılmıştır. BWM yöntemi aracılığıyla kriter ağırlıkları belirlenmiş, MARCOS yöntemi ile ise alternatif konumlar sıralanmıştır. Talas ilçesinde bulunan 30 farklı nokta alternatif konum olarak değerlendirilmiştir. Problem kapsamında dikkate alınan kriterler; nüfus yoğunluğu, mevcut altyapıya uzaklık, yatırım kurulum maliyeti, ana yollara mesafe, park alanlarına erişim, benzin istasyonlarına yakınlık, bölgenin satın alma gücü ve alışveriş merkezlerine uzaklık şeklinde sıralanmıştır. Yapılan analizler sonucunda,

yatırım kurulum maliyeti kriteri en düşük öneme sahipken, altyapıya erişim en yüksek öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. Alternatif konumların öncelik sıralaması elde edilmiş ve Talas ilçesi sınırları içinde önerilen şarj istasyonu lokasyonları ortaya konmuştur. Bu çalışma, benzer nitelikte konum belirleme süreci yürütecek olan yerel yönetimler için uygulanabilir bir model sunmaktadır.

Kaya (2019) tarafından yapılan çalışmada, ulaştırma sektöründe yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların tükenmesi ve çevreye verdikleri zararlar dikkate alınarak, bu kaynakların kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin önemi vurgulanmıştır. Bu kapsamda, elektrikli araçların gelecekteki enerji dönüşümünde önemli bir rol oynayacağı belirtilmiş; menzil, şarj süresi gibi çeşitli kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanması gerekliliği ifade edilmiştir. Elektrikli araçlar için şarj istasyonu noktalarının etkin bir şekilde planlanmasının, mevcut sorunlara yönelik etkili çözümler sunabileceği değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, İstanbul genelinde yürütülen çalışmada; ekonomik, coğrafi, enerjiye erişim, sosyal ve çevresel faktörler gibi toplamda 19 kriter belirlenmiş ve bu kriterlerin şarj istasyonu yer seçiminde etkili olduğu vurgulanmıştır. Tanımlanan parametreler temel alınarak, 100 aday şarj istasyonu noktası CBS desteğiyle modellenmiş ve alternatif konumlar belirlenmiştir. Alternatif alanlar, AHP ve VIKOR gibi çok kriterli karar verme teknikleriyle değerlendirilmiş ve sonuç olarak Avrupa Yakası'nın güneydoğusu ile Anadolu Yakası'nın güney kesimleri, elektrikli araç şarj istasyonları için uygun bölgeler olarak öne çıkmıştır.

Liu vd. (2018) çalışmasında, elektrikli araçların fosil yakıt enerji kaynakları krizine ve çevre kirliliğine çözüm noktasında dünyadaki en iyi teknolojilerden biri olarak kabul edildiğinden bahsetmektedir. Elektrikli araç şarj istasyonunun yer seçimi, önemli bir yere sahip olmasıyla birlikte karmaşık, çok kriterli karar verme (MCDM) problemidir. Bu nedenle, bu çalışma, birbiriyle ilişkili birden fazla kriter açısından en uygun elektrikli araç şarj istasyonu sahasını belirlemek için gri karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı (DEMATEL) ve oran analizi artı tam çarpımsal form (UL-MULTIMOORA) yoluyla belirsiz dilsel çok amaçlı optimizasyon ile yeni bir entegre MCDM yaklaşımı önermeyi amaçlamaktadır. Spesifik olarak, kriter ağırlıklarını belirlemek için gri DEMATEL yöntemi kullanılır ve en uygun alanı değerlendirmek ve seçmek için UL- MULTIMOORA modeli kullanılır. Son olarak, önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini ve etkililiğini

göstermek için Çin'in Şanghay kentinde ampirik bir örnek sunulmaktadır. Sonuçlar önerilen yaklaşımın kullanışlı ve pratik bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Zhao vd. (2016) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının optimum konumlandırılmasının, elektrikli araç sistemlerinin sürdürülebilir gelişimine olan öneminden bahsetmiştir. Öznel faktörlerle mücadelede önceki buluşsal optimizasyon modellerinin kusurları göz önüne alındığında, bu araştırma, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması problemine çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemi kapsamında yaklaşmaktadır. Optimum konumlandırma için başlangıçta belirlenen kriterler, genişletilmiş sürdürülebilirlik teorisi ışığında seçilmekte olup, kritik alt kriterler ise dört aşamalı bulanık Delphi yöntemi kullanılarak sistematik bir biçimde tanımlanmaktadır. Bu kriterler ise ekonomi, toplum, çevre ve teknoloji olarak ayrılmıştır. Öznel faktörlerin ve insan yargısının belirsizliğini ve belirsizliğini tolere etmek amacıyla, optimum elektrikli araç şarj istasyonu bölgesini belirlemek için bulanık Gri ilişki analizi (GRA)-VIKOR yöntemi kullanılır, bu aynı zamanda bulanık VIKOR geleneksel toplama fonksiyonunu da geliştirir. Bunun yanı sıra, nesnel bilgilerin de entegre edilmesi amacıyla uzmanların derecelendirmeleri ve Shannon entropi yöntemi kullanılarak kombinasyonlar belirlenmektedir. Bu çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarının optimal konumlandırılması için kapsamlı ve etkili bir metodoloji geliştirmekte; ayrıca, geleneksel bulanık VIKOR yöntemi kapsamında ağırlık belirleme ve mesafe hesaplama süreçlerine yenilikçi katkılar sağlamaktadır.

Guo vd. (2015) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonu saha seçimi için bazı öznel ancak önemli kriterleri dikkate almak üzere çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemini kullanmıştır. Karar vericilerin öznel yargılarından kaynaklanan belirsizliği yansıtmak için, optimum EVCS sahasını seçmek üzere bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. EVCS saha seçimi için değerlendirme endeksi sistemi, toplam 11 alt kriterle ilişkili çevresel, ekonomik ve sosyal kriterlerden oluşan sürdürülebilirlik perspektifinden oluşturulmuştur. Akademik literatürlere, fizibilite araştırma raporlarına ve farklı alanlardaki uzman görüşlerine başvurulmuştur. Farklı alternatiflerin kriter performansları ve kriter ağırlıkları, çevre, ekonomi, toplum, elektrik enerjisi sistemi ve ulaşım sistemi alanlarında beş grup uzman paneli tarafından değerlendirilmiştir. EVCS saha alternatifleri bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak sıralanmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemini EVCS saha

seçimine uygulamak etkili ve sağlamdır. Bu çalışmada, saha seçimi için yeni bir araştırma perspektifi sunmakta ve ayrıca bulanık TOPSIS yönteminin uygulama alanlarını genişletmektedir.

Wu vd. (2017) alışmasında, elektrikli araç şarj istasyonu (EAŞİ) yer seçimi, Elektrikli Araç (EV) şarjının zor sorununu çözmek için elektrik topluluğunun gelişiminde önemli bir konuma sahip olduğunu belirtmektedir. Var olan araştırmalar tarafından iki kritik sorun zlmemiştir. Birincisi, EVCS yer seçiminin kapsamı yalnızca gerçek durumdan sapan tüm şehri dikkate alır. İkincisi, karar bilgilerinin belirsizliği ve tereddüdü iyi ifade edilmemiştir. Yukarıdaki sorunları ele almak için, bu makale üçgen sezgisel bulanık sayılarla (TIFN'ler) Konut Toplulukları (EVCSRC) için kapsamlı bir EVCS yer seçimi karar erevesi oluşturur. Öncelikle, ekonomi, sosyal, evre, planlama ve konut topluluklarının özellik portresi dahil olmak üzere EVCSRC yer seçimi faktörlerinin ayırt edici endeks sistemi oluşturulur. Ardından, TIFN'ler belirsiz bilgileri ifade etmek için karar vericiler tarafından kullanılır. Alternatif sahalarını sıralamak için Fuzzy-VIKOR yaklaşımı kullanılmıştır. Son olarak da, önerilen saha seçimi çerçevesinin geçerliliğini göstermek için Pekin rneği incelenmiştir. Sonuç, Haidian bölgesindeki Sijiqing topluluğunda bulunan elektrikli araç şarj istasyonu sahasının en uygun saha olarak seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu alışma, yatırımcılara uygulanabilir, kullanımı kolay bir karar verme erevesi sunmaktadır.

Zhao vd. (2023) alışmasında, elektrikli araçların enerji sorununa ve evre kirliliğine yönelik en pratik çözümlerinden biri olduğundan bahsetmektedir. Hızla gelişen elektrikli araçların şarj sorunları ise devam etmektedir. Fotovoltaik şarj istasyonlarının ortaya çıkması, evre kirliliğini ve şarj sorunlarını çözebilir. şarj istasyonlarının konumu, elektrikli araçların yaşam döngüsünde kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, optimum yer seçimi için Coğrafi Bilgi Teknolojisi'ne (CBS) dayalı çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemi önerilmektedir. Kriter ağırlıklarını atamak için bulanık DEMATEL uygulanır. Sonrasında ise potansiyel yerler bulanık MULTIMOORA yöntemi kullanılarak sıralanır. Qingdao'daki elektrikli araç PV şarj istasyonlarının yerleştirilmesiyle model doğrulanmış ve n seçim aşamasında sekiz istasyon belirlendi ve en uygun yerler nihayet MCDM aşamasıyla seçilmiştir. Modelin güvenilirliği ve geçerliliği karşılaştırmalı analiz ve ikili duyarlılık analiziyle de doğrulanmıştır.

Hosseini vd. (2019) çalışmasında, hızlı şarj istasyonlarının elektrikli araçların kamuoyu tarafından kabul edilmesinde önemli bir rol oynadığından bahsetmektedir. Bu çalışmada sürdürülebilir elektrikli şarj istasyon yeri seçimi için yalnızca nicel faktörleri değil aynı zamanda nitel faktörleri de dikkate alan bir Bayes Ağı (BN) modeli önermektedir. Akademik literatüre ve uzman yargılarına dayanarak, EVCS yer seçimi için değerlendirme endeksi esas olarak toplam on bir alt kritere sahip ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri içeren sürdürülebilirlik bakış açısına göre yapılmıştır. BN'ler, belirsizlik altında risk değerlendirmesi ve karar verme için güçlü araçlardır. Geliştirilen BN modeli, duyarlılık analizi yaklaşımıyla doğrulanmıştır. Bu makale, yer seçimi değerlendirmesinde belirsizlik, nitel ve nicel faktörleri göz önünde bulundurarak yeni bir araştırma perspektifi sunmakta ve BN'nin elektrik enerjisi yönetimi bağlamında güçlü bir karar alma aracı olarak ana akım nüfuzunu sunmaktadır.

Zhou vd. (2020) çalışmasında, Fotovoltaik güç üretim sistemi ve elektrikli araç şarj istasyonunun entegrasyonu, yenilenebilir enerjinin yerel tüketimini etkili bir şekilde teşvik edebilir ve EV'nin dolaylı karbon emisyonlarını azaltabileceğinden bahsetmektedir. Bu çalışmada, coğrafi bilgi sistemi ile çok kriterli karar verme yöntemlerini birleştiren PV şarj istasyonunun konum kararı için model kurmayı amaçlamaktadır. Uygulanabilirliğini ve uygulanabilirliğini doğrulamak için Pekin'de deneysel bir çalışma yürütülmüştür. İlk olarak, CBS'nin uygunluk analizi ile önceden yedi uygun alan seçildi. Bu aşama trafik akışına ve yol dağılımına odaklandı. İkinci olarak, daha fazla değerlendirme için MCDM yöntemleri kullanıldı. Bu aşamada, doğal, ekonomik, teknik ve sosyal kriterlerden oluşan kapsamlı bir değerlendirme endeks sistemi oluşturuldu. Değerlendirme bilgilerini toplamak ve tanımlamak için aralık sayısı, üçgen bulanık sayı ve kararsız bulanık dilsel terim kümesi kullanıldıktan sonra kriterlerin öznel ve nesnel ağırlıkları sırasıyla en iyi-en kötü yöntemi ve karışık bilgi entropisi yöntemi ile hesaplandı. Alternatifleri sıralamak için TODIM, modelin kararlılığını ve güvenilirliğini kanıtladı. Senaryo analizi, TODIM yönteminin uygulama kapsamını genişletti ve bu da farklı gerileme katsayıları belirleyerek karar tercihlerini ifade etmenin gerekli olduğunu gösterdi. Bu çalışma, kentsel PVCS'nin yerleşimi için destek sağlayabilir ve GIS ve MCDM yöntemlerinin uygulama alanlarını zenginleştirebilir.

Karaşan vd. (2020) çalışmasında, kirlilik, iklim değişikliği, doğal kaynakların hızla tükenmesi, ormansızlaşma ve küresel ısınmanın dünya çapında büyük sorunlar haline getirdiğinden bahsetmiştir. Petrol bazlı motorlu taşıtlarla ilgili sorunlar ve bu geleneksel ulaşım türü için alternatifler son yıllarda değişmeye başlamıştır. Bu değişiklik süreciyle beraber, elektrikli taşıtlar (EV'ler) çevreye düşük zarar verme etkileri nedeniyle önemli bir yer tutar. EV'ler için şarj istasyonlarının sürdürülebilir olması ve optimum konumun seçilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle süreç, daha geniş çaplı bir yönden ele alınmalı, bazı çelişkili kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çok kriterli karar verme problemi olarak modellenebilen karmaşık bir karar problemidir. Bu tür kriterlerin bir konum seçimine dahil edilmesi, karar verme metodolojisinde bulanık kümelerin kullanılmasını gerektirir. Bu amaçla, bu makalede sezgisel bulanık kümeler kullanılmıştır. Sezgisel bulanık kümelere dayalı karar verme denemesi ve değerlendirme laboratuvarı, analitik hiyerarşi süreci ve ideal çözüme benzerliğe göre tercih sırası tekniğinden oluşan bir karar verme prosedürü, şarj istasyonlarının konum seçimi için önerilmiştir. Önerilen bulanık tabanlı model, Türkiye'de İstanbul için bir vaka çalışmasına uygulanmıştır.

Wu vd. (2016) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonları (EVCS) için yer seçimi görevi, uyumlu ve sürdürülebilir kalkınma perspektifinden son derece önemli olduğundan bahsetmektedir. Bu çalışmada, EVCS yer seçimi için bulut modeliyle birleştirilmiş bir Zenginleştirme Değerlendirmeleri için Tercih Sıralama Organizasyonu Yöntemi (PROMETHEE) olan tabanlı karar sistemi önerilmektedir. PROMETHEE yönteminin kullanımı karar vericiler için güveni ve görünürlüğü artırabilir. İkinci olarak, dilsel terimlerin bulanıklığını ve rastgeleliğini bütünsel ve doğru bir şekilde tanımlamak için bulut modeli önerilir. Son olarak ise parametrelerin ve gerekli adımların büyük ölçüde basitleştirilmiş bir hesaplamasıyla göstergelerin korelasyonunu ölçmek için Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemi benimsenmiştir.

Güler vd. (2020) çalışmalarında, elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun yerlerini bulmak için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tekniklerini ve Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) yöntemlerini entegre eden bir yaklaşım önermektedir. Bu bağlamda, kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP) yöntemleri kullanılmaktadır. Her kriter için iki

farklı ağırlık, çevresel etki ve erişilebilirlik açısından AHP aracılığıyla elde edilirken, her kriter için başka bir ağırlık, FAHP'yi uygulama yoluyla elde edilir. Bütünsel, güvenilir bir sonuç elde etmek için üç farklı uygunluk endeksinin kesişimi belirlenir. İdeal Çözüme Benzerlik Sıra Tercihi Tekniği (TOPSIS) yöntemi alternatif konumları sıralamak için kullanılır. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın uygun şarj istasyonu konumlarının seçilmesi için dikkate değer bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Dahası, politika yapıcılar ve yöneticiler ileriye dönük planlama ve stratejiler için verimli kararlar almak amacıyla bu sonuçlardan faydalanabilirler.

Pradhan vd. (2021) çalışmalarında, bozulan çevre koşulları nedeniyle, kirliliğe neden olan geleneksel yakıtlı araçların çevre dostu Elektrikli Araçlar (EV) ile değiştirilmesi iyileştirme için atılan birçok adımdan biri olduğunu belirtmektedir. İnsanların EV'leri benimseme konusunda isteksiz olmasının birçok nedeni vardır. Geleneksel araçlar için yakıt pompaları gibi optimum aralıklarla uygun EV Şarj İstasyonlarının (EVCS) olmaması önemli bir nedendir. Çalışmada bir EVCS'nin yapımını etkileyen teknik, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler de dahil olmak üzere çok boyutlu yönlerden farklı kriterler ele alınmıştır. Entegre bir modül Bulanık - İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS) ve Kalite Fonksiyon Dağıtımı (QFD) analizi kullanılarak, olası bir EVCS yapımı için seçilen yer belirlenmiştir. Sonuçları sergilemek için yazarlar Kuantum Coğrafi Bilgi Sistemi (Q-GIS) tabanlı bir yaklaşım benimsemişlerdir. TOPSIS'ten sonra elde edilen sonuçlar geçerliliğini kontrol etmek için bir kıyaslama Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) yaklaşımı kullanılarak daha da kontrol edilmiştir. Bu çalışmada önerilen metodoloji modülü benzer amacı taşıyan herhangi bir çalışmada kullanılabilir.

Karolemeas vd. (2021) çalışmasında, şehirlerde fosil yakıtlı bir araç filosundan çevre dostu bir araç filosuna geçiş, daha sürdürülebilir bir geleceğe giden yolu açabildiğinden bahsetmektedir. Bu nedenle Elektrikli Araçlar (EV'ler) önceliklendirilmeli, böylece geleneksel araçların yerini kademeli olarak alabilirler. Bu bağlamda, tüm sistemin işlevselliğini sağlayan EV'ye uygun bir altyapı esastır. Bu çalışma, kentsel ortamlarda EV şarj noktalarının konumlandırılması için uygun yerleri belirlemek üzere bir metodolojik çerçeve geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu hedefe ulaşmak için sistematik bir literatür incelemesi, tematik olarak analiz edilen 12 yarı yapılandırılmış paydaş görüşmesi ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) içeren

karma bir yöntem yaklaşımı edindik. Sonuç, EV şarj noktalarının kurulmasına izin verecek her kentsel yol bağlantısının uygunluğunu tahmin etmek için parametreler ve ağırlıklardan oluşan bir mekansal model işlevidir. Sonuçlar, temel konum seçimi faktörlerinin şunlar olduğunu göstermektedir: ulaşım merkezleri, işaretli veya kontrollü park yerleri ve ilgi noktaları. Daha az önemli faktör ise kamu hizmetleridir. Bu nedenle, paydaş düzeyinde, arazi kullanımı özelliklerine kıyasla ulaşım özellikleri tercih edilmektedir (%31'e kıyasla %69). Bu araştırma Yunanistan'da yürütülse de, daha küresel bir bağlam için geçerli ve geliştirilebilir olabilecek yöntemler önermeyi ve değerli bulgular üretmeyi amaçlıyoruz.

Cui vd. (2018) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonları (EVCS) için yer seçiminin, elektrikli araçlar için şarj tesislerinin inşası için alternatifler arasında en uygun yeri belirleme süreci olduğundan bahsetmektedir. Birden fazla çelişen kriterin dikkate alınmasını gerektiren karmaşık bir çok kriterli karar verme (MCDM) problemi olarak kabul edilebilir. Gerçek dünyada, karar vericilerin tercihlerini kesin sayısal değerlerle tahmin etmeleri genellikle zor veya imkansızdır. Bu nedenle, Pisagor bulanık küme teorisi, pratik karar alma problemlerinde belirsiz verileri ve belirsiz ifadeleri ele almak için sıklıkla kullanılmıştır. Bu makalede, EVCS yer seçimi problemlerini çözmek için bir Pisagor bulanık VIKOR (PF-VIKOR) yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, alternatiflerin değerlendirmeleri, Pisagor bulanık değerleri (PFV'ler) ile karakterize edilen dilsel terimler olarak verilmiştir. Özellikle, alternatif yerleri sıralamak için fayda ve pişmanlık ölçümlerini hesaplamak üzere geliştirilmiş Pisagor bulanık sıralı ağırlıklı standartlaştırılmış mesafe operatörü önerilmiştir. Son olarak, önerilen EVCS oturma modelini göstermek için Çin'in Şanghay kentinden pratik bir örnek eklenmiş ve sonuçlar diğer ilgili yöntemlerle karşılaştırılarak avantajları vurgulanmıştır.

Literatür taraması sonucu elde edilen bilgiler doğrultusunda, elektrikli araç şarj istasyonu için uygun yer seçimi probleminde kullanılan tüm kriterler Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1 EA şarj istasyonu uygun yer seçiminde kullanılan kriterler

1	Park kapasitesi	31	Konum emniyeti ve güvenilirliği	61	Güç denge seviyesi
2	Servis kapasite seviyesi	32	Kamuoyunun kabulü	62	Elektrik arıza süresi
3	Gelecekteki kapasite artırım olasılığı	33	Hükümet desteği	63	Elektrik altyapısı
4	Erişilebilirlik	34	Petrol istasyonlarına yakınlık	64	Nüfus yoğunluğu
5	Trafik akışı	35	Enerji tasarrufu	65	Kamusal alanlara yakınlık
6	Trafik durumu	36	Trafo merkezlerine yakınlık	66	Sosyal fırsat
7	Tercih edilebilirlik	37	Mevcut elektrikli şarj istasyonlarına yakınlık	67	Alışveriş merkezlerine yakınlık
8	Kentsel yol ağı ve elektrik şebekesi	38	Güneş enerjisi	68	Park alanlarına yakınlık
9	İnsan yaşamına etki (örneğin elektromanyetik alan)	39	Cinsiyet	69	Ulaşım/taşıma istasyonlarına yakınlık
10	Değişkenliğe duyarlılık	40	Yaş grubu	70	Okula yakınlık
11	Eğitim	41	Eğitim seviyesi	71	Ana yollara yakınlık
12	Topoğrafya	42	Araç yoğunluğu	72	Kurulum maliyeti
13	Jeoloji ve toprak tipi	43	Stiker ihlal oranı	73	Arazi kullanımı
14	Atık deşarjı	44	Park yapılamaz ihlal oranı	74	Yıllık operasyon ve bakım maliyeti
15	Katı atık yönetimi	45	Yol ağları	75	Yatırım geri ödeme süresi
16	Bitki örtüsü ve su üzerindeki tahribat derecesi	46	Kavşak	76	İstasyon geliştirme maliyeti
17	Radio paraziti	47	Yürüme mesafesi	77	Gelir oranları
18	Emisyon azaltımı	48	Park alanları	78	Elektrikli araç sayısı
19	Ekolojik etki	49	Ekipman teknoloji seviyesi	79	Araç şarj etme maliyeti
20	Ortalama sıcaklık	50	Talep yanıtlama yeteneği	80	Toplu taşıma maliyeti
21	Gürültü kirliliği	51	Trafo merkezi kapasitesi		
22	Hava kalitesi	52	Trafo merkezine olan mesafe		
23	Genleşme olasılığı	53	Acil durum desteği		
24	Kaynak kullanımı	54	Güç kalitesi etkisi		
25	Kaynak geri dönüşümü	55	Sistem güvenliği		
26	Orman alanlarına yakınlık	56	Sistem güvenilirliği		
27	Fay hatlarına yakınlık	57	Güç güvenilirliği		
28	Heyelan alanlarına yakınlık	58	Güç erişilebilirliği		
29	Su kaynaklarına yakınlık	59	Elektrik şebekesine etki		
30	İstihdam	60	Gerilim dalgalanması		

Tablo 2.1 'de verilen kriterler elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimi problemine yönelik yapılan literatür taramasında incelenmiş olan 34 farklı akademik çalışmanın çıktısı olarak 80 adet kriter belirlenmiştir. Kriterlerin içeriklerinin benzeştiği ancak kelime olarak benzerlik gösteren ya da anlamı aynı olan kriterler tek bir kriter olarak indirgenmiştir.



Tablo 2.2 EA şarj istasyonu uygun yer seçiminde kullanılan kriterlerin kullanım sıklığı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Alkan, Atiz, Durduran (2023)										✓																✓	✓	✓
Aybirdi (2021)	✓			✓		✓																						
Erbaş ve ark (2018)										✓													✓			✓		✓
Aşnaz, Özdemir (2021)	✓						✓		✓																			
Güler ve Yomralıoğlu (2018)										✓																✓		
Bilgilioglu (2022)										✓																		
Chen ve ark. (2013)	✓			✓			✓		✓																			
Erol (2022)										✓																✓		
Sierpiński ve ark. (2020)																												
Özçekiç (2024)						✓																						
Büyükkantarci ve Şenyiğit (2022)																												
Kaya (2019)										✓													✓			✓	✓	✓
Liu ve ark. (2018)		✓						✓					✓		✓	✓							✓					
Zhao ve ark (2016)		✓		✓		✓	✓						✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓						
Guo ve ark (2015)		✓				✓							✓		✓	✓			✓	✓								
Wu ve ark (2017)		✓	✓	✓														✓	✓									
Zhao ve ark (2023)		✓	✓	✓																✓								
Hosseini ve ark (2019)		✓				✓							✓		✓							✓						
Zhou ve ark (2020)			✓																	✓								
Karaşan ve ark (2020)		✓		✓	✓	✓	✓									✓												
Wu ve ark (2016)		✓	✓	✓							✓	✓	✓					✓										
Güler ve Yomralıoğlu (2020)										✓																✓		
Feng ve ark (2021)		✓				✓							✓		✓							✓		✓	✓			
Pradhan ve ark (2021)		✓				✓						✓		✓								✓						
Karolemeas ve ark (2021)	✓									✓																✓	✓	✓
Cui ve ark (2018)		✓	✓															✓	✓					✓				
Genevois ve ark (2018)	✓			✓		✓																						
Wang ve ark (2024)	✓									✓																✓		
Ghosh ve ark (2021)	✓																				✓	✓						
Ju ve ark (2018)		✓	✓					✓	✓				✓		✓			✓										
Rani ve ark (2021)		✓	✓					✓	✓				✓		✓			✓										
Yang ve ark (2021)		✓			✓		✓	✓																				
Yılmaz ve ark (2023)	✓			✓		✓																						

Tablo 2.2 EA şarj istasyonu uygun yer seçiminde kullanılan kriterlerin kullanım sıklığı (devamı)

	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
Alkan, Atiz, Durduran (2023)	✓					✓		✓	✓																			
Aybirdi (2021)														✓	✓	✓					✓	✓						
Erbaş ve ark (2018)	✓					✓		✓	✓					✓														
Aşnaz, Özdemir (2021)								✓																				
Güler ve Yomralıoğlu (2018)						✓																						
Bilgilioglu (2022)						✓																						
Chen ve ark. (2013)						✓			✓																			
Erol (2022)						✓																						
Sierpiński ve ark. (2020)						✓																						
Özçekiç (2024)																												
Büyükkantarci ve Şenyiğit (2022)						✓																						
Kaya (2019)	✓					✓		✓	✓	✓							✓	✓		✓								
Liu ve ark. (2018)																												
Zhao ve ark (2016)																							✓	✓		✓		
Guo ve ark (2015)																								✓				
Wu ve ark (2017)																								✓				
Zhao ve ark (2023)																												
Hosseini ve ark (2019)			✓	✓																								
Zhou ve ark (2020)				✓	✓																							
Karaşan ve ark (2020)			✓														✓											
Wu ve ark (2016)	✓			✓	✓		✓																	✓		✓		
Güler ve Yomralıoğlu (2020)						✓														✓								
Feng ve ark (2021)					✓																						✓	✓
Pradhan ve ark (2021)		✓		✓																								
Karolemeas ve ark (2021)	✓					✓		✓			✓	✓	✓				✓		✓									
Cui ve ark (2018)			✓				✓	✓																				
Genevois ve ark (2018)																												
Wang ve ark (2024)									✓																			
Ghosh ve ark (2021)						✓																						
Ju ve ark (2018)			✓																						✓			✓
Rani ve ark (2021)			✓																						✓			✓
Yang ve ark (2021)																												
Yılmaz ve ark (2023)																	✓											

Tablo 2.2 EA şarj istasyonu uygun yer seçiminde kullanılan kriterlerin kullanım sıklığı (devamı)

	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Alkan, Atiz, Durduran (2023)								✓	✓						✓									
Aybirdi (2021)																	✓	✓						
Erbaş ve ark (2018)								✓							✓		✓							
Aşnaz, Özdemir (2021)																								
Güler ve Yomralıoğlu (2018)								✓			✓	✓	✓		✓		✓				✓			
Bilgilioglu (2022)								✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓							
Chen ve ark. (2013)								✓																
Erol (2022)								✓			✓	✓			✓		✓							
Sierpiński ve ark. (2020)								✓			✓	✓		✓	✓									
Özçekiç (2024)							✓	✓				✓			✓	✓	✓							
Büyükkantarcı ve Şenyiğit (2022)								✓			✓	✓			✓	✓	✓							
Kaya (2019)								✓			✓	✓					✓				✓	✓		
Liu ve ark. (2018)																✓		✓						
Zhao ve ark (2016)				✓	✓			✓								✓	✓	✓	✓		✓			
Guo ve ark (2015)					✓											✓		✓	✓					
Wu ve ark (2017)													✓			✓		✓	✓					
Zhao ve ark (2023)			✓													✓		✓	✓					
Hosseini ve ark (2019)						✓		✓								✓	✓	✓						
Zhou ve ark (2020)			✓													✓			✓					
Karaşan ve ark (2020)																✓	✓	✓	✓	✓				✓
Wu ve ark (2016)																✓		✓	✓					
Güler ve Yomralıoğlu (2020)								✓			✓		✓		✓		✓				✓			
Feng ve ark (2021)																✓		✓	✓					
Pradhan ve ark (2021)	✓	✓						✓								✓	✓	✓						
Karolemeas ve ark (2021)								✓					✓								✓			
Cui ve ark (2018)													✓			✓		✓	✓					
Genevois ve ark (2018)																✓		✓						
Wang ve ark (2024)								✓			✓		✓		✓						✓			
Ghosh ve ark (2021)								✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓						
Ju ve ark (2018)	✓							✓					✓			✓		✓	✓	✓	✓			
Rani ve ark (2021)	✓							✓					✓			✓		✓			✓			
Yang ve ark (2021)																✓								
Yılmaz ve ark (2023)								✓		✓	✓										✓	✓	✓	

Tablo 2.1’de verilen kriterlerin kullanım sıklığı Tablo 2.2 ‘de gösterilmiştir. En üst satırda bulunan numaralar Tablo 2.1’de verildiği gibi sırasıyla kriterleri ifade etmektedir. Tablo 2.2’ye göre “nüfus yoğunluğu” kriteri 34 farklı çalışmada 20 defa kullanılmıştır. Kriterler arasında kullanım sıklığı en çok olan kriter “nüfus yoğunluğu” olmuştur. “Kurulum maliyeti” kriteri ise 19 defa kullanılarak en çok kullanılan 2. kriter olmuştur. “Yıllık operasyon ve bakım maliyeti” kriteri ise 16 defa kullanılarak en çok kullanılan ilk üç kriter arasında yer almıştır. Tüm kriterler arasından 25 kriter yalnızca 1 defa kullanılmıştır. Bu kriterler arasında “topoğrafya”, “kaynak geri dönüşümü”, “yaş grubu”, “yürüme mesafesi” gibi kriterler yer almaktadır. Kriterler ve kullanım sıklıkları çalışmanın yapıldığı alan ve koşullara göre değişiklik göstermektedir.

2.4 Araştırma Boşluğu

Literatür taraması sonucunda, elektrikli araçların menzillerinin çevresel koşullara göre değişkenlik gösterebileceği belirlenmiştir. Bu kapsamda, menzili etkileyen en kritik iki faktör olan sıcaklık ve sürüş hızı, bu çalışmada modelleme girdisi olarak ele alınmıştır. Söz konusu parametreler kullanılarak, bulanık çıkarım sistemi (Mamdani tipi) ile MATLAB ortamında iyi, kötü ve tüm olası senaryolara göre optimum menzil değerleri k hesaplanmıştır.

Ancak, yapılan literatür incelemesinde, sıcaklık ve hız faktörlerinin birlikte değerlendirilerek dinamik sürüş menzili üretimi ve bu değerlerin elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimine doğrudan entegre edildiği kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle çalışma, literatürde bir boşluğu doldurma amacı taşımaktadır.

Hesaplanan menzil değerleri, küme kapsama yöntemi aracılığıyla GAMS yazılımı kullanılarak Ege Bölgesinde şehirlerarası otoyollar için optimum şarj istasyonu lokasyonlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Daha sonra bu lokasyonlar, çok kriterli karar verme (ÇKKV) sürecine dahil edilerek değerlendirilmiştir. ÇKKV yöntemlerinden DELPHI, SWARA ve bulanık TOPSIS sırasıyla uygulanmış, bu kapsamda 80 farklı yer seçimi kriteri literatürden toplanmış ve uzman görüşleri doğrultusunda 21 tanesi çalışmaya dahil edilmiştir.

Bu yönüyle çalışma, yalnızca statik değil, dinamik koşullar altında optimize edilmiş menzil değerlerini şarj altyapısı planlamasına entegre eden ilk uygulamalardan biri olması açısından özgün katkı sunmaktadır. Bu çalışmanın her bir adımında farklı bir bilimsel metot kullanılarak literatürde entegre bir yöntem boşluğunu doldurmayı amaçlanmıştır.

2.5 Araştırma Soruları

Bu çalışma aşağıda verilen sorulara cevap bulmayı hedeflemektedir:

- Elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu için sürüş menzil değerinin önemi nedir?
- Şehirlerarası otoyollarda elektrikli araçların sürüş menziline etkileyen başlıca iç ve dış parametreler nelerdir ve özellikle dış çevresel faktörlerin (sıcaklık, yol eğimi, hız) menzil üzerindeki etkileri ne düzeydedir?
- Farklı parametrelerle değişkenlik gösterebilen, kesin değerlerin ifade edilmediği yani belirsizlik içeren durumlarda girdilerin hesaplanmasında hangi yöntemlerden faydalanılması model için anlamlı olur?
- Elektrikli araçlarda (EV) dış faktörlerin (sıcaklık, hız) kantitatif bir modele entegrasyonun etkileri nelerdir?
- Sürüş menziline bağlı olarak minimum sayıda gerekli olan istasyon sayısı nasıl tayin edilebilir?
- Kaynakların kısıtlı olduğu durumda ve aynı anda tüm belirlenmiş lokasyonlara elektrikli araç şarj istasyonu kurulamayacağı durumda önceliklendirme nasıl yapılmalıdır?
- Şehirlerarası otoyollarda elektrikli araç şarj istasyonu için uygun yer seçiminde hangi kriterler dikkate alınmalıdır?
- Şehirlerarası otoyollarda elektrikli araç şarj istasyonu için uygun yer seçiminde dikkate alınacak kriterlerin önem dereceleri nasıl hesaplanır?
- Şehirlerarası otoyollarda elektrikli araç şarj istasyonu için uygun yer seçiminde dikkate alınacak alternatiflerin sıralanması hangi metotla yapılmalıdır?
- Elde edilen sonuçlar ve uygulamalardan hareketle gelişmekte olan ülkelerin enerji güvenliği ve ulaşım alanında atabileceği stratejik adımlar nelerdir?

Bu araştırma kapsamında yukarıdaki sorulara cevap verilerek şehirlerarası otoyollarda elektrikli araç şarj istasyonu için optimum istasyon sayısı bulunacak ve bu istasyonların önceliklendirilmesi hakkında tez çalışması yürütülecektir.



3.1 Küme Kapsama Modeli

Küme Kapsama Modelinin (KKM-Set Covering Location Model) amacı tüm hizmet bölgelerini belirli bir hizmet düzeyinde kapsayacak en az sayıdaki istasyonu tespit etmektir. Deterministik konum kümesi kapsama problemi, her talep noktasının başlangıçta bir zaman veya mesafe standardı içinde konuşlandırılmış en az bir sunucuya sahip olması için minimum sunucu sayısını ve konumlarını arar. Sunucuların sıklıkla meşgul olduğu bir ortamda, problem olasılıksal konum kümesini arzulama problemi olarak ele alınabilir. Olasılıksal formülasyonda, kapsama kısıtlaması bir kullanılabilirlik kısıtlaması haline gelir: her talep noktasının alfa güvenilirliğiyle zaman standardı içinde gerçekten kullanılabilir bir sunucuya sahip olması gereksinimi. Gerekli sunucu sayısını en aza indirme amacı aynı kalır. Bu problemin daha önceki olasılıksal bir ifadesi, sunucu kullanılabilirliklerinin bağımsız olduğunu varsayıyordu (Marianov vd., 1994).

Jeong çalışmasında, bir trafik ağındaki alternatif yakıtlı araçlar için yakıt ikmal istasyonu konum problemini ele almaktadır. Alternatif yakıtlı araçlar, tam kapasitede yakıtla gidilebilecek mesafeyi sınırlayan araç menzili ile karakterize edilebilir. Yakıt ikmal istasyonu yeri probleminin optimal bir özelliği kullanarak etkili bir formülasyonunu önermektedir. Toplam istasyon sayısını en aza indirecek şekilde yakıt ikmal istasyonu konumlarını belirlenmektedir. Daha önce belirlenmiş başlangıç nokta-variş nokta, gidiş-dönüş yolculuklarının trafik ağında mevcutta yakıt ikmal istasyonu bulunmadığı halde uygulanabilecek en uygun algoritmayı ve dinamik programlama tabanlı bir algoritma önerilmektedir. Yakıt ikmal istasyonlarının yayılmasını incelenmesi, istasyon kurulum hızını ve menzilini tahmin etmek için algoritmaları bir trafik ağına uygulanmıştır (Jeong, I.J.,2016).

m satırlı, n sütunlu, sıfır-bir matrisin (a_{ij}) satırlarını sütunların bir alt kümesiyle minimum maliyetle örtme problemi olan küme kapsama problemi (SCP) ele alındığında;

$$\text{Minimize:} \quad \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.2)$$

$$x_j \in (0,1), \quad j = 1, \dots, n. \quad (3.3)$$

Problem resmi olarak şu şekilde tanımlanabilir:

Denklem 3.1 problemin minimizasyonunu amaçlayan fonksiyonu ifade eder. Denklem 2, her satırın en az bir sütun tarafından kapsanmasını sağlar ve denklem 3 bütünlük kısıtlamasıdır (Beasley, J. E., 1987).

1.1.1 Çalışmada Kullanılan GAMS Programı

Günümüzde, cebirsel modelleme dilleri matematiksel programlama problemlerini temsil etmenin ve çözmenin en iyi yolu olarak yaygın olarak kabul edilmektedir. Başlıca ayırt edici özellikleri ilişkisel cebirin kullanımı ve çok boyutlu, çok büyük ve seyrek yapılar üzerinde kısmi türevler sağlama yeteneğidir.

GAMS programları, veri yapılarını, başlangıç değerlerini, veri değişikliklerini ve sembolik ilişkileri (denklemler) tanımlayan bir veya daha fazla ifadeden oluşur. İfadelerin düzenlenmesi gereken sabit bir sıra olmasa da, veri değişikliklerinin gerçekleştirildiği sıra önemlidir. Semboller kullanılmadan önce tür olarak bildirilmeli ve atama ifadelerinde başvurulabilmesi için atanmış değerlere sahip olmalıdır. Son ifade hariç her ifadenin ardından noktalı virgül gelir; son ifadede noktalı virgül isteğe bağlıdır. GAMS (General Algebraic Modeling System), karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan güçlü ve kullanışlı bir cebirsel modelleme sistemidir. Bu çalışmada, GAMS yazılımı aracılığıyla yer seçim problemlerinin çözümünde sıklıkla başvuru yapılan yöntemlerden biri olan "küme kapsama modeli"nden yararlanılmıştır. Bu model, belirli sayıda hizmet noktasının, tüm talep noktalarını asgari sayıda konumla kapsayacak şekilde seçilmesini amaçlayan deterministik bir optimizasyon yaklaşımıdır (Brooke, A. vd., 1998).

Bu çalışmada, karmaşık matematiksel modellerin çözümü için GAMS (General Algebraic Modeling System) yazılımı kullanılmıştır. GAMS, büyük ölçekli

optimizasyon ve doğrusal olmayan programlama problemlerini tanımlama ve çözme konusunda güçlü bir araçtır. Modelin matematiksel yapısı GAMS dilinde formüle edilmiş, problem parametreleri ve kısıtları detaylı şekilde tanımlanmıştır. GAMS, modelin hızlı ve etkin bir şekilde çözülmesini sağlayarak, deneysel analizlerin gerçekleştirilmesine ve sonuçların güvenilir şekilde elde edilmesine olanak sağlamıştır. Yazılımın esnek yapısı sayesinde farklı çözüm algoritmaları denenmiş ve en uygun sonuçlara ulaşılmıştır.

3.2 Bulanık Çıkarım

Bulanık mantık, havacılık ve uzay mühendisliği, otomotiv trafik kontrolü, iş karar alma, endüstriyel süreçler, yapay zeka ve makine öğrenimi dahil olmak üzere geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılır. Klasik mantıkta her ifadenin mutlak bir değeri olmalıdır: doğru veya yanlış, soğuk ya da sıcak, açık ya da kapalı. Bulanık mantıkta ise klasik mantığın oluşturduğu keskin dünyayı, serin ya da ılık, az açık ya da az kapalı gibi belli üyelik dereceleri atayarak gerçek dünyamıza yansıtmayı ve daha yaklaşık temsil eden sistemler oluşturmayı başarmıştır (Karanfil, 1994).

Yıldırım ve arkadaşları çalışmasında, enjeksiyon basıncı ile serbest basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi modellemek için Sugeno tipi bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, Sugeno sisteminin sayısal kesin sonuçlar sağladığını ve hesaplama açısından avantajlı olduğunu vurgulamaktadır (Yıldırım vd., 2021).

Klasik mantıktan farklı bir yaklaşım sunan bulanık mantık, dünyayı anlamada zihinsel bir çerçeve sağlar ve bu bağlamda felsefe ile fiziğin betimleyici gücünden faydalanır. Geleneksel "siyah-beyaz", yani 0 ve 1 şeklindeki keskin değerlerin aksine, bulanık mantıkta 0 ile 1 arasında yer alan sonsuz sayıda ara değer dikkate alınması esastır. Bu yaklaşım, renklerin tonları gibi geçişleri, sürekliliği ve birbirini izleyen farklı durumları nicel biçimde ifade etmeyi olanaklı kılar (Karataş, 2018).

Öztürk ve arkadaşları çalışmasında, Mamdani tabanlı Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) önererek, araç is karbondioksit emisyonlarının tahmininde kullanılmasını incelemiştir. Mamdani ANFIS'in, Sugeno ANFIS'e kıyasla daha az eğitim süresi ve daha düşük hata oranlarıyla daha verimli olduğu belirlenmiştir (Öztürk vd., 2021).

Ponsadai Lakshmi ve arkadaşları çalışmasında, mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi (MFIS) kullanarak sulama amaçlı kullanılan yeraltı suyu kaynaklarının kalitesini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. MFIS, ekonomik, sosyal ve doğal sistemlerdeki belirsizlikleri ve belirsizlikleri çözmek için kullanılır ve ayrıca insan muhakemesi ve düşünce süreçlerine benzer şekilde uzman bilgisinin yakalanmasını kolaylaştırır. Bu çalışmada, 2016 ile 2019 yılları arasında Hindistan'ın Tamil Nadu eyaletindeki Mayiladuthurai bölgesindeki çeşitli yerlerden 20 yeraltı suyu örneği toplandı ve toplanan su kaynaklarının sulama için uygunluğunu değerlendirmek amacıyla fiziksel ve kimyasal analizler yapıldı. Analiz, elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorpsiyon oranı değerlerini birleştiren Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemini kullanır. Bu sayede, Mayiladuthurai'deki yeraltı suyu kalitesi bu yöntemle sulama kullanımı için derecelendirilmiştir. Sonuçlar, MFIS'nin bulanık üyelik fonksiyonu aracılığıyla veri işlemedeki belirsizliği ve yanlışlığı azalttığını göstermektedir. Sulama uygunluğu sonuçlarının karşılaştırılması, önerilen MFIS yönteminin incelenen yeraltı suyu kaynaklarının sulama suyu kalite düzeyinin geliştirilmiş bir değerlendirmesini sunduğunu açıkça göstermektedir (Ponsadai Lakshmi vd., 2024).

3.2.1 Çalışmada Kullanılan MATLAB Programı

Bulanık çıkarım için kullanılan MATLAB, mühendislerin ve bilim adamlarının dünyamızı dönüştüren sistem ve ürünleri analiz etmeleri ve tasarımları için özel olarak tasarlanmış, hesaplamalı matematiğin en doğal ifadesine izin veren matris tabanlı bir programlama dilidir. MATLAB ile birlikte veri analizleri yapılır, algoritmalar geliştirilir, modeller ve uygulamalar oluşturulur (MathWorks, 2024).

Bu çalışmada MATLAB uygulamasının Mamdani tipinden faydalanarak bulanık çıkarım metodu uygulanmıştır. Modelleme ve simülasyonlar MATLAB (MathWorks, 2024) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.3 DELPHI

Delphi teknik, bilimsel araştırmalarda, yönetim, tıp, askeri konular ve eğitimin çeşitli alanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Eski Yunan'da, geleceğe ilişkin tahminlerde bulunan ünlü bir Yunanlı kahinin yaşadığı yerden adını almıştır (Bahar vd., 2021).

3.4 SWARA

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) yöntemi uygulanırken, değerlendirmeyi gerçekleştiren kişilerin konuya ilişkin uzmanlığa sahip olmaları büyük önem taşımaktadır. Bu sayede, kriterlerin sıralaması daha tutarlı ve nesnel bir biçimde yapılmakta; yöntemin güvenilirliği artmaktadır. SWARA yönteminin en önemli avantajları arasında, matematiksel işlemlerinin uygulanabilirliğinin kolay olması ve kriter ağırlıklarının belirlenmesinde uzman görüşlerine dayalı bir yaklaşım sunması yer almaktadır (Keršulienė vd., 2010).

Adım 1: Kriterler en önemliden başlamak üzere sıralanır.

Adım 2: İkinci kriterden başlayarak, her bir kriter için göreceli önem düzeyleri belirlenir. Bunun için, j kriteri ile bir önceki kriter ($j - 1$) karşılaştırılır. Bu oran s_j simgesi ile göstermiştir (Çakır, 2017).

Adım 3: Katsayı olan K_j , denklem 3.4'te yer alan eşitlik uygulanarak hesaplanır.

$$K_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ S_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

Burada S_j göreceli önem derecesini ifade eder. Bir kriterin, önceki kritere göre ne kadar daha az önemli olduğunu gösterir.

K_j ise, S_j 'ye bağlı olarak dönüştürülmüş katsayıdır. Bu katsayı, kriterlerin göreceli önemlerini normalize ederken kullanılır.

Adım 4: Önem vektörü w_j , denklem 3.5 uygulanarak hesaplanır.

$$w_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{K_{j-1}}{K_j} & j > 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

Adım 5: Kriterlere ait ağırlıkları ifade eden q_j 'nin hesaplama işlemi ise denklem 3.6 uygulanarak hesaplanır.

$$q_j = \frac{w_j}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (3.6)$$

3.5 Bulanık TOPSIS

Bulanık TOPSIS yöntemi, kesin olmayan bulanık durumlarda, birden fazla kişinin karar vermesi sonucunda elde edilen dilsel ifadelerle yapılmış değerlendirmelerin

üyelik derecelerini sayısal forma dönüştüren bir aday ya da alternatif için karar verme yöntemidir. Bulanık TOPSIS metodunda alternatifler ya da adayların yakınlık katsayıları 0 ile 1 arasında değer alır. Bu değer 1'e ne kadar yakın olursa alternatif ya da adayın seçilme ihtimali de o kadar kuvvetlenir. Bulanık TOPSIS 2000 yılında Chen tarafından geliştirilmiştir (Ecer, 2006). Karar vericilerin alternatif değerlendirmelerinde kullanılan dilsel ifadelerin üçgen bulanık sayı olarak karşılık geldikleri değerler Tablo 3.1'de verilmiştir (Chen, 2000).

Tablo 3.1 Bulanık TOPSIS yönteminde kullanılan dilsel ifadeler ve bulanık sayılar

Dilsel ifadeler	Bulanık sayılar ($\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u}$)
Çok düşük	(0; 0; 1)
Düşük	(0; 1; 3)
Orta derecede düşük	(1; 3; 5)
Orta	(3; 5; 7)
Orta derecede yüksek	(5; 7; 9)
Yüksek	(7; 9; 10)
Çok yüksek	(9; 10; 10)

Tablo 3.1'de verilen dilsel ifadeler, karar vericinin değerlendirmeyi yaparken kullanacağı ifadelerdir. Karar vericinin dilsel ifade kullanarak yaptığı değerlendirmeden sonra dilsel ifadeye karşılık gelen bulanık sayı ile matematiksel işlemlere devam edilir. Burada üçgen bulanık sayı ($l; m; u$) şeklinde ifade edilir. Sol değer yani l minimum değeri, orta değer yani m optimum değeri, sağ değer yani n değeri de maksimum değeri ifade etmektedir.

Dilsel değişkenler kullanılarak kriterlere ağırlıklar atandıktan ve (0,1) aralığında tanımlanan bulanık sayılardan oluşan karar matrisleri oluşturulduktan sonra bulanık TOPSIS aşağıdaki adımlar izlenerek formüle edilir (Haddad vd., 2021):

Adım 1: normalize edilmiş bulanık karar matrisinin oluşturulması.

$\tilde{R}$ 'yi normalize edilmiş bulanık karar matrisi denklem 3.7 hesaplanarak bulunur.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.7)$$

Fayda ve maliyet kriterleri için normalleştirilmiş değerler denklem 3.8 ve denklem 3.9'da sırasıyla şöyledir:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right) \quad \text{fayda kriteri} \quad (3.8)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \quad \text{maliyet kriteri} \quad (3.9)$$

Burada fayda kriteri için $c_j^+ = \max\{c_{ij}\}$ ve maliyet kriteri için $a_j^- = \min\{a_{ij}\}$ alınır.

Adım 2: Ağırlıklı normalleştirilmiş bulanık karar matrisinin oluşturulması

Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi denklem 3.10 uygulanarak hesaplanır.

$$V = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad ; \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.10)$$

Burada $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times w_j$ ve w_j , j'inci niteliğin ağırlığıdır.

Adım 3: Bulanık pozitif ideal çözümün (FPIS, A^+) ve bulanık negatif ideal çözümün (FNIS, A^-) hesaplamaları denklem 3.11 ve 3.12 'deki eşitlikler ile bulunur.

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) \quad (3.11)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad (3.12)$$

Burada $v_j^+ = (1; 1; 1)$ ve $v_j^- = (0; 0; 0)$, $j = 1, 2, \dots, n$

A^+ , pozitif ideal çözümü ve A^- , negatif ideal çözümü ifade eder.

Adım 4: Her bir alternatifin sırasıyla $A^+ = (d_i^+)$ ve $A^- = (d_i^-)$ 'dan uzaklığının hesaplanması denklem 3.13 ve denklem 3.14'deki eşitlikler ile sağlanır.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^+), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.13)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^-), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.14)$$

Burada $d(\tilde{A}, \tilde{B})$, iki bulanık üçgen sayı arasındaki mesafe ölçümüdür.

$\tilde{A} = (\tilde{a}_1, \tilde{b}_1, \tilde{c}_1)$ ve $\tilde{B} = (\tilde{a}_2, \tilde{b}_2, \tilde{c}_2)$ ve denklem 3.15 uygulanarak hesaplanır.

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (3.15)$$

Adım 5: Her alternatifin yakınlık katsayısının ifade eden CC_i , denklem 3.16 ile hesaplanır.

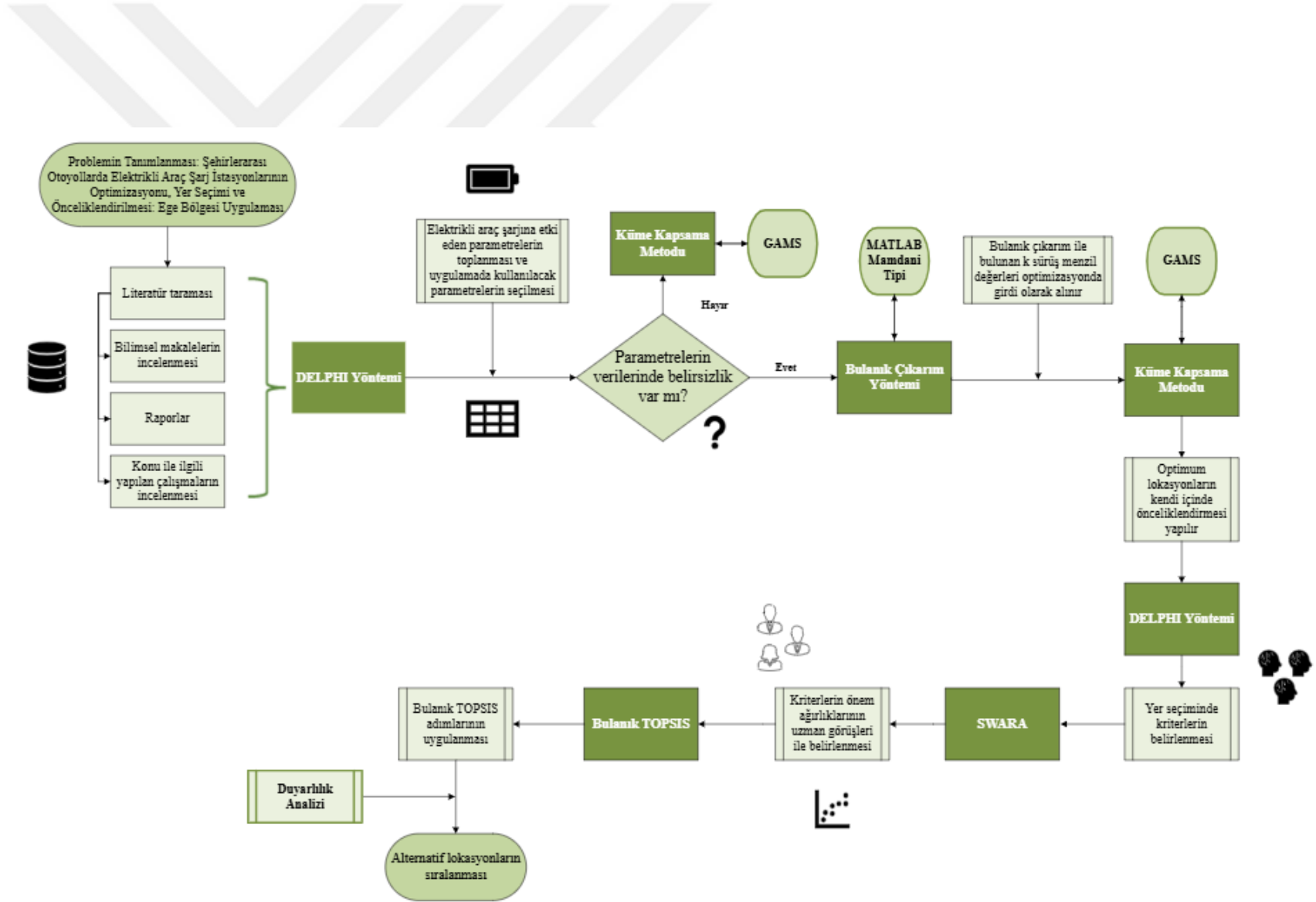
$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.16)$$

Adım 6: Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler CC_i 'ye göre azalan sırada sıralanır. En iyi alternatif CC_i 1'e yaklaştıkça A^+ 'ya daha yakındır (Chen, 2000).

Çalışmanın akış diyagramı Şekil 3.1 'de verilmiştir.





Şekil 3.1 Akış diyagramı

4.1 Ele Alınan Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı

Çok yeni olan ve talebi hızlı artan elektrikli araçların şehirlerarası yollarda gerekli istasyon ve istasyonların lokasyonlarını belirlemeye yardımcı olmak amacıyla optimizasyon modeli kurulması amaçlanmıştır. Optimizasyonun önceden belirlenmesi ve tutarlı olması zorlaşan rekabet koşullarında rekabete uyum sağlamak, müşteri memnuniyetini sağlamak ve ayakta kalabilmek için stratejik bir gereksinim olmuş ve şirketler tarafından pazarlama politikası olarak benimsenmiştir. Bu çalışmada Ege Bölgesinde şehirlerarası elektrik şarj istasyonlarının optimizasyonu ve önceliklendirilmesi için entegre bir yöntem önerilmesi amaçlanmaktadır. Model 2 fazdan oluşmaktadır.

Birinci fazda pilot olarak alınan Ege Bölgesinde şehirlerarası otoyollarda kurulacak elektrikli araç şarj istasyon sistemlerinin dinamik yapısını dikkate alınarak k sürüş menzil değerine etki edecek dış parametreler belirlenecektir. Belirlenen parametreler modelde kullanılacak olup, elde edilen k sürüş menzil değerleri ile elektrikli araç şarj istasyon sayısının optimizasyonu yapılacaktır ve alternatif lokasyonlar bulunacaktır.

Modelin ikinci fazında, çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanan uygun yer seçimi için kriterler belirlenecek, bu kriterler önem derecelerine göre ağırlıklandırılacak ve bulunan alternatif lokasyonların önceliklendirilmesi yapılacaktır.

Böylece her iki fazın da birleşimi ile entegre bir model oluşturulacaktır.

Şekil 4.1’de çalışmanın kapsamı olan Ege Bölgesi Türkiye haritasında gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Çalışma alanı Ege Bölgesinin coğrafik konumu

4.2 Problemin Verileri

Pilot bölge olarak ele alınan Ege Bölgesinde yer alan İzmir, Aydın, Muğla, Denizli, Uşak, Manisa, Kütahya ve Afyonkarahisar illeri, şehirlerarası otoyollarda elektrikli araç şarj istasyon optimizasyonu modeli için baz alınmıştır. Her bir lokasyonun diğer lokasyonlar arasındaki km cinsinden mesafesi kullanılmıştır. Kurulacak olan elektrikli araç şarj istasyon sayısına etki edecek olan araç sürüş menzilin dinamik yapısına etki edecek dış faktörlerin bulanık çıkarım mamdani tipi ile belirlenmek üzere Ege Bölgesi sıcaklık aralıkları ve otoyollarda hız limitleri dikkate alınmıştır. Yapılan araştırmalar, sıcaklık değişimlerinin elektrikli araçların menziline etkisini açıkça ortaya koymuştur (Geotab, 2020; Recurrent, 2022; AAA, 2019).

Soğuk hava ve klima kullanımı elektrikli araç menzilin %20–40 oranında azalmasına neden olabilir (Geotab, 2023; Recurrent Auto, 2024).

Sıcaklık derecesine göre klima aktif durumda iken elektrikli araçların sürüş menzili için verim yüzdeleri Tablo 4.1’de yer almaktadır.

Tablo 4.1 Klima aktif iken elektrikli araç sürüş menzillerinin verim yüzdesi

Dış Sıcaklık	Klima Aktif
30 °C	95%
20 °C	100%
10 °C	90%
0 °C	80%
-10 °C	70%

Tablo 4.1’de verilen klima aktif durumda iken elektrik araçların sürüş menziline etki eden verim yüzdelere göre sıcaklık 20°C’ye yaklaştıkça verim artarken 0°C’nin altına düştüğünde verim kaybı yaşamaktadır.

Geotab’ın real-world verilerle gerçekleştirdiği analizde, hızın menzile etkisinin sıcaklıkla birlikte değerlendirildiği ve örneğin sedan araçlarda düşük hızlarda sıcaklığın etkisinin belirgin olduğu; yüksek hızlarda ise hava direncinin daha baskın hale geldiği sonucuna varılmıştır (Geotab Inc., 2023).

Sabit hız ile menzil arasındaki yaklaşık ilişkiyi gösteren değerler Tablo 4.2’de verilmiştir. Verim oranları çalışılan hız değerlerini göz önünde bulundurularak maksimum hız verimi en düşük olacak şekilde bir yüzde ile varsayımı yapılmıştır. Kademeli artan hızın, kademeli olarak verimi düşürülmüştür (Volvo Cars, n.d.).

Tablo 4.2 Sabit hız değerlerine ilişkin araç menzil verimi

Sabit Hız	Verim
100 km/saat	80-85%
120 km/saat	70-75%
150 km/saat	50-60%

Tablo 4.2’de verilen sabit hız değerleri ve elektrikli araç sürüş menzili arasındaki ilişki, daha düşük bir sabit hızın menzil üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Bulanık Küme yönteminde kullanılacak olan sıcaklık parametresi için veriler T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü resmi sayfasındaki 1991-2020 yıllarına ait sıcaklık normalleri baz alınmıştır. Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Ege Bölgesi illerinin 1991-2020 yılları arasında ortalama aylık sıcaklık verileri (°C)

İller\Sıcaklık(°C) (Aylar)	Sıcaklık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Manisa	Ortalama sıcaklık	6,3	7,9	11	15,2	20,7	25,7	28,6	28,5	23,7	18,2	11,9	7,8
	Ortalama en yüksek sıcaklık	10,7	12,9	16,8	21,7	27,6	32,7	35,7	35,7	31,1	24,8	17,6	12
	Ortalama en düşük sıcaklık	3,0	4,1	6,1	9,6	14,4	19,1	22,2	22,3	17,5	13,1	7,7	4,7
İzmir	Ortalama sıcaklık	9,0	9,9	12,4	16,2	21,1	26,0	28,6	28,5	24,2	19,5	14,4	10,5
	Ortalama en yüksek sıcaklık	12,7	14,0	17,2	21,3	26,5	31,3	33,8	33,6	29,5	24,6	18,8	14,0
	Ortalama en düşük sıcaklık	6,0	6,6	8,6	11,8	16,2	20,9	23,5	23,7	19,5	15,4	10,9	7,7
Kütahya	Ortalama sıcaklık	0,6	2,3	5,8	10,2	15,0	18,8	21,6	21,6	17,4	12,4	6,6	2,4
	Ortalama en yüksek sıcaklık	5,1	7,7	11,8	16,8	21,9	25,9	29,2	29,4	25,4	19,7	13,2	6,8
	Ortalama en düşük sıcaklık	-2,7	-1,8	0,8	4,3	8,6	12,0	14,5	14,7	10,4	6,7	2,0	-0,7
Uşak	Ortalama sıcaklık	2,6	3,7	6,7	11,0	15,9	20,4	24,0	24,2	19,5	14,2	8,4	4,3
	Ortalama en yüksek sıcaklık	7,3	8,9	12,5	17,0	22,5	27,3	31,2	31,5	26,8	20,9	14,6	9,2
	Ortalama en düşük sıcaklık	-1,1	-0,3	1,8	5,4	9,6	13,2	16,3	16,6	12,5	8,5	3,8	0,7
Afyonkarahisar	Ortalama sıcaklık	0,4	2,2	6	10,5	15,3	19,4	22,8	22,8	18,5	13	6,9	2,5
	Ortalama en yüksek sıcaklık	4,6	7,1	11,7	16,6	21,8	26,2	30,3	30,2	25,9	19,7	12,8	6,8
	Ortalama en düşük sıcaklık	-3	-1,8	1,1	4,9	9,2	12,7	15,3	15,4	11,4	7,2	2,1	-0,8
Aydın	Ortalama sıcaklık	8,2	9,5	12,3	16,1	21,2	26,2	28,7	28,3	24	19,1	13,5	9,5
	Ortalama en yüksek sıcaklık	13,5	15,2	18,7	23,2	28,9	34,2	37	36,6	32,6	27	20,3	14,7
	Ortalama en düşük sıcaklık	4,4	5,3	7,2	10,5	14,9	19,1	21,5	21,4	17,6	13,6	9	5,9
Denizli	Ortalama sıcaklık	6,2	7,6	10,7	15,1	20,2	25,1	28,3	28,2	23,5	17,9	11,9	7,7
	Ortalama en yüksek sıcaklık	10,7	12,7	16,5	21,3	27,0	32,3	35,7	35,7	31,0	24,7	17,8	12,2
	Ortalama en düşük sıcaklık	2,7	3,6	6,0	9,7	14,2	18,6	21,6	21,5	17,2	12,5	7,5	4,4
Muğla	Ortalama sıcaklık	5,4	6,2	9,0	12,8	18,0	23,4	27,0	27,0	22,2	16,5	10,6	6,7
	Ortalama en yüksek sıcaklık	10,4	11,6	15,1	19,4	25,1	30,6	34,5	34,6	30,0	23,8	17,2	11,8
	Ortalama en düşük sıcaklık	1,6	2,1	3,9	7,1	11,6	16,7	20,4	20,5	15,6	10,6	5,7	3,0

Tablo 4.3’de Ege Bölgesine ait 8 ilin 1991-2020 yıllarına ait verileri tabloda ortalama olarak verilmiştir.

Hazırlanan veri setlerine göre sıcaklık ve hız değerlerinin durumlarına ait tüm kombinasyonlar 10x7 kural tabanında oluşturulmuştur. Kural tabanı oluşturulurken ortam sıcaklığının 1991-2020 yılları arasındaki T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü resmi sayfasındaki meteoroloji verilerinden faydalanarak -5°C ile 40°C aralığında, araç hızının da T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın yasal hız sınırı bilgisinden yararlanarak 90 ile 150 aralığında sabit tuttuğu varsayımı yapılmıştır.

Elektrikli araçlarda sürüş menzilini etkileyen faktörler literatürde incelenmiş ve bu çalışmada sıcaklık ve hız girdi parametreleri dikkate alınarak çalışma yürütülmüştür. Elektrikli araçların menzili için bu unsurlar göz önüne alınmalıdır. Bu kontrol işlemi için bulanık çıkarım sistemi tasarlanmıştır. Tablo 4.4'de bulanık çıkarım sisteminde kullanılacak olan sıcaklık ve hız parametrelerinin değer aralıklarına karşılık gelen sözel değişkenler verilmiştir.

Tablo 4.4 Bulanık çıkarım sisteminin değer aralıkları ve sözel değişkenleri

Değişkenler		Değer aralığı	Sözel değişkenler
Giriş	Sıcaklık	-5°C ile 40°C	S6 (ideal), S1,..., S9
	Hız	90 ile 150	H1 (ideal), H2,..., H7
Çıkış	Menzil	125 ile 300	M1 (maksimum),...,M8

Tablo 4.4'de sıcaklık°C ve hız için dilsel ifade aralığı geniş olduğu için her bir kademe artışına derece olarak numaralandırılmış ifade kullanılmıştır.

Tablo 4.5'de 10 farklı kademeye ayrılmış sıcaklık değer aralıkları verilmiştir.

Tablo 4.5 Sıcaklık parametreleri

Sıcaklık	Parametre
S1	[-5; -5; 0]
S2	[-5; 0; 5]
S3	[0; 5; 10]
S4	[5; 10; 15]
S5	[10; 15; 20]
S6 (İdeal)	[15; 20; 25]
S7	[20; 25; 30]
S8	[25; 30; 35]
S9	[30; 35; 40]
S10	[35; 35; 40]

Tablo 4.5'de uygulamada ele alınan Ege Bölgesinde buluna 8 farklı il için 1991 ile 2020 yılları arasında elde edilen verilere göre sıcaklık aralıkları baz alınarak minimum -5°C ile maksimum 40°C arasında değer aralıkları Tablo 4.5'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 4.6’da T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’nın yasal hız sınırı bilgisinden yararlanarak hız parametreleri kademeli olarak verilmiştir.

Tablo 4.6 Hız parametreleri

Hız	Parametre
H1 (İdeal)	[90; 90; 100]
H2	[90; 100; 110]
H3	[100; 110; 120]
H4	[110; 120; 130]
H5	[120; 130; 140]
H6	[130; 140; 150]
H7	[140; 150; 150]

Tablo 4.6’da verilen hız parametrelerinden yola çıkarak hızın 90 km/h ile 150 km/h aralığında sabit tutulduğu varsayımı yapılmıştır.

Ortalama bir araç sürüş menzilin 300 km/h olduğu varsayımı yapılmıştır. Buna göre sürüş menzilleri 8 farklı kademeye ayrılan sürüş menzil değerleri km/h cinsinden Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Sürüş menzil parametreleri (km/h)

Sürüş Menzili	Parametre
M1	[275; 300; 300]
M2	[250; 275; 300]
M3	[225; 250; 275]
M4	[200; 225; 250]
M5	[175; 200; 225]
M6	[150; 175; 200]
M7	[125; 150; 175]
M8	[125; 125; 150]

Tablo 4.7’ye göre sürüş menzil değer aralığı en uzun olan M1, sürüş menzil değer aralığı en kısa olan ise M8’dir.

Sıcaklık ve hız parametrelerine bakılarak, sıcaklık ve sabit hız verilerine ilişkin araç menzil verimi de dikkate alınıp her bir seçim için dilsel bir değer ataması yapılmıştır. Bu dilsel değer ataması araç menzil aralığını oluşturan parametreleri içermektedir. Sıcaklık parametresinin etki edip etmediğine araç içinde kullanılan klimanın kapalı ya da açık olması etkileyecektir. Yaz aylarında serinlemek için açılan klima, kış aylarında ise ısınmak ve buğulu cam gidermek için kullanılabilir. Bu yüzden optimum sıcaklık yükseldikçe ya da düştükçe araç sürüş menzilin verimi de bu durumdan etkilenecektir. Tablo 4.8’de klimanın aktif olmadığı durumda sürüş menzil değerleri km/h cinsinden verilmiştir.

Tablo 4.8 Klima kapalı durumda sayısal değerler (km/h)

Sıcaklık \Hız	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
S1	255	240	225	210	195	180	165
S2	255	240	225	210	195	180	165
S3	255	240	225	210	195	180	165
S4	255	240	225	210	195	180	165
S5	255	240	225	210	195	180	165
S6	255	240	225	210	195	180	165
S7	255	240	225	210	195	180	165
S8	255	240	225	210	195	180	165
S9	255	240	225	210	195	180	165
S10	255	240	225	210	195	180	165

Tablo 4.8’de 7 farklı hız kademesinin verimi kullanılarak sıcaklık parametresinin verime etki etmediği varsayımı yapılmıştır. Böylece her bir hız kademesinin farklı sıcaklıklardaki sürüş menzili aynı gelmektedir.

Elde edilen sayısal değerlere karşılık gelen sürüş menzilin dilsel ifadesi ise Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9 Klima kapalı durumda sürüş menzili dilsel değerleri

Sıcaklık \Hız	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
S1	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S2	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S3	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S4	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S5	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S6	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S7	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S8	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S9	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6
S10	M3	M3	M4	M5	M5	M6	M6

Tablo 4.9’da her bir hız kademesinin karşılığına denk gelen sürüş menzil değerinin dilsel ifadesi görülmektedir. Burada sıcaklık parametresi sabit tutulduğundan tüm sıcaklık kademelerinde sürüş menzilin dilsel ifadesi aynı, farklı hız kademelerinde ise değişkenlik göstermektedir. Klima kapalı durumda ve H1 hız kademesinde sürüş menzilin en uzun olduğu görülmektedir.

Tablo 4.10’da ise klimanın aktif olduğu durumda sürüş menzil değerleri km/h cinsinden verilmiştir

Tablo 4.10 Klima açık durumda sürüş menzili sayısal değerleri (km/h)

Sıcaklık \ Hız	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
S1	191,25	180	168,75	157,5	135	123,75	112,5
S2	204	192	180	168	144	132	120
S3	216,75	204	191,25	178,5	165,75	153	140,25
S4	229,5	216	202,5	189	175,5	162	148,5
S5	242,25	228	213,75	199,5	185,25	171	156,75
S6	255	240	225	210	195	180	165
S7	247,35	232,8	218,25	203,7	189,15	174,6	160,05
S8	242,25	228	213,75	199,5	185,25	171	156,75
S9	229,5	216	202,5	189	175,5	162	148,5
S10	204	192	180	168	144	132	120

Tablo 4.10’da hem sıcaklık kademeli olarak değişmiş hem de hız parametresi değişiklik gösterdiğinde tüm senaryolar için sürüş menzil değerleri sayısal olarak verilmiştir. Burada sıcaklık parametresi de devreye girdiğinden elde edilen sürüş menziline kısalma gözlemlenmiştir.

Elde edilen sayısal değerlere karşılık gelen sürüş menzilin dilsel ifadesi ise Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11 Klima açık durumda sürüş menzili dilsel değerleri

Sıcaklık \ Hız	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
S1	M5	M6	M6	M7	M7	M8	M8
S2	M5	M6	M6	M6	M7	M8	M8
S3	M4	M5	M5	M6	M6	M7	M7
S4	M4	M4	M5	M6	M6	M6	M7
S5	M3	M4	M4	M5	M6	M6	M7
S6	M3	M3	M4	M5	M6	M6	M6
S7	M3	M4	M4	M5	M6	M6	M7
S8	M3	M4	M4	M5	M6	M6	M7
S9	M4	M4	M5	M6	M6	M6	M7
S10	M5	M6	M6	M6	M7	M8	M8

Tablo 4.11’de her bir sıcaklık parametresi ve hız kademesinin karşılığına denk gelen sürüş menzil değerinin dilsel ifadesi görülmektedir. Hem sıcaklık parametresi hem de hız parametresi aktif olarak devreye girdiği için simülasyonların çıktısında sabitlik durumu yoktur.

Mevcut durumda istasyon kurulabilecek 24 lokasyonun birbirlerine olan uzaklıkları km cinsinden Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12 Lokasyonlar arası mesafe tablosu (km)

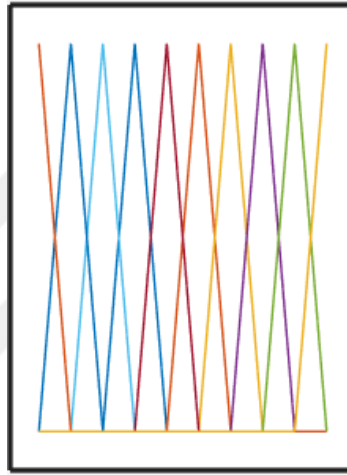
t(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	54,6	153	2,7	111	106	47,7	99,5	68,3	42,2	110	164	303	297	168	133	401	477	386	345	360	328	331	420
2	54	0	107	51,4	57,8	65,4	71,1	131	91,7	82,6	134	299	270	208	65,7	358	307	424	336	322	378	321	324	393
3	154	96	0	152	49,2	49,7	171	231	192	183	234	399	370	308	128	436	386	502	415	401	419	421	424	477
4	2,2	52,9	151	0	109	110	31,8	34,6	66,6	43,3	109	274	244	169	110	402	351	468	381	367	353	296	298	417
5	109	50,9	49,8	107	0	4	127	190	151	138	193	359	329	268	87,1	395	345	462	374	360	378	381	383	428
6	112	53,4	48,2	109	0,65	0	129	189	150	141	192	357	327	266	85,4	394	343	460	373	359	377	379	381	434
7	51	76,2	175	34,5	132	133	0	84,3	45,4	11,5	87,5	253	223	137	133	425	375	454	378	347	332	275	277	396
8	96,3	130	229	38,1	186	187	79,9	0	45,8	91,4	5,9	228	198	170	187	327	277	372	296	266	250	193	196	396
9	58,4	92,3	191	64,5	148	149	42	47,9	0	53,5	51,2	209	180	152	149	367	322	418	341	311	295	238	241	435
10	36,9	80,8	179	39,1	137	138	9,1	88,9	50	0	92,1	257	228	131	138	430	379	459	382	352	336	279	282	400
11	103	137	236	109	193	194	86,8	6,9	52,7	98,3	0	224	194	166	194	321	271	367	290	260	244	187	190	384
12	268	301	400	274	358	358	251	228	209	263	224	0	30,9	224	358	432	427	442	369	365	323	263	265	384
13	237	270	369	243	327	327	220	197	178	229	193	31,1	0	193	328	434	430	461	384	380	338	281	284	402
14	169	213	316	171	269	269	141	170	151	132	166	224	194	0	270	478	433	523	446	422	400	343	346	464
15	117	70,6	129	114	86,3	86,8	134	194	155	146	197	362	333	272	0	318	268	384	297	283	301	313	315	355
16	382	359	434	380	392	393	401	321	367	413	316	432	433	478	317	0	55	179	89,2	94,5	133	190	187	149
17	327	304	379	322	337	338	367	269	315	379	264	423	424	426	261	57,4	0	210	120	125	164	221	218	180
18	464	418	494	439	451	452	444	374	420	465	368	437	465	524	376	172	201	0	82,7	96,1	125	182	179	51,3
19	390	338	414	397	372	372	374	294	340	386	289	370	384	445	296	91	120	91,5	0	16,4	45,1	102	99,5	65,7
20	372	326	402	347	359	360	368	288	334	379	264	364	378	438	284	103	114	102	14,1	0	38,8	96,2	93,2	75,8
21	355	344	420	352	377	378	330	250	296	341	244	326	354	400	302	135	165	134	46,1	42,3	0	58,1	55,1	108
22	297	322	420	294	378	379	272	192	238	283	186	264	282	342	309	199	228	197	109	106	63,4	0	9	127
23	300	325	424	297	381	382	275	195	241	286	189	267	285	345	307	190	219	188	101	96,9	54,7	3,1	0	162
24	418	400	476	416	434	434	393	393	439	405	387	386	414	464	358	154	184	59,8	65	78,4	107	122	162	0

Tablo 4.12'deki veriler bulanık çıkarımdan elde edilen değerlerden sonra küme kapsama metodundan faydalananarak GAMS ile optimum lokasyon sayısını bulmak için kullanılacaktır.

4.3 Uygulama Hesaplamaları

İlk olarak sıcaklık ve hız parametrelerinin girdi olarak ele alındığı bulanık çıkarım Mamdani yöntemini uygulanacaktır. Buradan elde edilen k menzil değerleri daha sonra küme kapsama ile optimum lokasyon sayısını verecektir.

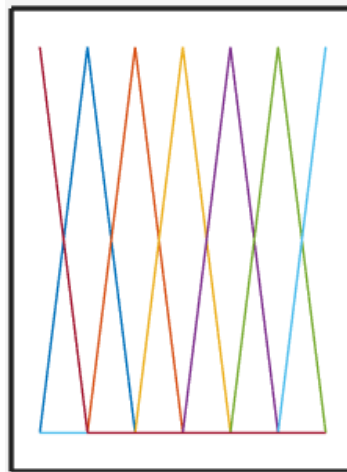
Sıcaklık parametresi için bulanık çıkarım MFs görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Sıcaklık girdisi bulanık çıkarım görüntüsü (MFs)

Şekil 4.2'de verilen sıcaklık girdisi için 10 farklı değer aralığı belirlenmiştir. Ele alınan Ege Bölgesi için bu sıcaklık değer aralıkları -5°C ile 40°C arasındadır.

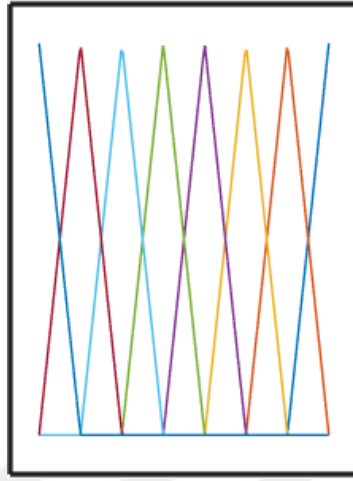
Hız parametresi için bulanık çıkarım MFs görüntüsü Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Hız girdisi bulanık çıkarım görüntüsü (MFs)

Şekil 4.3’de verilen hız girdisi için 7 farklı değer aralığı belirlenmiştir. Şehirlerarası yollar için bu hız değer aralıkları 90 km/h ile 150 km/h arasındadır.

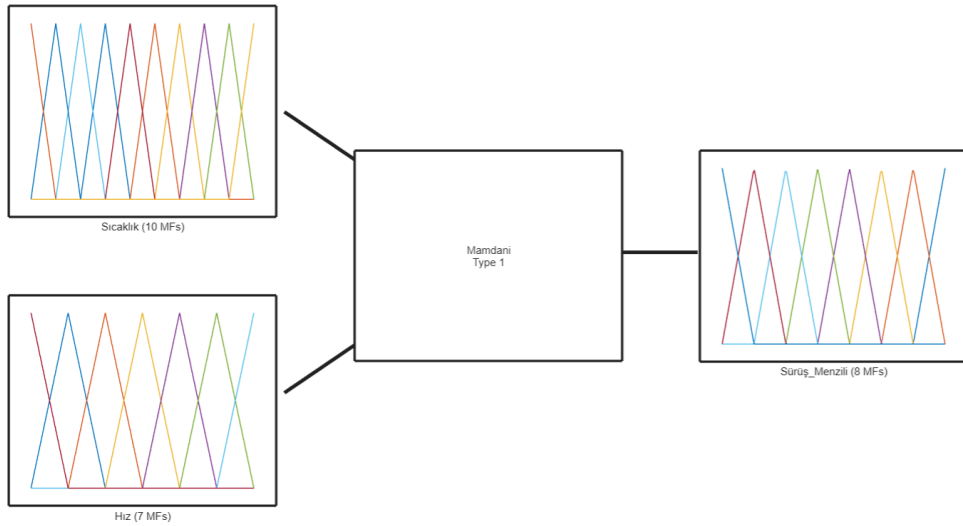
Sıcaklık ve hız girdi parametrelerinden sonra sürüş menzili için bulanık çıkarım görüntüsü de Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 Sürüş menzili (MFs)

Şekil 4.4’de bulanık çıkarım görüntüsü verilen ve optimum koşullarda 300 km/h menzili olan bir elektrikli araç için sürüş menzil değer aralıkları 125 km/h ve 300 km/h arasındadır. Sürüş menzili için bu değerler arasında 8 farklı aralık belirlenmiştir.

Şekil 4.5’de mamdani tipi bulanık çıkarım görüntüsü verilmiştir.

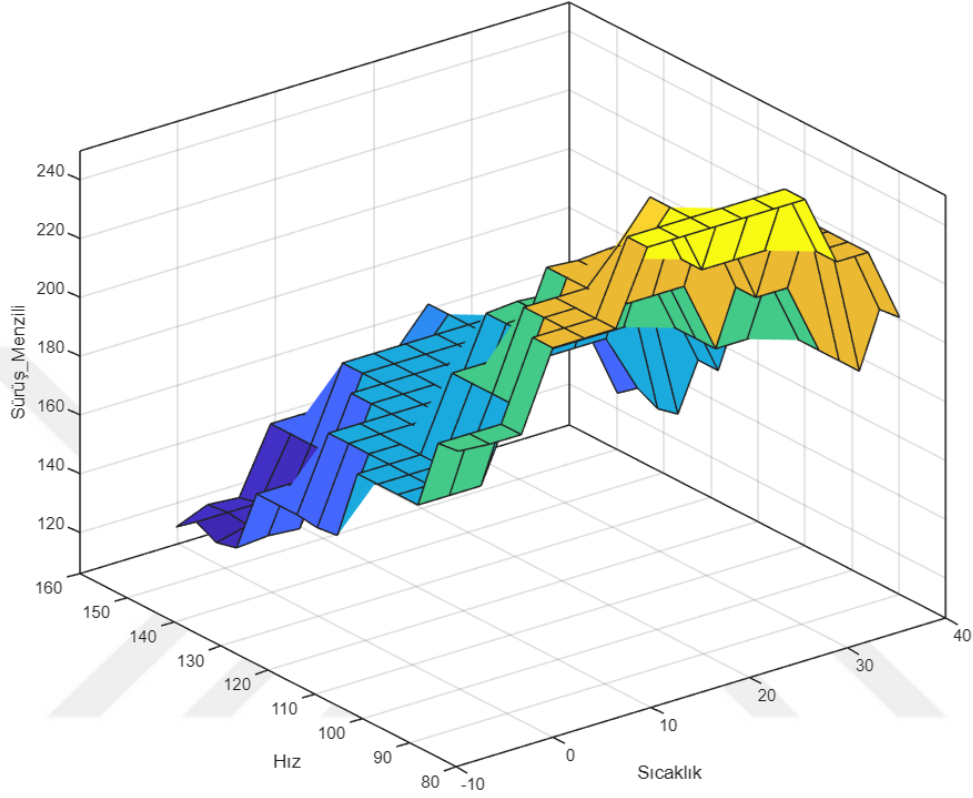


System Uygulama Matlab: 2 input, 1 output, 70 rules

Şekil 4.5 Modelin MATLAB mamdani tipi bulanık çıkarım çıktısı (MFs)

Sıcaklık ve hız parametrelerinin Mamdani tipi bulanık çıkarım yönteminden faydalanılarak elde ettiği çıktı bir diğer ifadeyle sürüş menziline model Şekil 4.5’de verilmiştir.

Uygulamanın kontrol arayüzü Şekil 4.6’da verilmiştir.

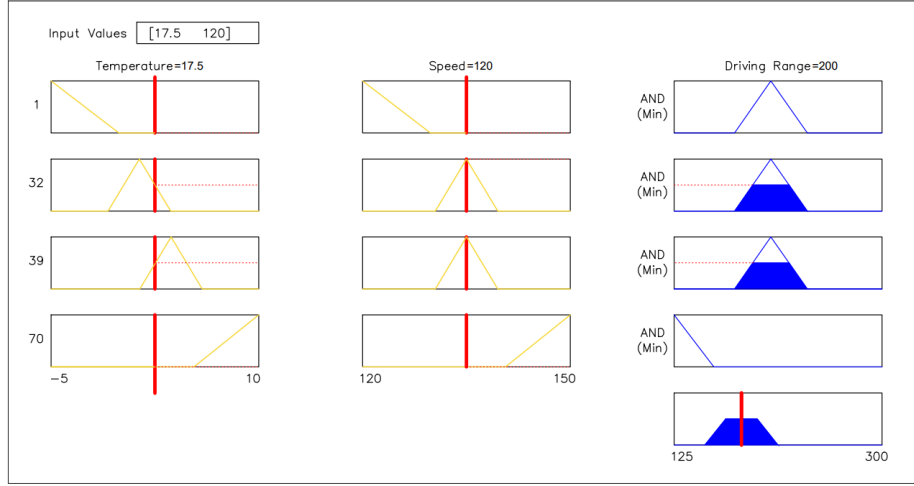


Şekil 4.6 MATLAB uygulama çıktısının kontrol arayüzü

Şekil 4.6’da verilen kontrol arayüzünde sıcaklık, hız ve sürüş menziline gösterimi verilmiştir.

Girdi parametreleri olan sıcaklık ve hız ile çıktı parametresi olan sürüş menzili için dilsel (linguistic) değerler atandıktan sonra MATLAB programı ile her bir girdi senaryosu için kurallar oluşturularak bulanık çıkarım Mamdani yöntemi ile çıktı oluşturulur ve bu çıktıdan k değeri/değerleri elde edilir.

Sıcaklık değeri aralığının -5°C ile 40°C arasında ve hız değeri aralıkları 90 km/h ile 150 km/h arasında verildiğinde sıcaklık $17,5^{\circ}\text{C}$ ve hız 120 km/h atanır. Bu tüm durum senaryosu olarak adlandırılmaktadır. MATLAB uygulama görüntüsü Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 MATLAB çıktısı tüm durum senaryosu

Şekil 4.7’de verilen uygulamanın sonucunda da çıktı olarak sürüş menzili k değeri 200 km/h olarak elde edilir.

Bu k değerini bulmak için kullanılan GAMS kodu ise Şekil 4.8’de verilmiştir.

```
sets
i dugum /1*24/
j aday tesisler / 1*24 / ;

table d(i,j) istasyonların birbirine uzaklıkları
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
1 0 54.6 153 2.7 111 106 47.7 99.5 69.3 42.2 110 164 303 297 168 133 401 477 386 345 360 328 331 420
2 54 0 107 51.4 57.8 65.4 71.1 131 91.7 82.6 134 299 270 208 65.7 358 307 424 336 322 378 321 324 393
3 154 96 0 152 49.2 49.7 171 231 192 183 234 399 370 308 128 436 386 502 415 401 419 421 424 477
4 2.2 52.9 151 0 109 110 31.8 34.6 66.6 43.3 109 274 244 169 110 402 351 468 381 367 353 296 298 417
5 109 50.9 49.8 107 0 4 127 190 151 138 153 359 329 268 87.1 395 345 462 374 360 378 381 383 428
6 112 53.4 48.2 109 0.65 0 129 189 150 141 192 357 327 266 85.4 394 343 460 373 359 377 379 381 434
7 51 76.2 175 34.5 132 133 0 84.3 45.4 11.5 87.5 253 223 137 133 425 375 454 378 347 332 275 277 396
8 96.3 130 229 38.1 186 187 79.9 0 45.8 91.4 5.9 228 198 170 187 327 277 372 296 266 250 193 196 396
9 58.4 92.3 191 64.5 148 149 42 47.9 0 53.5 51.2 209 180 152 149 367 322 418 341 311 295 238 241 435
10 36.9 80.8 179 39.1 137 138 9.1 88.9 50 0 92.1 257 228 131 138 430 379 459 382 352 336 279 282 400
11 103 137 236 109 193 194 86.8 6.9 52.7 98.3 0 224 194 166 194 321 271 367 290 260 244 187 190 384
12 268 301 400 274 358 358 251 228 209 263 224 0 30.9 224 358 432 427 442 369 365 323 263 265 384
13 237 270 369 243 327 327 220 197 178 229 193 31.1 0 193 328 434 430 461 384 380 338 281 284 402
14 169 213 316 171 269 269 141 170 151 132 166 224 194 0 270 478 433 523 446 422 400 343 346 464
15 117 70.6 129 114 86.3 86.8 134 194 155 146 197 362 333 272 0 318 268 384 297 283 301 313 315 355
16 382 359 434 380 392 393 401 321 367 413 316 432 433 478 317 0 55 179 89.2 94.5 133 190 187 149
17 327 304 379 322 337 338 367 269 315 379 264 423 424 426 261 57.4 0 210 120 125 164 221 218 180
18 464 418 494 439 451 452 444 374 420 465 368 437 465 524 376 172 201 0 82.7 96.1 125 182 179 51.3
19 390 338 414 397 372 372 374 294 340 386 289 370 384 445 296 91 120 91.5 0 16.4 45.1 102 99.5 65.7
20 372 326 402 347 359 360 368 288 334 379 264 364 378 438 284 103 114 102 14.1 0 38.8 96.2 93.2 75.8
21 355 344 420 352 377 378 330 250 296 341 244 326 354 400 302 135 165 134 46.1 42.3 0 58.1 55.1 108
22 297 322 420 294 378 379 272 192 238 293 186 264 282 342 309 199 228 197 109 106 63.4 0 9 127
23 300 325 424 297 381 382 275 195 241 286 189 267 285 345 307 190 219 188 101 96.9 54.7 3.1 0 162
24 418 400 476 416 434 434 393 393 439 405 387 386 414 464 358 154 184 59.8 65 78.4 107 122 162 0;
```

```
variable z;

binary variable x(j);

Equations
amac, kisit;

amac.. z=e=sum(j,x(j));
kisit(i)..sum(j$(d(i,j)<=200),x(j))=g=1;

model TugbaK /all/;

solve TugbaK using MIP minimizing z;

display x.l;
```

Şekil 4.8 GAMS küme kapsama model kodu

Modelin çıktısı olan k değeri Şekil 4.8’de verilen küme kapsama (set covering) modeliyle GAMS kodundan faydalananarak çözülür ve hedeflenen optimum şarj istasyonlarının hangi lokasyonlara açılacağı belirlenir.

Şekil 4.9’da ise k ’nın 200 km/h olduğu tüm durum senaryosunda GAMS çıktısı verilmiştir.

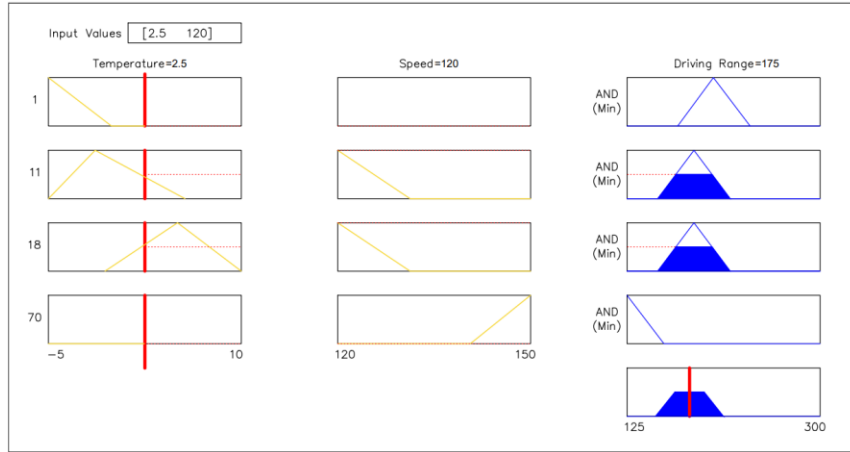
	LOWER	LEVEL	UPPER	
---- VAR z	-INF	3.0000	+INF	
---- VAR x				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	.	1.0000	1.0000
2	.	.	1.0000	1.0000
3	.	.	1.0000	1.0000
4	.	.	1.0000	1.0000
5	.	.	1.0000	1.0000
6	.	.	1.0000	1.0000
7	.	.	1.0000	1.0000
8	.	.	1.0000	1.0000
9	.	1.0000	1.0000	1.0000
10	.	.	1.0000	1.0000
11	.	.	1.0000	1.0000
12	.	.	1.0000	1.0000
13	.	1.0000	1.0000	1.0000
14	.	.	1.0000	1.0000
15	.	.	1.0000	1.0000
16	.	.	1.0000	1.0000
17	.	.	1.0000	1.0000
18	.	.	1.0000	1.0000
19	.	1.0000	1.0000	1.0000
20	.	.	1.0000	1.0000
21	.	.	1.0000	1.0000
22	.	.	1.0000	1.0000
23	.	.	1.0000	1.0000
24	.	.	1.0000	1.0000

Şekil 4.9 k değeri 200 km/h ‘ye göre GAMS çıktısı

Şekil 4.9’a göre elde edilen sonuçla toplamda 24 düğümün bulunduğu lokasyonlar arasından seçilen sıcaklık ve hız parametrelerinin belirlenen aralıklarına göre 9, 13 ve 19. düğümlerdeki lokasyonlar olmak üzere 3 adet araç şarj istasyonu açılmalıdır.

Bulanık çıkarımdan yararlanarak iyi durum ve kötü durum senaryoları elde edelim.

Kötü durum senaryosunda: Sıcaklık değer aralığının -5°C ile 10°C arasında ve hız değer aralıkları 120 km/h ile 150 km/h arasında verildiğinde sıcaklık $2,5^{\circ}\text{C}$ ve hız 120 km/h atanır. Şekil 4.10’da kötü durum senaryosu MATLAB bulanık çıkarım çıktısı verilmiştir.



Şekil 4.10 MATLAB çıktısı kötü durum senaryosu

Şekil 4.10’da da görüldüğü gibi kötü durum senaryosunda çıktı olarak sürüş menzili k değeri 175 km/h ‘dir.

Şekil 4.11’de ise k ’nın 175 km/h olduğu kötü durum senaryosunda GAMS çıktısı verilmiştir.

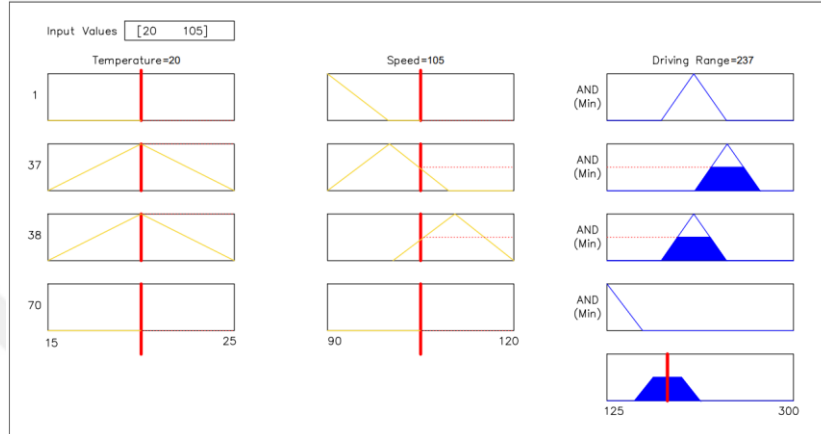
	LOWER	LEVEL	UPPER	
---- VAR z	-INF	3.0000	+INF	
---- VAR x				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	1.0000	1.0000	1.0000
2	.	.	1.0000	1.0000
3	.	.	1.0000	1.0000
4	.	.	1.0000	1.0000
5	.	.	1.0000	1.0000
6	.	.	1.0000	1.0000
7	.	.	1.0000	1.0000
8	.	.	1.0000	1.0000
9	.	.	1.0000	1.0000
10	.	.	1.0000	1.0000
11	.	.	1.0000	1.0000
12	.	.	1.0000	1.0000
13	.	1.0000	1.0000	1.0000
14	.	.	1.0000	1.0000
15	.	.	1.0000	1.0000
16	.	.	1.0000	1.0000
17	.	.	1.0000	1.0000
18	.	.	1.0000	1.0000
19	.	1.0000	1.0000	1.0000
20	.	.	1.0000	1.0000
21	.	.	1.0000	1.0000
22	.	.	1.0000	1.0000
23	.	.	1.0000	1.0000
24	.	.	1.0000	1.0000

Şekil 4.11 k değeri 175 km/h ‘ye göre GAMS çıktısı

Şekil 4.11’de görülen GAMS çıktısından elde edilen sonuca göre toplamda 24 düğümün bulunduğu lokasyonlar arasından seçilen sıcaklık ve hız parametrelerinin

belirlenen aralıklarına göre 1, 13 ve 19. düğümlerdeki lokasyonlar olmak üzere 3 adet araç şarj istasyonu açılmalıdır.

İyi durum senaryosunda: Sıcaklık değer aralığının 15°C ile 25°C arasında ve hız değer aralıkları 90 km/h ile 120 km/h arasında verildiğinde sıcaklık 20°C ve hız 105 km/h atanır. Şekil 4.12’de iyi durum senaryosu MATLAB bulanık çıkarım çıktısı verilmiştir.



Şekil 4.12 MATLAB çıktısı iyi durum senaryosu

Şekil 4.12’de de görüldüğü gibi iyi durum senaryosunda çıktı olarak sürüş menzili k değeri 237 km/h ‘dir.

Şekil 4.13’de ise k ’nın 237 km/h olduğu iyi durum senaryosunda GAMS çıktısı verilmiştir.

	LOWER	LEVEL	UPPER	
---- VAR z	-INF	2.0000	+INF	
---- VAR x				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	.	1.0000	1.0000
2	.	.	1.0000	1.0000
3	.	.	1.0000	1.0000
4	.	.	1.0000	1.0000
5	.	.	1.0000	1.0000
6	.	.	1.0000	1.0000
7	.	.	1.0000	1.0000
8	.	.	1.0000	1.0000
9	.	1.0000	1.0000	1.0000
10	.	.	1.0000	1.0000
11	.	.	1.0000	1.0000
12	.	.	1.0000	1.0000
13	.	.	1.0000	1.0000
14	.	.	1.0000	1.0000
15	.	.	1.0000	1.0000
16	.	.	1.0000	1.0000
17	.	.	1.0000	1.0000
18	.	.	1.0000	1.0000
19	.	.	1.0000	1.0000
20	.	.	1.0000	1.0000
21	.	.	1.0000	1.0000
22	.	1.0000	1.0000	1.0000
23	.	.	1.0000	1.0000
24	.	.	1.0000	1.0000

Şekil 4.13 k değeri 237 km/h 'ye göre GAMS çıktısı

Şekil 4.13'de görülen GAMS çıktısından elde edilen sonuca göre k değeri GAMS programında çalıştırılarak toplamda 24 düğümün bulunduğu lokasyonlar arasından seçilen sıcaklık ve hız parametrelerinin belirlenen aralıklarına göre 9 ve 22. düğümlerdeki lokasyonlar olmak üzere 2 adet araç şarj istasyonu açılmalıdır.

Tablo 4.13'de tüm senaryolara göre elde edilen düğümlerin yani optimum lokasyonların sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.13 Senaryolara göre elde edilen düğümlerin çıktıları

Senaryo	Sıcaklık	Hız	Düğüm
Tüm olasılık aralığı	-5°C ile 40°C	90 km/h ile 150 km/h	9, 13 ve 19
Kötü durum	-5°C ile 10°C	120 km/h ile 150 km/h	1, 13 ve 19
İyi durum	15°C ile 25°C	90 km/h ile 120 km/h	9 ve 22

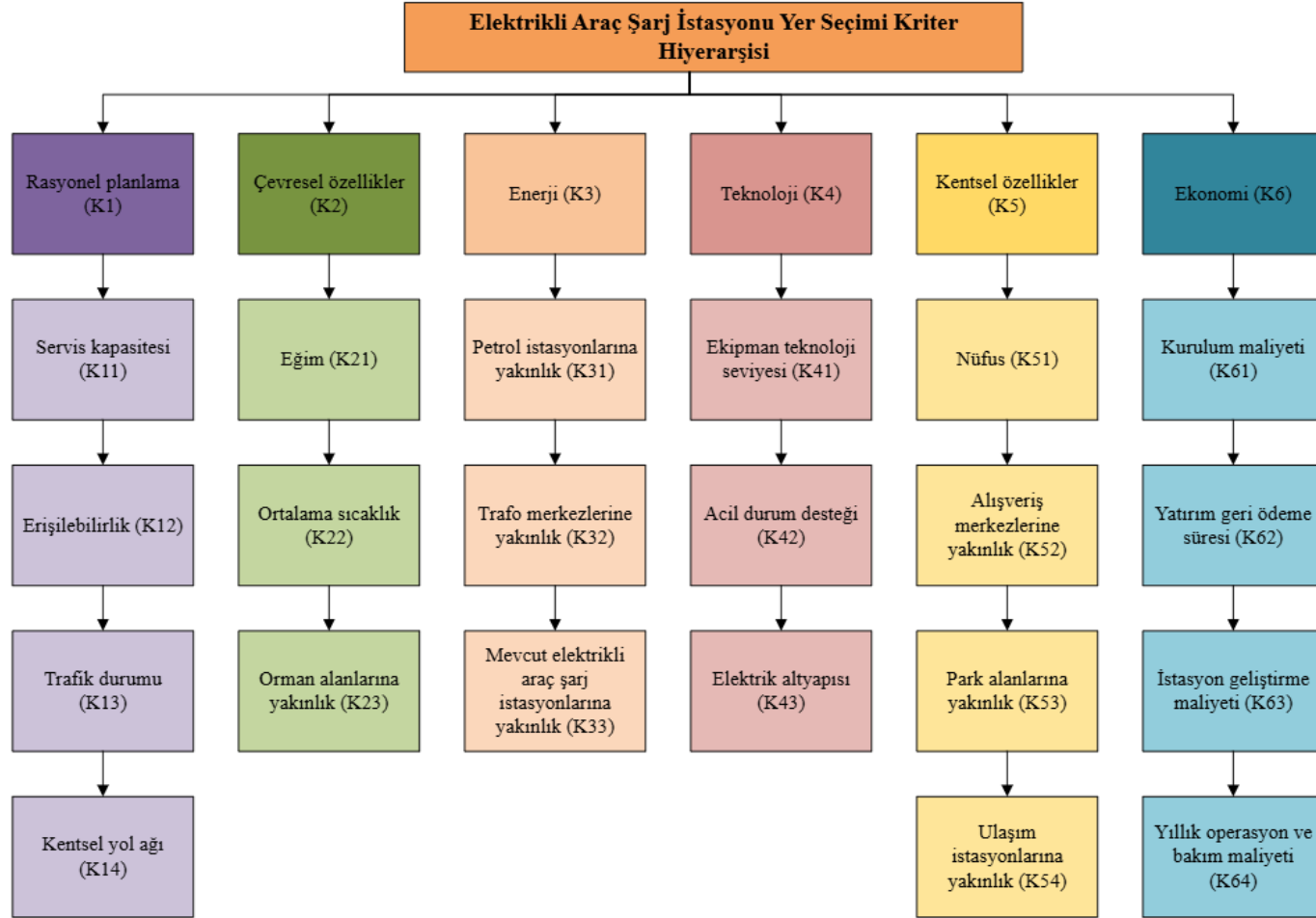
Tablo 4.13'de çıkan verilerden de görüldüğü üzere hem sıcaklık hem de hız parametrelerinin değer aralıklarını geniş tuttuğumuz senaryoda, iyi durum ve kötü durum senaryosundaki çıktıları da kapsayacak bir sonuç elde edilmiştir. Bu durumda 3 alternatif lokasyon belirlenmiştir. Bunlar da çalışmanın devamında A1

(Aydın Efemak Petrol), A2 (Muğla Dalyan Petrol) ve A3 (Afyonkarahisar Ulupınar Nakliyat Petrol) lokasyonu olarak adlandırılacaktır.

Optimum alternatif lokasyonların bulunması ardından bu lokasyonların önceliklendirilmesi istendiğinde elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu için göz önünde bulundurulması gereken kriterler için literatür taraması yapılmış ve 5 ana kriter altında, toplamda 80 farklı alt kriter listelenmiş ve Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu kriterler için konu hakkında bilgi sahibi kişiler ile görüşülmüş ve en gerekli kriterler belirlenmiştir. Bu sayede kriter sayısı 21’e düşmüştür.

Şekil 4.14’de ana kriterler ve alt kriterler hiyerarşisi gösterilmiştir.





Şekil 4.14 Ana kriterler ve alt kriterler hiyerarşisi

Şekil 4.14’de verilen ana kriterler ve alt kriterler hiyerarşisi 80 alt kriterin elimine edilmesi sonucunda oluşmuştur. 5 ana kriter ve 21 alt kriterden oluşan yeni listeye göre alt kriterler ve açıklamaları Tablo 4.14’de verilmiştir.



Tablo 4.14 Elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimi kriterleri ve tanımları

Ana Seçim Kriterleri	Alt Seçim Kriterleri	Tanım
K1 Rasyonel Planlama	K11: Servis kapasitesi	Şarj istasyonunun hizmet verebileceği EV sayısını ifade eder (Hosseini vd., 2019).
	K12: Erişilebilirlik	Erişilebilirlik, kentsel ulaşım sistemlerinin etkinliğini ölçen bir göstergedir ve kullanıcı taleplerinin belirli mesafelerdeki şarj istasyonlarına yönlendirildiğini ifade eder. Kullanıcı tercihleri, sosyal olanaklara olan eğilimleriyle birlikte, bu olanaklara fiziksel yakınlık üzerinden de şekillenmektedir (Wu vd., 2017; Genevois ve Kocaman, 2018).
	K13: Trafik durumu	Şarj talebi önerildiğinde, rezervasyon şarj sistemi elektrikli araçların bilgilerini, trafik koşullarının bilgilerini ve şarj kaynaklarının bilgilerini alır (Liu vd., 2018).
	K14: Kentsel yol ağı	Ana arter, giriş ve çıkış, yerleşim alanları, kentsel ana fonksiyonel alanlar ve istikrarlı elektrik enerjisi tedariki ile koordinasyonu ifade eder (Ju vd., 2018).
K2 Çevresel Özellikler	K21: Eğitim	Elektrikli Araç Şarj İstasyonları maliyet ve işletme kolaylığı açısından düz bir zemine yerleştirilmelidir (Alkan vd., 2023).
	K22: Ortalama sıcaklık	Sıcaklık, güç üretiminin verimliliğini etkileyen başlıca faktörlerdendir. Güneş hücresi modülünün sıcaklığı yüksek olduğunda, açık devre voltajı sıcaklığın artmasıyla önemli ölçüde azalır. Aşırı durumlarda, şarj noktası ciddi şekilde dengelenir ve bu da sistemin yetersiz şarj olmasına ve hasar görmesine neden olabilir. Güneş hücrelerinin çıkış gücü de sıcaklığın artmasıyla önemli ölçüde azalır ve bu da güneş hücresi modülünün maksimum performansını tam olarak ortaya koyamamasına neden olur (Zhou vd., 2020).
	K23: Orman alanlarına yakınlık	Yeşil alanlar, elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun yerlerini bulurken bu çalışmada çevresel bir faktör olarak kullanılır. Konum yeşil alanlardan uzaksa, daha uygun olacaktır (Güler vd., 2020).

Tablo 4.14 Elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimi kriterleri ve tanımları (devamı)

K3 Enerji	K31: Petrol istasyonlarına yakınlık	Mevcut akaryakıt istasyonlarının, yoğun trafik akışına sahip güzergâhlarda konumlanması ve kullanıcı alışkanlıklarının bu noktalarda yoğunlaşması, bu alanların elektrikli araç şarj istasyonları için de potansiyel olarak uygun lokasyonlar olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır (Erbaş vd., 2018; Kaya vd., 2020; Karolemeas vd., 2021; Ghosh vd., 2021).
	K32: Trafo merkezlerine yakınlık	Enerji ihtiyacı açısından Elektrikli Araç Şarj İstasyonları trafo merkezlerine yakın olmalıdır (Alkan vd., 2023).
	K33: Mevcut elektrikli şarj istasyonlarına yakınlık	Planlanan Elektrikli Araç Şarj İstasyonunun ideal konumu diğer Elektrikli Araç Şarj İstasyonu konumuna çok yakın olmamalıdır(Alkan vd., 2023).
K4 Teknoloji	K41: Ekipman teknoloji seviyesi	Şarj ekipmanlarının yeni nesil enerji sistemleri ve elektrik şebekeleri ile olan entegrasyonunda sahip olduğu teknolojik yeterlilik düzeyi ortaya konmuştur (Aybirdi, 2021).
	K42: Acil durum desteği	Gelecekte acil durumlarla başa çıkma ve EVCS'nin korunması kapasitesini ifade eder (Rani vd., 2021, Ju vd., 2018).
	K43: Elektrik altyapısı	Elektrik altyapısı, kurulum karmaşıklıklarını ve maliyetlerini en aza indirmek için mevcut elektrik şebekesi altyapısının yakınlığını değerlendirir (Özçekiç, 2024).
K5 Kentsel Özellikler	K51: Nüfus	Nüfus faktörü dikkate alınır, böylece kişi başına elektrikli araç sahipliği hesaplanır. EVCS kuruluş ölçeğini ve şarj gereksinimlerinin dağıtım yönlerini ölçer.Bu, yerleşim topluluğundaki toplam EV sayısının toplam nüfusa oranıdır ve yalnızca hedef toplulukta şu anda ikamet edenlerin şarj gereksinimlerinin boyutunu yansıtmakla kalmaz, aynı zamanda farklı topluluklardaki EV'lerin gelişim durumunu da ifade eder, bu nedenle kişi başına elektrikli araç sahipliğinin hesaba katılması tercih edilir (Rani vd., 2021, Wu vd., 2017).

Tablo 4.14 Elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimi kriterleri ve tanımları (devamı)

K5 Kentsel Özellikler	K52: Alışveriş merkezlerine yakınlık	Alışveriş merkezleri, sosyal ve ekonomik etkileşimin yoğunlaştığı alanlardır. Bu nedenle, elektrikli araç şarj istasyonlarının AVM'lere yakın konumlandırılması, kullanıcı erişilebilirliği açısından önemli görülmektedir (Güler vd., 2018; Bilgilioğlu, 2022).
	K53: Park alanlarına yakınlık	Park uyumluluğu, ortalama trafik akışı ve potansiyel istasyon kullanımı hakkında fikir verir. Önerilen EVCS sahalarının yakınındaki park alanlarının mevcudiyetini ve uygunluğunu değerlendirir (Özçekiç, 2024).
	K54: Ulaşım istasyonlarına yakınlık	Elektrikli araç kullanıcılarının şarj işlemi sırasında toplu taşıma hizmetlerinden faydalanabilmesi, şehrin çeşitli bölgelerini birbirine bağlayan ulaşım merkezlerine yakın alanlarda şarj istasyonlarının kurulmasını önemli hale getirmektedir. Bu durum, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılmasında dikkate alınan temel etkenlerden biridir (Bilgilioğlu, 2022; Güler vd., 2020; Karolelmas vd., 2021).
K6 Ekonomi	K61: Kurulum maliyeti	Arazi maliyeti, yıkım maliyeti, ekipman maliyeti, proje yatırım maliyeti başlıca olmak üzere toplam maliyetin dikkate alınmasıdır (Guo vd., 2015, Wu, 2016, Zhou, 2020).
	K62: Yatırım geri ödeme süresi	Yatırım geri ödeme süresi, toplam inşaat yatırımının getiri hızını yansıtır. Yatırımın risk profili de dikkate alınır (Wu vd., 2017).
	K63: İstasyon geliştirme maliyeti	Gelecekte yeniden şekillendirme, geliştirme maliyetlerini göz önünde bulundurmak (Rani vd., 2021).
	K64: Yıllık operasyon ve bakım maliyeti	Günlük işletme, bakım ve amortisman giderleri toplam maliyet içinde yer almakta olup, kârlılığı doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, söz konusu maliyetler değerlendirme sürecinde dikkate alınması gereken temel unsurlar arasında yer almaktadır (Aybirdi, 2021).

Tablo 4.14’de açıklamaları ile birlikte verilen 21 alt kriter kendi içlerinde karar vericilere göre önem derecelerini belirlemek için SWARA metoduyla en önemlisi 1 olacak şekilde sıralanmıştır. Çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu yapan bir firmada çalışan 3 farklı karar vericinin görüşlerine başvurulmuştur. Her bir karar vericinin ağırlık kat sayısı eşit baz alınmıştır.

Tablo 4.15’de karar verici 1 için SWARA sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.15 Karar verici 1 için SWARA yönteminin sonuçları

Sıralama	Kriter	S_j	K_j	q_j	w_j
1	K62: Yatırım geri ödeme süresi		1	1	0,12
2	K61: Kurulum maliyeti	0,15	1,15	0,87	0,11
3	K12: Erişilebilirlik	0,05	1,05	0,83	0,10
4	K43: Elektrik altyapısı	0,05	1,05	0,79	0,10
5	K32: Trafo merkezlerine yakınlık	0,05	1,05	0,75	0,09
6	K14: Kentsel yol ağı	0,15	1,15	0,65	0,08
7	K33: Mevcut elektrikli şarj istasyonlarına yakınlık	0,2	1,2	0,54	0,07
8	K11: Servis kapasitesi	0,2	1,2	0,45	0,06
9	K52: Alışveriş merkezlerine yakınlık	0,4	1,4	0,32	0,04
10	K53: Park alanlarına yakınlık	0,4	1,4	0,23	0,03
11	K51: Nüfus	0,05	1,05	0,22	0,03
12	K21: Eğitim	0,1	1,1	0,20	0,02
13	K41: Ekipman teknoloji seviyesi	0,05	1,05	0,19	0,02
14	K13: Trafik durumu	0,2	1,2	0,16	0,02
15	K31: Petrol istasyonlarına yakınlık	0,15	1,15	0,14	0,02
16	K22: Ortalama sıcaklık	0,1	1,1	0,13	0,02
17	K63: İstasyon geliştirme maliyeti	0,05	1,05	0,12	0,01
18	K64: Yıllık operasyon ve bakım maliyeti	0,05	1,05	0,11	0,01
19	K54: Ulaşım istasyonlarına yakınlık	0,05	1,05	0,11	0,01
20	K42: Acil durum desteği	0,05	1,05	0,10	0,01
21	K23: Orman alanlarına yakınlık	0,05	1,05	0,10	0,01

Tablo 4.15’de verilen bilgilere göre karar verici 1 için en önemli kriter yatırım geri ödeme süresi iken, önem düzeyi en düşük olan kriter ise orman alanlarına yakınlık olmuştur.

Tablo 4.16’da karar verici 2 için SWARA sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.16 Karar verici 2 için SWARA yönteminin sonuçları

Sıralama	Kriter	S_j	K_j	q_j	w_j
1	K62: Yatırım geri ödeme süresi		1	1,00	0,10
2	K61: Kurulum maliyeti	0,05	1,05	0,95	0,10
3	K12: Erişilebilirlik	0,05	1,05	0,91	0,09
4	K64: Yıllık operasyon ve bakım maliyeti	0,05	1,05	0,86	0,09
5	K63: İstasyon geliştirme maliyeti	0,15	1,15	0,75	0,08
6	K41: Ekipman teknoloji seviyesi	0,10	1,1	0,68	0,07
7	K42: Acil durum desteği	0,05	1,05	0,65	0,07
8	K23: Orman alanlarına yakınlık	0,10	1,1	0,59	0,06
9	K51: Nüfus	0,10	1,1	0,54	0,05
10	K43: Elektrik altyapısı	0,05	1,05	0,51	0,05
11	K32: Trafo merkezlerine yakınlık	0,05	1,05	0,49	0,05
12	K14: Kentsel yol ağı	0,15	1,15	0,42	0,04
13	K33: Mevcut elektrikli şarj istasyonlarına yakınlık	0,20	1,2	0,35	0,04
14	K11: Servis kapasitesi	0,20	1,2	0,29	0,03
15	K52: Alışveriş merkezlerine yakınlık	0,40	1,4	0,21	0,02
16	K53: Park alanlarına yakınlık	0,20	1,2	0,18	0,02
17	K21: Eğitim	0,20	1,2	0,15	0,01
18	K13: Trafik durumu	0,05	1,05	0,14	0,01
19	K31: Petrol istasyonlarına yakınlık	0,30	1,3	0,11	0,01
20	K22: Ortalama sıcaklık	0,20	1,2	0,09	0,01
21	K54: Ulaşım istasyonlarına yakınlık	0,30	1,3	0,07	0,01

Tablo 4.16’da verilen bilgilere göre karar verici 2 için en önemli kriter yatırım geri ödeme süresi iken, önem düzeyi en düşük olan kriter ise ulaşım istasyonlarına yakınlık olmuştur.

Tablo 4.17’de karar verici 3 için SWARA sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.17 Karar verici 3 için SWARA methodunun sonuçları

Sıralama	Kriter	S_j	K_j	q_j	w_j
1	K62: Yatırım geri ödeme süresi		1	1,00	0,12
2	K61: Kurulum maliyeti	0,1	1,1	0,91	0,11
3	K12: Erişilebilirlik	0,1	1,1	0,83	0,10
4	K64: Yıllık operasyon ve bakım maliyeti	0,15	1,15	0,72	0,08
5	K63: İstasyon geliştirme maliyeti	0,2	1,2	0,60	0,07
6	K41: Ekipman teknoloji seviyesi	0,05	1,05	0,57	0,07
7	K42: Acil durum desteği	0,05	1,05	0,54	0,06
8	K51: Nüfus	0,3	1,3	0,42	0,05
9	K43: Elektrik altyapısı	0,1	1,1	0,38	0,04
10	K32: Trafo merkezlerine yakınlık	0,05	1,05	0,36	0,04
11	K14: Kentsel yol ağı	0,1	1,1	0,33	0,04
12	K33: Mevcut elektrikli şarj istasyonlarına yakınlık	0,05	1,05	0,31	0,04
13	K11: Servis kapasitesi	0,05	1,05	0,30	0,03
14	K13: Trafik durumu	0,15	1,15	0,26	0,03
15	K23: Orman alanlarına yakınlık	0,05	1,05	0,25	0,03
16	K22: Ortalama sıcaklık	0,05	1,05	0,24	0,03

Tablo 4.17 Karar verici 3 için SWARA methodunun sonuçları (devamı)

Sıralama	Kriter	S_j	K_j	q_j	w_j
17	K52: Alışveriş merkezlerine yakınlık	0,3	1,3	0,18	0,02
18	K53: Park alanlarına yakınlık	0,3	1,3	0,14	0,02
19	K21: Eğitim	0,25	1,25	0,11	0,01
20	K31: Petrol istasyonlarına yakınlık	0,05	1,05	0,11	0,01
21	K54: Ulaşım istasyonlarına yakınlık	0,3	1,3	0,08	0,01

Tablo 4.17’de verilen bilgilere göre karar verici 3 için en önemli kriter yatırım geri ödeme süresi iken, önem düzeyi en düşük olan kriter ise ulaşım istasyonlarına yakınlık olmuştur.

Karar vericiler tarafından belirlenen kriterin göreceli ağırlıkları (w_j), geometrik ortalama ile birleştirilmiş ve Tablo 4.18’de gösterilmiştir.

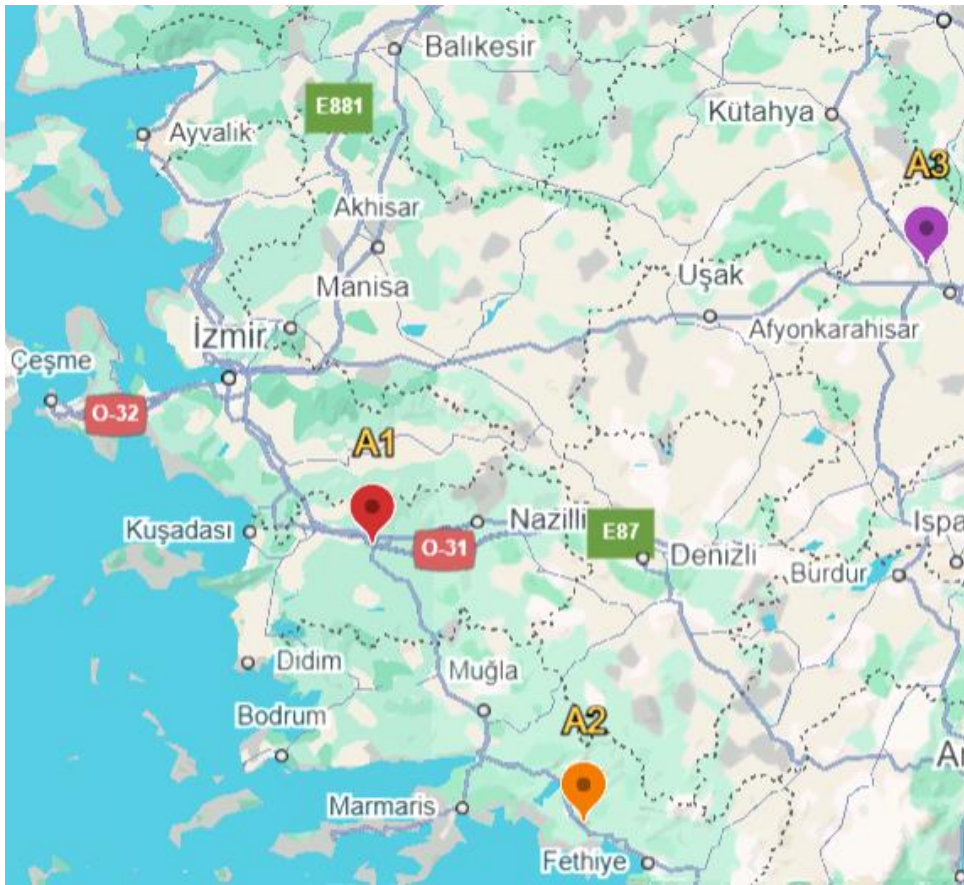
Tablo 4.18 Birleştirilmiş kriter ağırlıkları

Kriterler	KV1	KV2	KV3	w_j	Normalize Değer	Sıralama
K11: Servis kapasitesi	0,06	0,03	0,03	0,0387	0,0415	12
K12: Erişilebilirlik	0,10	0,09	0,10	0,0966	0,1038	3
K13: Trafik durumu	0,02	0,01	0,03	0,0203	0,0218	16
K14: Kentsel yol ağı	0,08	0,04	0,04	0,0510	0,0547	6
K21: Eğitim	0,02	0,01	0,01	0,0168	0,0180	18
K22: Ortalama sıcaklık	0,02	0,01	0,03	0,0156	0,0168	19
K23: Orman alanlarına yakınlık	0,01	0,06	0,03	0,0275	0,0296	14
K31: Petrol istasyonlarına yakınlık	0,02	0,01	0,01	0,0132	0,0141	20
K32: Trafo merkezlerine yakınlık	0,09	0,05	0,04	0,0577	0,0620	5
K33: Mevcut elektrikli şarj istasyonlarına yakınlık	0,07	0,04	0,04	0,0444	0,0477	9
K41: Ekipman teknoloji seviyesi	0,02	0,07	0,07	0,0476	0,0511	7
K42: Acil durum desteği	0,01	0,07	0,06	0,0376	0,0404	13
K43: Elektrik altyapısı	0,10	0,05	0,04	0,0606	0,0651	4
K51: Nüfus	0,03	0,05	0,05	0,0416	0,0447	11
K52: Alışveriş merkezlerine yakınlık	0,04	0,02	0,02	0,0262	0,0281	15
K53: Park alanlarına yakınlık	0,03	0,02	0,02	0,0202	0,0217	17
K54: Ulaşım istasyonlarına yakınlık	0,01	0,01	0,01	0,0096	0,0103	21
K61: Kurulum maliyeti	0,11	0,10	0,11	0,1030	0,1107	2
K62: Yatırım geri ödeme süresi	0,12	0,10	0,12	0,1133	0,1216	1
K63: İstasyon geliştirme maliyeti	0,01	0,08	0,07	0,0428	0,0459	10
K64: Yıllık operasyon ve bakım maliyeti	0,01	0,09	0,08	0,0469	0,0503	8

Tablo 4.18’de verilen birleştirilmiş kriter ağırlıklarının sıralamasına göre kriterlerin önem sırasında ilk sırada “Yatırım geri ödeme süresi” yer almaktadır. Daha sonra

sırasıyla “Kurulum maliyeti”, “Erişilebilirlik”, “Elektrik altyapısı” ve “Trafo merkezlerine yakınlık” da önemli kriterler arasında yer almaktadır. Burada karar vericilerin 21 kriter arasında görece önem sırası en son sırada belirttiği kriter ise “Orman alanlarına yakınlık” olmuştur.

Bulanık çıkarım Mamdani yönteminden de faydalanarak GAMS ile optimize ettiğimiz alternatif lokasyonların yer seçimini ilgili kriterleri baz alarak Bulanık TOPSIS yöntemiyle belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.15’de alternatif lokasyonların Türkiye haritası üzerindeki konumları gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Alternatif lokasyonların Türkiye haritası üzerindeki gösterimi

Optimizasyondan elde ettiğimiz Ege Bölgesi üç farklı alternatif lokasyonun yerleşimi Türkiye haritası üzerinde Şekil 4.15 ‘te verilmiştir. Bu alternatif lokasyonlar sırasıyla Aydın/Merkez, Muğla/Dalaman, Afyon/Sinanpaşa olmuştur. Bu üç lokasyona elektrikli araç şarj istasyonu kurulması halinde modelin sunmuş olduğu optimum fayda elde edilecektir.

Optimum lokasyon olarak elde edilen bu üç lokasyonu da kendi içinde önceliklendirmek istediğimizde ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanacağız.

Kriterler belirlendikten sonra amaca yönelik karar hiyerarşisi oluşturulmuştur. Karar hiyerarşisinde 21 adet kriter/ölçüt ve üç adet alternatif lokasyon almaktadır. Yatırım için üç adet alternatif lokasyonun değerlendirilmesi yapılmıştır. 21 adet kriter ile alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında öncelikle kriter türleri fayda/maliyet olarak aşağıdaki Tablo 4.19 ile açıklanmıştır.

Tablo 4.19 Kriter türleri fayda/maliyet belirlenmesi

Kriter	Açıklama	Türü
K11: Servis kapasitesi	Kapasite yüksek olmalı	Fayda
K12: Erişilebilirlik	Yüksek olmalı	Fayda
K13: Trafik durumu	Düşük olmalı	Maliyet
K14: Kentsel yol ağı	Geniş olmalı	Fayda
K21: Eğim	Düşük olmalı	Maliyet
K22: Ortalama sıcaklık	Uygun aralıkta olmalı (varsayılan: düşük sapma)	Maliyet
K23: Orman alanlarına yakınlık	Uzak olmalı (yangın riski)	Maliyet
K31: Petrol istasyonlarına yakınlık	Yakın olmalı	Fayda
K32: Trafo merkezlerine yakınlık	Yakın olmalı	Fayda
K33: Mevcut elektrikli şarj istasyonlarına yakınlık	Yakın olmalı	Fayda
K41: Ekipman teknoloji seviyesi	Yüksek olmalı	Fayda
K42: Acil durum desteği	Yüksek olmalı	Fayda
K43: Elektrik altyapısı	Güçlü olmalı	Fayda
K51: Nüfus	Fazla olmalı (potansiyel kullanıcı)	Fayda
K52: Alışveriş merkezlerine yakınlık	Yakın olmalı	Fayda
K53: Park alanlarına yakınlık	Yakın olmalı	Fayda
K54: Ulaşım istasyonlarına yakınlık	Yakın olmalı	Fayda
K61: Kurulum maliyeti	Düşük olmalı	Maliyet
K62: Yatırım geri ödeme süresi	Düşük olmalı	Maliyet
K63: İstasyon geliştirme maliyeti	Düşük olmalı	Maliyet
K64: Yıllık operasyon ve bakım maliyeti	Düşük olmalı	Maliyet

Tablo 4.19’da verilen fayda/maliyet türleri karar matrislerinde kullanılacaktır.

KV1, KV2 ve KV3 karar vericileri için alternatif lokasyonlara ait dilsel değerlendirmeler Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20 KV1, KV2 ve KV3 için alternatif dilsel değerlendirmeleri

	KV1			KV2			KV3		
Kriter	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
K11	O	O	O	ODY	O	O	ODY	O	ODY
K12	Y	ODY	O	ÇY	ODY	O	Y	ODY	O
K13	D	O	ODY	D	O	O	D	ODD	O
K14	ODY	O	O	ODY	ODY	O	ODY	O	ODY
K21	D	ODD	O	D	D	ODD	D	ODD	O
K22	O	O	O	O	O	O	O	O	O
K23	O	ODD	D	O	O	D	ODY	O	D
K31	O	O	ODY	O	O	ODY	O	ODY	ODY
K32	Y	ODY	O	Y	O	O	Y	ODY	ODY
K33	ODY	O	O	ODY	ODY	O	ODY	O	O
K41	O	ODY	Y	ODY	Y	Y	O	ODY	Y
K42	D	O	ODY	O	O	ODY	ODD	O	O
K43	Y	ODY	O	ODY	O	O	Y	ODY	O
K51	O	ODY	O	ODY	O	ODD	O	O	O
K52	ODD	O	O	O	ODD	O	O	ODD	ODD
K53	O	O	ODY	O	ODY	O	O	ODY	O
K54	ODD	D	O	ODD	D	O	O	O	ODY
K61	ODD	O	D	ODD	ODY	D	O	ODD	D
K62	D	ODD	O	O	O	ODD	O	ODY	ODD
K63	D	ODY	O	D	ODY	O	ODD	ODY	ODD
K64	O	ODY	ODD	ODY	Y	O	O	ODY	ODD

(ÇD: Çok Düşük, D: Düşük, ODD: Orta Derecede Düşük, O: Orta, ODY: Orta Derecede Yüksek, Y: Yüksek, ÇY: Çok Yüksek)

Tablo 4.20’de verilen her bir karar vericinin üç alternatif için belirlediği dilsel değişken ifadeleri verilmiştir. Bu dilsel ifadelere karşılık gelen bulanık sayılar ise her bir karar verici için karşılık gelen değerlere dönüştürülür.

Tablo 4.21’de KV1 için dilsel değişkenler her bir alternatif için bulanık sayıya dönüştürülmüştür.

Tablo 4.21 KV1 için dilsel değişkenlerin bulanık sayıya dönüştürülmesi ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)

KV1			
Kriter/Alternatif	A1	A2	A3
	Bulanık sayı	Bulanık sayı	Bulanık sayı
K11	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K12	(7; 9; 10)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)

Tablo 4.21 KV1 için dilsel değişkenlerin bulanık sayıya dönüştürülmesi ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$) (devamı)

Kriter/Alternatif	A1	A2	A3
K13	(0; 1; 3)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K14	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K21	(0; 1; 3)	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)
K22	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K23	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)	(0; 1; 3)
K31	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K32	(7; 9; 10)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K33	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K41	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(7; 9; 10)
K42	(0; 1; 3)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K43	(7; 9; 10)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K51	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K52	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K53	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K54	(1; 3; 5)	(0; 1; 3)	(3; 5; 7)
K61	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)	(0; 1; 3)
K62	(0; 1; 3)	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)
K63	(0; 1; 3)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K64	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(1; 3; 5)

Tablo 4.21’de KV1 için belirlenen dilsel değişkenler Chen (2000) tarafından belirlenen üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Karar verici “çok yüksek” ve “çok düşük” değerlendirmesinde bulunmamıştır. Tablo 4.22’de KV2 için dilsel değişkenler her bir alternatif için bulanık sayıya dönüştürülmüştür.

Tablo 4.22 KV2 için dilsel değişkenlerin bulanık sayıya dönüştürülmesi ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)

KV2			
Kriter/Alternatif	A1	A2	A3
	Bulanık sayı	Bulanık sayı	Bulanık sayı
K11	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K12	(9; 10; 10)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K13	(0; 1; 3)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K14	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K21	(0; 1; 3)	(0; 1; 3)	(1; 3; 5)
K22	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K23	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(0; 1; 3)
K31	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K32	(7; 9; 10)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K33	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K41	(5; 7; 9)	(7; 9; 10)	(7; 9; 10)
K42	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K43	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K51	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)
K52	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)
K53	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K54	(1; 3; 5)	(0; 1; 3)	(3; 5; 7)
K61	(1; 3; 5)	(5; 7; 9)	(0; 1; 3)

Tablo 4.22 KV2 için dilsel değişkenlerin bulanık sayıya dönüştürülmesi ($\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u}$) (devamı)

Kriter/Alternatif	A1	A2	A3
K62	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)
K63	(0; 1; 3)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K64	(5; 7; 9)	(7; 9; 10)	(3; 5; 7)

Tablo 4.22’de KV2 için belirlenen dilsel değişkenler Chen (2000) tarafından belirlenen üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Karar verici değerlendirmelerinde “çok düşük” değerlendirmesinde bulunmamıştır.

Tablo 4.23’de KV3 için dilsel değişkenler her bir alternatif için bulanık sayıya dönüştürülmüştür.

Tablo 4.23 KV3 için dilsel değişkenlerin bulanık sayıya dönüştürülmesi ($\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u}$)

KV3			
Kriter/Alternatif	A1	A2	A3
	Bulanık sayı	Bulanık sayı	Bulanık sayı
K11	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K12	(7; 9; 10)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K13	(0; 1; 3)	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)
K14	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K21	(0; 1; 3)	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)
K22	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K23	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(0; 1; 3)
K31	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)
K32	(7; 9; 10)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)
K33	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K41	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(7; 9; 10)
K42	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K43	(7; 9; 10)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K51	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K52	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)	(1; 3; 5)
K53	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K54	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)
K61	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)	(0; 1; 3)
K62	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(1; 3; 5)
K63	(1; 3; 5)	(5; 7; 9)	(1; 3; 5)
K64	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(1; 3; 5)

Tablo 4.23’de KV3 için belirlenen dilsel değişkenler Chen (2000) tarafından belirlenen üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Karar verici değerlendirmelerinde “çok düşük” ve “çok yüksek” değerlendirmesinde bulunmamıştır.

Her bir karar vericinin her bir kriter ve her bir alternatif için belirledikleri dilsel ifadeler referans alınarak dönüştürülen bulanık sayı değerlerinin ortalaması alınarak

birleşik bulanık karar matrisi oluşturulur. Birleşik değer için ise $(\tilde{l}_{min}; \tilde{m}_{ort}; \tilde{u}_{max})$ alınarak birleştirilmiş bulanık karar matrisi Tablo 4.24’de oluşturulmuştur.

Tablo 4.24 Karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirilmiş bulanık karar matrisi $(\tilde{l}_{min}; \tilde{m}_{ort}; \tilde{u}_{max})$

Kriter	Kriter türü	A1 $(\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u})$	A2 $(\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u})$	A3 $(\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u})$
K11	Fayda	(3; 6,33; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5,67; 9)
K12	Fayda	(7; 9,33; 10)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
K13	Maliyet	(0; 1; 3)	(1; 4,33; 7)	(3; 5,67; 9)
K14	Fayda	(5; 7; 9)	(3; 5,67; 9)	(3; 5,67; 9)
K21	Maliyet	(0; 1; 3)	(0; 2,33; 5)	(1; 4,33; 7)
K22	Maliyet	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
K23	Maliyet	(3; 5,67; 9)	(1; 4,33; 7)	(0; 1; 3)
K31	Fayda	(3; 5; 7)	(3; 5,67; 9)	(5; 7; 9)
K32	Fayda	(7; 9; 10)	(3; 6,33; 9)	(3; 5,67; 9)
K33	Fayda	(5; 7; 9)	(3; 5,67; 9)	(3; 5; 7)
K41	Fayda	(3; 5,67; 9)	(5; 7,67; 10)	(7; 9; 10)
K42	Fayda	(0; 3; 7)	(3; 5; 7)	(3; 6,33; 9)
K43	Fayda	(5; 8,33; 10)	(3; 6,33; 9)	(3; 5; 7)
K51	Fayda	(3; 5,67; 9)	(3; 5,67; 9)	(1; 4,33; 7)
K52	Fayda	(1; 4,33; 7)	(1; 3,67; 7)	(1; 4,33; 7)
K53	Fayda	(3; 5; 7)	(3; 6,33; 9)	(3; 5,67; 9)
K54	Fayda	(1; 3,67; 7)	(0; 2,33; 7)	(3; 5,67; 9)
K61	Maliyet	(1; 3,67; 7)	(1; 5; 9)	(0; 1; 3)
K62	Maliyet	(0; 3,67; 7)	(1; 5; 9)	(1; 3,67; 7)
K63	Maliyet	(0; 1,67; 5)	(5; 7; 9)	(1; 4,33; 7)
K64	Maliyet	(3; 5,67; 9)	(5; 7,67; 10)	(1; 3,67; 7)

Birleştirilmiş karar matrisinde sıfır gelen değerler normalize hesaplanırken paydada kullanıldığında matematiksel belirsizlik oluşturacağından bu durumun önüne geçmek için sıfıra çok yakın küçük bir pozitif sabit değer olan **0,01** kullanılmıştır. Bu tür sabitler, hesaplamalarda sayısal kararlılığı sağlamak ve hata oluşumunu engellemek amacıyla literatürde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu tür sabitlerin kullanımı, sayısal kararsızlığı önlemek ve işlemde hatayı engellemek amacıyla kullanılır (Dahlquist & Björck, 2008; IEEE, 2008). Birleştirilmiş karar matrisinin normalize edilmiş bulanık karar matrisi Tablo 4.25’de verilmiştir.

Tablo 4.25 Normalize edilmiş bulanık karar matrisi $(\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u})$

Kriter	Kriter Türü	A1 n $(\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u})$	A2 n $(\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u})$	A3 n $(\tilde{l}; \tilde{m}; \tilde{u})$
K11	Fayda	(0,333; 0,703; 1)	(0,333; 0,556; 0,778)	(0,333; 0,63; 1)
K12	Fayda	(0,7; 0,933; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)
K13	Maliyet	(0,003; 0,01; 1)	(0,001; 0,002; 0,01)	(0,001; 0,002; 0,003)

Tablo 4.25 Normalize edilmiş bulanık karar matrisi ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$) (devamı)

Kriter	Kriter Türü	A1 n ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)	A2 n ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)	A3 n ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)
K14	Fayda	(0,556; 0,778; 1)	(0,333; 0,63; 1)	(0,333; 0,63; 1)
K21	Maliyet	(0,003; 0,01; 1)	(0,002; 0,004; 1)	(0,001; 0,002; 0,01)
K22	Maliyet	(0,429; 0,6; 1)	(0,429; 0,6; 1)	(0,429; 0,6; 1)
K23	Maliyet	(0,001; 0,002; 0,003)	(0,001; 0,002; 0,01)	(0,003; 0,01; 1)
K31	Fayda	(0,333; 0,556; 0,778)	(0,333; 0,63; 1)	(0,556; 0,778; 1)
K32	Fayda	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,633; 0,9)	(0,3; 0,567; 0,9)
K33	Fayda	(0,556; 0,778; 1)	(0,333; 0,63; 1)	(0,333; 0,556; 0,778)
K41	Fayda	(0,3; 0,567; 0,9)	(0,5; 0,767; 1)	(0,7; 0,9; 1)
K42	Fayda	(0,001; 0,333; 0,778)	(0,333; 0,556; 0,778)	(0,333; 0,703; 1)
K43	Fayda	(0,5; 0,833; 1)	(0,3; 0,633; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)
K51	Fayda	(0,333; 0,63; 1)	(0,333; 0,63; 1)	(0,111; 0,481; 0,778)
K52	Fayda	(0,143; 0,619; 1)	(0,143; 0,524; 1)	(0,143; 0,619; 1)
K53	Fayda	(0,333; 0,556; 0,778)	(0,333; 0,703; 1)	(0,333; 0,63; 1)
K54	Fayda	(0,111; 0,408; 0,778)	(0,001; 0,259; 0,778)	(0,333; 0,63; 1)
K61	Maliyet	(0,001; 0,003; 0,01)	(0,001; 0,002; 0,01)	(0,003; 0,01; 1)
K62	Maliyet	(0,001; 0,003; 1)	(0,001; 0,002; 0,01)	(0,001; 0,003; 0,01)
K63	Maliyet	(0,002; 0,006; 1)	(0,001; 0,001; 0,002)	(0,001; 0,002; 0,01)
K64	Maliyet	(0,111; 0,176; 0,333)	(0,1; 0,13; 0,2)	(0,143; 0,272; 1)

Chen (2000)'nin önerdiği yaklaşıma göre, eğer bulanık karar matrisinde ilgili kriter fayda yönlü ise en büyüklenir, eğer maliyet yönlü ise en küçüklenir. Böylece normalize edilmiş karar matrisi elde edilir. Normalize edilen değerler, kriter türüne göre (fayda/maliyet) hesaplanarak Tablo 4.25 'deki gibi elde edilmiştir.

Normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edildikten sonra SWARA metoduyla elde ettiğimiz kriter ağırlıklarından faydalananarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi Tablo 4.26'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.26 Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)

Kriter	A1 w ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)	A2 w ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)	A3 w ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)
K11	(0,0138; 0,0292; 0,0415)	(0,0138; 0,0231; 0,0323)	(0,0138; 0,0262; 0,0415)
K12	(0,0726; 0,0968; 0,1038)	(0,0519; 0,0726; 0,0934)	(0,0311; 0,0519; 0,0726)
K13	(0,0001; 0,0002; 0,0218)	(0; 0,0001; 0,0002)	(0; 0; 0,0001)
K14	(0,0304; 0,0426; 0,0547)	(0,0182; 0,0345; 0,0547)	(0,0182; 0,0345; 0,0547)
K21	(0,0001; 0,0002; 0,018)	(0; 0,0001; 0,018)	(0; 0; 0,0002)
K22	(0,0072; 0,0101; 0,0168)	(0,0072; 0,0101; 0,0168)	(0,0072; 0,0101; 0,0168)
K23	(0; 0,0001; 0,0001)	(0; 0,0001; 0,0003)	(0,0001; 0,0003; 0,0296)
K31	(0,0047; 0,0079; 0,011)	(0,0047; 0,0089; 0,0141)	(0,0079; 0,011; 0,0141)
K32	(0,0434; 0,0558; 0,062)	(0,0186; 0,0393; 0,0558)	(0,0186; 0,0352; 0,0558)

Tablo 4.26 Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$) (devamı)

Kriter	A1 w ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)	A2 w ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)	A3 w ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)
K33	(0,0265; 0,0371; 0,0477)	(0,0159; 0,03; 0,0477)	(0,0159; 0,0265; 0,0371)
K41	(0,0153; 0,029; 0,046)	(0,0256; 0,0392; 0,0511)	(0,0358; 0,046; 0,0511)
K42	(0; 0,0135; 0,0314)	(0,0135; 0,0224; 0,0314)	(0,0135; 0,0284; 0,0404)
K43	(0,0326; 0,0542; 0,0651)	(0,0195; 0,0412; 0,0586)	(0,0195; 0,0326; 0,0456)
K51	(0,0149; 0,0281; 0,0447)	(0,0149; 0,0281; 0,0447)	(0,005; 0,0215; 0,0347)
K52	(0,004; 0,0174; 0,0281)	(0,004; 0,0147; 0,0281)	(0,004; 0,0174; 0,0281)
K53	(0,0072; 0,012; 0,0168)	(0,0072; 0,0152; 0,0217)	(0,0072; 0,0136; 0,0217)
K54	(0,0011; 0,0042; 0,008)	(0; 0,0027; 0,008)	(0,0034; 0,0065; 0,0103)
K61	(0,0002; 0,0003; 0,0011)	(0,0001; 0,0002; 0,0011)	(0,0004; 0,0011; 0,1107)
K62	(0,0002; 0,0003; 0,1216)	(0,0001; 0,0002; 0,0012)	(0,0002; 0,0003; 0,0012)
K63	(0,0001; 0,0003; 0,0459)	(0,0001; 0,0001; 0,0001)	(0,0001; 0,0001; 0,0005)
K64	(0,0056; 0,0089; 0,0168)	(0,005; 0,0066; 0,0101)	(0,0072; 0,0137; 0,0503)

Tablo 4.26’da bulunan matriste, normalize bulanık karar matrisi değerleri, SWARA yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılarak, alternatiflerin kriterler açısından göreceli önemi yansıtılmıştır.

Tablo 4.27’de FPIS ve FNIS değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 4.27 Bulanık pozitif ve negatif ideal çözüm noktaları (FPIS ve FNIS)

	FPIS ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)	FNIS ($\tilde{l}$; $\tilde{m}$; $\tilde{u}$)
K11	(0,0138; 0,0292; 0,0415)	(0,0138; 0,0231; 0,0323)
K12	(0,0726; 0,0968; 0,1038)	(0,0311; 0,0519; 0,0726)
K13	(0,0001; 0,0002; 0,0218)	(0; 0; 0,0001)
K14	(0,0304; 0,0426; 0,0547)	(0,0182; 0,0345; 0,0547)
K21	(0,0001; 0,0002; 0,018)	(0; 0; 0,0002)
K22	(0,0072; 0,0101; 0,0168)	(0,0072; 0,0101; 0,0168)
K23	(0,0001; 0,0003; 0,0296)	(0; 0,0001; 0,0001)
K31	(0,0079; 0,011; 0,0141)	(0,0047; 0,0079; 0,011)
K32	(0,0434; 0,0558; 0,062)	(0,0186; 0,0352; 0,0558)
K33	(0,0265; 0,0371; 0,0477)	(0,0159; 0,0265; 0,0371)
K41	(0,0358; 0,046; 0,0511)	(0,0153; 0,029; 0,046)
K42	(0,0135; 0,0284; 0,0404)	(0; 0,0135; 0,0314)
K43	(0,0326; 0,0542; 0,0651)	(0,0195; 0,0326; 0,0456)
K51	(0,0149; 0,0281; 0,0447)	(0,005; 0,0215; 0,0347)
K52	(0,004; 0,0174; 0,0281)	(0,004; 0,0147; 0,0281)
K53	(0,0072; 0,0152; 0,0217)	(0,0072; 0,012; 0,0168)
K54	(0,0034; 0,0065; 0,0103)	(0; 0,0027; 0,008)
K61	(0,0004; 0,0011; 0,1107)	(0,0001; 0,0002; 0,0011)
K62	(0,0002; 0,0003; 0,1216)	(0,0001; 0,0002; 0,0012)
K63	(0,0001; 0,0003; 0,0459)	(0,0001; 0,0001; 0,0001)
K64	(0,0072; 0,0137; 0,0503)	(0,005; 0,0066; 0,0101)

Tablo 4.27’de 21 kriter için fayda/maliyet türüne göre belirlenen bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve negatif ideal çözüm (FNIS) değerleri üçgen bulanık sayı ile

gösterilmektedir. FPIS, en iyi performans değerlerini; FNIS ise en kötü performans değerlerini temsil etmektedir.

D^+ alternatiflerin pozitif ideal çözüme uzaklığını ifade ederken, D^- alternatiflerin negatif ideal çözüme olan uzaklığını ifade etmektedir.

Tablo 4.28’de alternatiflerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözümlere olan bulanık uzaklıkları verilmiştir.

Tablo 4.28 Alternatiflerin pozitif (D^+) ve negatif (D^-) ideal çözümlere olan bulanık uzaklıkları

	D^+				D^-		
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
K11	0,0000	0,0064	0,0018	K11	0,0064	0,0000	0,0056
K12	0,0000	0,0193	0,0396	K12	0,0396	0,0208	0,0000
K13	0,0000	0,0124	0,0125	K13	0,0125	0,0001	0,0000
K14	0,0000	0,0084	0,0084	K14	0,0084	0,0000	0,0000
K21	0,0000	0,0001	0,0103	K21	0,0103	0,0103	0,0000
K22	0,0000	0,0000	0,0000	K22	0,0000	0,0000	0,0000
K23	0,0170	0,0169	0,0000	K23	0,0000	0,0001	0,0170
K31	0,0031	0,0022	0,0000	K31	0,0000	0,0019	0,0031
K32	0,0000	0,0176	0,0190	K32	0,0190	0,0024	0,0000
K33	0,0000	0,0073	0,0106	K33	0,0106	0,0065	0,0000
K41	0,0156	0,0071	0,0000	K41	0,0000	0,0089	0,0156
K42	0,0127	0,0062	0,0000	K42	0,0000	0,0093	0,0127
K43	0,0000	0,0113	0,0185	K43	0,0185	0,0090	0,0000
K51	0,0000	0,0000	0,0090	K51	0,0090	0,0090	0,0000
K52	0,0000	0,0015	0,0000	K52	0,0015	0,0000	0,0015
K53	0,0033	0,0000	0,0009	K53	0,0000	0,0033	0,0029
K54	0,0023	0,0032	0,0000	K54	0,0011	0,0000	0,0032
K61	0,0633	0,0633	0,0000	K61	0,0001	0,0000	0,0633
K62	0,0000	0,0695	0,0695	K62	0,0695	0,0000	0,0001
K63	0,0000	0,0265	0,0263	K63	0,0265	0,0000	0,0002
K64	0,0196	0,0236	0,0000	K64	0,0041	0,0000	0,0236
	0,1370	0,3030	0,2264		0,2371	0,0815	0,1490

Tablo 4.28’de her bir alternatifin pozitif ideal çözüme (D^+) ve negatif ideal çözüme (D^-) olan bulanık uzaklıkları verilmiştir. D^+ , alternatifin ideal çözüme olan uzaklığını; D^- ise negatif ideal çözüme yakınlığını ifade eder. Bu değerler, alternatiflerin göreceli yakınlıklarının (CC_i) hesaplanmasında kullanılacaktır.

Tablo 4.29’da alternatiflerin göreceli yakınlık değerleri verilmiştir.

Tablo 4.29 Alternatiflerin göreceli yakınlık değerleri (CC_i)

Alternatif	CC_i	Rank
A1	0,634	1
A2	0,212	3
A3	0,397	2

Tablo 4.29’da her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklarına göre hesaplanan göreceli yakınlık değerleri (CC_i) verilmiştir. CC_i değeri 1’e ne kadar yakınsa, alternatif ideal çözüme o kadar yakındır. Bu değerlere göre alternatiflerin nihai sıralaması rank alınarak en sağ sütunda gösterilmiştir. Bunun sonucunda A1 (Aydın Efemak Petrol) alternatifinin CC_i değeri 0,634 ile en yüksek olduğundan, ideal çözüme en yakın ve en çok tercih edilmesi gereken alternatiftir. Bu nedenle 1. sırada yer almıştır. A2 (Muğla Dalyan Petrol) alternatifi ise CC_i değeri 0,212 ile ideal çözüme en uzak olan alternatif olup, en düşük performansı göstermiştir ve 3. sırada yer almıştır. Elektrikli araç şarj istasyonu için düşünülen alternatifler arasından A1 (Aydın Efemak Petrol), elektrikli araç şarj istasyonu yatırımcısının ilk olarak istasyon kurması gerektiği lokasyon olarak belirlenmiştir.

Duyarlılık Analizi Senaryoları

Senaryo 1

Tüm kriterler için ağırlıklar eşit olarak alınmıştır. Ağırlıklar 21 kriterin her biri için belirlenen ağırlık 0,0476 değerini almaktadır. Pozitif ve negatif uzaklık değerleri tablo 4.30’daki gibi olmuştur.

Tablo 4.30 Alternatiflerin pozitif (D^+) ve negatif (D^-) ideal çözümlere maksimum ölçekte bulanık uzaklıkları

	D^+				D^-		
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
K11	0,0000	0,0073	0,0020	K11	0,0073	0,0000	0,0064
K12	0,0000	0,0089	0,0182	K12	0,0182	0,0095	0,0000
K13	0,0000	0,0272	0,0274	K13	0,0274	0,0002	0,0000
K14	0,0000	0,0073	0,0073	K14	0,0073	0,0000	0,0000
K21	0,0000	0,0002	0,0272	K21	0,0272	0,0272	0,0000
K22	0,0000	0,0000	0,0000	K22	0,0000	0,0000	0,0000
K23	0,0274	0,0272	0,0000	K23	0,0000	0,0002	0,0274
K31	0,0106	0,0073	0,0000	K31	0,0000	0,0064	0,0106
K32	0,0000	0,0135	0,0146	K32	0,0146	0,0018	0,0000
K33	0,0000	0,0073	0,0106	K33	0,0106	0,0064	0,0000
K41	0,0146	0,0066	0,0000	K41	0,0000	0,0082	0,0146
K42	0,0150	0,0073	0,0000	K42	0,0000	0,0110	0,0150
K43	0,0000	0,0082	0,0135	K43	0,0135	0,0066	0,0000
K51	0,0000	0,0000	0,0096	K51	0,0096	0,0096	0,0000
K52	0,0000	0,0026	0,0000	K52	0,0026	0,0000	0,0026
K53	0,0073	0,0000	0,0020	K53	0,0000	0,0073	0,0064
K54	0,0106	0,0150	0,0000	K54	0,0051	0,0000	0,0150
K61	0,0272	0,0272	0,0000	K61	0,0000	0,0000	0,0272
K62	0,0000	0,0272	0,0272	K62	0,0272	0,0000	0,0000
K63	0,0000	0,0274	0,0272	K63	0,0274	0,0000	0,0002
K64	0,0185	0,0224	0,0000	K64	0,0039	0,0000	0,0224
	0,1312	0,2504	0,1868		0,2019	0,0945	0,1478

Pozitif ve negatif ideal çözümlerin maksimum ölçekte elde edilmiş değerleri ile görelî yakınlık değerleri Tablo 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.31 Alternatiflerin maksimum ölçekte görelî yakınlık değerleri (CC_i)

Alternatif	CC_i	Rank
A1	0,606	1
A2	0,274	3
A3	0,442	2

Tablo 4.31’de, her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklarına göre hesaplanan görelî yakınlık değerleri (CC_i) kriterlerin ağırlıkları eşit baz alınarak bulunmuştur. Bunun sonucunda A1 (Aydın Efemak Petrol) alternatifinin CC_i değeri 0,606 ile en yüksek olduğundan, ideal çözüme en yakın ve en çok tercih edilmesi gereken alternatiftir. Bu nedenle 1. sırada yer almıştır. A2 (Muğla Dalyan Petrol) alternatifi ise CC_i değeri 0,274 ile ideal çözüme en uzak olan alternatif olup, en düşük performansı göstermiştir ve 3. sırada yer almıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus kriter ağırlıklarının eşit alındığında aslında çözüm kümesinde çok düşük değişiklik olduğunu göstermektedir. Alternatif sıralaması değişmemiştir.

Senaryo 2

SWARA yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıklarından başlangıçta 0,12 ile en yüksek ağırlığa sahip olan kriter K62:Yatırım geri ödeme süresi için ağırlıklar 0,1’den başlayıp 0,9’a kadar alınmış olup diğer kriter ağırlıkları aynı oranda azalır, artmıştır.

Pozitif ve negatif ideal çözümlerin başlangıçta en yüksek ağırlık değerine sahip olan K62:Yatırım geri ödeme süresi için farklı ağırlıklar baz alınarak elde edilmiş görelî yakınlık değerleri CC_i Tablo 4.32’de verilmiştir.

Tablo 4.32 K62 ‘nin farklı ölçekte görelî yakınlık değerleri (CC_i)

K62	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
A1	0,638	0,615	0,593	0,558	0,521	0,489	0,461	0,436	0,413
A2	0,209	0,222	0,234	0,252	0,278	0,314	0,351	0,386	0,418
A3	0,393	0,410	0,426	0,443	0,465	0,497	0,527	0,554	0,578

Tablo 4.32’de, her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklarına göre hesaplanan göreceli yakınlık değerleri (CC_i) K62:Yatırım geri ödeme süresi kriterinin farklı ağırlıkları baz alınarak bulunmuştur.

Tablo 4.33’de K62 için elde edilen farklı CC_i değerlerinin rank tablosu verilmiştir.

Tablo 4.33 K62: Yatırım geri ödeme süresi için rank sonuçları

	K62	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Rank	A1	1	1	1	1	1	2	2	2	3
	A2	3	3	3	3	3	3	3	3	2
	A3	2	2	2	2	2	1	1	1	1

Tablo 4.33’de verilen rank sonuçlarına göre K62: Yatırım geri ödeme süresi kriteri için ağırlık 0,1’den 0,5’e kadar CC_i değerlerinde küçük farklar ile rank sonucunun değişmediği ve A1 (Aydın Efemak Petrol)’ün ideal çözüme en yakın ve tercih edilmesi gereken en iyi alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. 0,6’dan 0,8’e kadar rank değişikliği olmuş kendi içlerinde küçük değişiklikler olduğu için üç ağırlık için de rank aynı kalmıştır. K62:Yatırım geri ödeme süresi için baz alınan bu kriter ağırlıklarında ise ideal çözüme en yakın ve en iyi alternatif A3 (Afyonkarahisar Ulupınar Nakliyat Petrol) olmuştur. K62:Yatırım geri ödeme süresi için kriter ağırlığı 0,9 alındığında ise kriter ağırlığı 0,9 alındığında ise yine ideal çözüme en yakın olup, en iyi alternatif A3 (Afyonkarahisar Ulupınar Nakliyat Petrol) olmuştur ancak A1 (Aydın Efemak Petrol) ve A2 (Muğla Dalyan Petrol) sıralamaları değişiklik göstermiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus A2’nin neredeyse tüm çözüm kümesinde daha az öneme sahip bir yerde olduğunu göstermektedir. A3 alternatifinin ise kriter ağırlığı en yüksek olan kriterin ağırlığı arttıkça ilk sırada yer aldığını ve A1 ile yer değiştirdiğini göstermektedir.

5 TARTIŞMA

Elektrikli araçların menzili genellikle sabit bir parametre olarak ele alınsa da, gerçek sürüş koşullarının dinamik doğası nedeniyle bu yaklaşım yetersiz kalmaktadır. Literatürde, sıcaklık ve sürüş hızının dinamik etkilerinin enerji tüketimini ve menzili belirgin şekilde etkilediği gösterilmiştir (Zhang & Li, 2020). Özellikle düşük sıcaklıklar batarya performansını düşürmekte, yüksek hızlar ise enerji tüketimini artırarak menzili azaltmaktadır. Bu faktörlerin sabit olarak değil, değişken ve dinamik koşullar altında modellenmesi, şarj istasyonu yer seçimi ve kapasite planlamasında kritik öneme sahiptir. Dinamik menzil modelleri kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmaları, araçların gerçek kullanım senaryolarını daha doğru yansıtarak istasyonların stratejik konumlandırılmasına olanak sağlar (Ekwall, Eriksson, & Nielsen, 2021). Böylece, talep tahminleri ve şarj altyapısı yatırımları daha güvenilir temellere dayanır, enerji güvenliği ve kullanıcı memnuniyeti artar. Bu yaklaşım, şebeke üzerindeki yükün daha iyi yönetilmesini sağlayarak ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.

Sıcaklık ve hız girdilerinin değişikliği durumunda elektrikli araçlar için bu çalışmada sabit bir menzil değeri almak yerine k sürüş menzil değerin dinamik yapısı modele eklenerek olası tüm senaryoların ihtiyaçlarına karşılık bulan istasyon sayısının optimize edilmesi istenmiş ve uygun yerleşim yeri önceliklendirmesi için entegre bir model olarak ele alınması ile birlikte literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının optimizasyonu ve yer seçimi oldukça önemlidir. EV şarj altyapısı, ulusal ve bölgesel enerji güvenliği açısından önemli rol oynar. Özellikle yoğun talep saatlerinde dengesiz şarj talebi, enerji arz-talep dengesini bozabilir. Şarj istasyonlarının stratejik konumlandırılması, elektrik şebekesi üzerindeki yükün dengeli dağılmasını sağlayarak arz güvenliğine katkıda bulunur (Sadeghianpourhamami vd., 2018).

Elektrikli araçların şarj talep tahmini ise, istasyon sayısının ve kapasitesinin doğru belirlenmesi açısından gereklidir. Bu, hem kullanıcı memnuniyetini hem de şebeke verimliliğini artırır. EV kullanıcılarının şarj alışkanlıklarını anlamak, zamanlama ve yer seçimi kararlarında kilit rol oynar (Gnann vd., 2018). Şehir içi ve şehirlerarası trafik yoğunluğu, sosyoekonomik durum ve EV yaygınlığı, günlük araç kullanım mesafeleri şarj alışkanlıklarını etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada uygulanan çok kriterli karar verme sürecinde, alternatif sayısının sınırlandırılması yalnızca operasyonel kolaylık değil, aynı zamanda metodolojik tutarlılık açısından da bilinçli bir tercih olarak değerlendirilmiştir. Özellikle uzman görüşlerinin sistematik biçimde harmanlandığı Delphi yöntemi, ön seçim aşamasında karar vericilerin ortak kanaatleri doğrultusunda bağlamla uyumlu ve gerçekçi alternatiflerin belirlenmesini sağlamıştır. Devamında uygulanan SWARA yöntemi, kriterlerin önem düzeylerini doğrudan uzman önceliklerine dayandırarak, ağırlıklandırma sürecini daha sezgisel ve esnek hale getirmiştir. Bu noktada, alternatif sayısının azaltılması, uzmanların hem bilgi işleme yükünü hafifletmiş hem de verdikleri yargıların daha tutarlı ve kararlı olmasına imkân tanımıştır. Son aşamada kullanılan bulanık TOPSIS yöntemi ise, az sayıda ancak özenle seçilmiş alternatif arasında daha ayırıştırıcı ve güvenilir sonuçlar üretmiştir. Özellikle her bir alternatifin çok sayıda kriter bakımından değerlendirildiği karar ortamlarında, kriter sayısı arttıkça alternatiflerin yönetimi daha karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle kriter–alternatif dengesinin gözetilmesi, hem analitik doğruluk hem de uzman katkısının niteliği açısından kritik öneme sahiptir. Literatürde de benzer biçimde, alternatif sayısının azaltılmasının, çok kriterli modellerde hem bilişsel yükü azalttığı hem de karar süreçlerinin kalitesini artırdığı vurgulanmaktadır (Pradhan vd., 2021; Ghosh vd., 2021). Ayrıca, SWARA ve TOPSIS yöntemlerinin özellikle enerji sistemleri ve altyapı planlamasında birlikte kullanıldığı çalışmalarda da benzer bir yapı tercih edilmekte, az sayıda ancak nitelikli alternatifle daha sağlıklı sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir (Mardani vd., 2017). Bu bağlamda çalışma, yöntemsel bütünlük ile operasyonel uygulanabilirliği dengeleyen bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu sebeple çalışmada literatürden faydalanarak elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun yer seçimi için çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılmış listelenen 80 farklı kriterden elimine edilerek 21 farklı kriter üzerinde durulmuştur.

Ağırlıklandırma sonuçlarına göre en yüksek önceliğe sahip kriterler, K62 (Yatırım geri ödeme süresi, 0,1216), K61 (Kurulum maliyeti, 0,1107) ve K12 (Erişilebilirlik, 0,1038) olmuştur. Elde edilen bulgular, literatürde yer alan pek çok çalışmayla örtüşmektedir.

Uygun yer seçimi, altyapı maliyetlerini düşürür ve yatırımın geri dönüşünü hızlandırır. Yanlış konumlandırılmış istasyonlar ise kullanılmaz hale gelebilir. Şarj istasyonlarının yerleşimi, elektrik altyapısı kapasitesi ve yolculuk kalıplarıyla uyumlu olmalıdır (Li vd., 2019). Burada CBS tabanlı optimizasyonlar, ÇKKV yöntemleri (SWARA, AHP) uygun yer seçimini destekleyecek yöntemler kullanılmalıdır. Literatürde de bunun birçok örneği verilmiştir.

Yatırım geri ödeme süresi (K62) ve kurulum maliyeti (K61), çalışmada en yüksek ağırlığa sahip kriterler olarak öne çıkmıştır. Bu durum, elektrikli araç şarj istasyonu yer seçiminde ekonomik kriterlerin öncelikli olduğunu göstermektedir. Ghosh vd. (2021), istasyon yeri belirleme sürecinde yatırım maliyeti ve finansal geri dönüş sürelerinin karar vericiler üzerinde belirleyici etkisi olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde, Pradhan vd. (2021) da uygun yer seçiminin yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi gerektiğini vurgular. Hosseini ve Sarder (2019) ise yatırımın geri dönüş süresini etkileyen faktörleri modelleyerek, maliyet ve kârlılık ilişkisine dikkat çekmektedir. Bu çalışmalarla birlikte, yapılan analizde ekonomik ölçütlerin karar sürecine yön verdiği görülmektedir.

Ekonomik değerlendirmelere ek olarak, kamu teşvikleri de bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'de Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürütülen hızlı şarj istasyonu destek programı kapsamında, yatırımcılara makine-teçhizat desteği, hibe ve arsa tahsis gibi çeşitli teşvikler sunulmaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2025; Yeşil Ekonomi, 2025). Ayrıca, KDV istisnası, vergi indirimi ve gümrük muafiyeti gibi unsurlar da Yatırım Teşvik Belgesi kapsamında sağlanmaktadır (Yatırım Destek Ofisi, 2025).

Sağlanan bu destek programları ile birlikte literatürde yer alan “hükümet desteği” kriterinin varlığı ve elektrikli araç şarj istasyonlarının önemine işaret etmektedir.

Tablo 5.1’de Türkiye’de EAŞİ için verilen teşviklerin tablosu verilmiştir.

Tablo 5.1 Türkiye’de elektrikli araç şarj istasyonları için uygulanan kamu teşvikleri

Teşvik Türü	Açıklama	Kaynak
Makine-teçhizat hibesi	Yatırım maliyetinin %60’ına kadar hibe	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2025)
Arsa tahsisi	Kamu arazilerinin uygun şartlarda tahsisi	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2025)
KDV istisnası	Şarj istasyonları için alınan mal ve hizmetlerde KDV muafiyeti	Yatırım Destek Ofisi (2025)
Vergi indirimi	Gelir ve kurumlar vergisi indirimi	Yatırım Destek Ofisi (2025)
Gümrük muafiyeti	Yatırım ekipmanları için gümrük vergisi muafiyeti	Yatırım Destek Ofisi (2025)
Altyapı destekleri	Trafo, pano gibi altyapı maliyetlerinin %50-75 oranında desteklenmesi	Yeşil Ekonomi (2025)

Tablo 5.1’de verilen bu destekler, yatırım maliyetlerini azaltarak şarj altyapısının daha hızlı yaygınlaşmasına katkı sunmakta, ekonomik kriterlerle kamu politikaları arasında doğrudan bir ilişki kurmaktadır. Çalışmada dikkate alınan “K61: Kurulum maliyeti” ve “K62: Yatırım geri ödeme süresi” gibi ekonomik kriterler kamu politikaları ile desteklenmektedir.

Erişilebilirlik (K12), elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi süreçlerinde hem kullanıcı memnuniyeti hem de altyapı verimliliği açısından temel kriterlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, erişilebilirlik kriteri, normalize edilmiş ağırlığına göre üçüncü sırada yer alarak yüksek önceliğe sahip olduğunu göstermiştir. Literatürde de benzer şekilde, erişilebilirliğin karar verme sürecinde belirleyici bir rol oynadığı ifade edilmektedir. Zhao, Gao ve Cheng (2023), Çin’de gerçekleştirdikleri çalışmada, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak özellikle şehir merkezlerine, ana yollar ile toplu taşıma bağlantı noktalarına yakınlığın erişilebilirlik açısından kritik olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Türkiye’de yürütülen bir çalışmada Karaşan, Kaya ve Erdoğan (2020), erişilebilirliğin, kullanıcı yoğunluğu ve ulaşım kolaylığı ile birlikte değerlendirildiğinde şarj istasyonlarının sürdürülebilirliği üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Wu vd. (2017) ise Pekin özelinde gerçekleştirdikleri araştırmada, konut bölgelerinde erişimin kolay sağlanabileceği alanlara yapılan yerleşimlerin kullanıcı davranışlarını olumlu etkilediğini ve istasyonların aktif kullanımını artırdığını vurgulamışlardır. Bu bağlamda,

çalışmanın bulguları, erişilebilirliğin yalnızca fiziksel mesafe ile değil, aynı zamanda sosyo-demografik dağılım, ulaşım altyapısı ve kent içi hareketlilik ile birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Orta öncelikli kriterler arasında ekipman teknoloji seviyesi (K41), yıllık bakım maliyeti (K64) ve mevcut şarj istasyonlarına yakınlık (K33) gibi teknik ve operasyonel değişkenler yer almaktadır. Bu kriterler, sürdürülebilir işletme modellerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Alt sıralarda yer alan kriterler arasında ortalama sıcaklık (K22), eğitim (K21) ve ulaşım istasyonlarına yakınlık (K54) gibi çevresel ve fiziksel faktörler bulunmaktadır. Bu durum, çalışmanın yürütüldüğü bölge özelinde bu kriterlerin karar verme üzerinde sınırlı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ancak farklı coğrafi bölgelerde bu kriterlerin önem düzeyi artabilir.

Bu bulgular, toplu olarak incelendiğinde, şehirlerarası otoyollarda elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu için önerilen bulanık çıkarım tabanlı küme kapsama yönteminin sağlamlığını doğrular. Dahası, bu çalışmanın sonuçları ile mevcut literatür arasındaki benzerlik, önerilen modelin güvenilirliğini destekler.

Sonuç olarak, yapılan bu ağırlıklandırma analizi, yer seçim kararlarının çok boyutlu olduğunu; ekonomik, teknik ve kullanıcıya dönük kriterlerin birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Özellikle yatırım geri dönüş süresi, kurulum maliyeti ve erişilebilirlik gibi kriterlerin ön plana çıkması, özel sektör yatırımlarını teşvik edecek stratejilerin geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu kapsamda, EPDK'nın yayınladığı Şarj Hizmeti Yönetmeliği (2022) gibi yasal düzenlemelerin, bu kriterleri merkeze alarak bölgesel planlamayı desteklemesi büyük önem arz etmektedir.

İkinci fazda nitel verileri içerir çünkü hem karşılıklı bağımlılıkları ortaya çıkarmak hem de değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarını hesaplamak için çiftler halinde karşılaştırmalar vardır. Uzman değerlendirmelerini içeren nitel veriler, değerlendirmelerin insan doğası nedeniyle belirsizlik içerir. Bu nedenle bilgi kaybını azaltmayı amaçlayan matematiksel formülasyonlara girdi verilerini daha iyi yansıtmak için bulanık mantık entegrasyonuna ihtiyaç vardır. Bu akademik çalışmada da bulanık TOPSIS metodu uygulanmıştır.

Her ÷lkede EV şarj altyapısına dair farklı dñzenlemeler bulunmaktadır. Tñrkiye’de bu konuda Enerji Piyasası Dñzenleme Kurumu (EPDK) önemli rol oynamaktadır.

"Yasal dñzenlemeler, şarj altyapısının özel sektör yatırımlarıyla yaygınlaşmasını kolaylaştırmalıdır" (EPDK, 2022).

Tñrkiye’den Òrnek:

- Elektrikli araç şarj hizmetlerine yönelik dñzenlemeler kapsamlı şekilde ele alınmaktadır. 2 Nisan 2022 tarihli ve 31797 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan şarj Hizmeti Yñnetmelięi ile lisans alma zorunluluğu, şarj ağı işletmecisi sertifikası, kullanıcı hakları ve tesis standartları açıkça belirlenmiştir (EPDK, 2022).
- Tñrkiye’de imar mevzuatında yapılan dñzenlemeler kapsamında, yeni yapılacak binalarda otopark alanlarının en az %5’inin elektrikli araç şarj altyapısına uygun olarak dñzenlenmesi zorunlu hale getirilmiştir (T.C. Çevre ve şehircilik Bakanlığı, 2021).

Bu yñnden, elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçiminin yalnızca teknik altyapıyla değil, aynı zamanda kullanıcı davranışları, yasal dñzenlemeler ve talep tahminleriyle birlikte ele alınması gerektiğini gñstermektedir.

6 SONUÇ

Bu tezde, hızla gelişen teknolojiyle birlikte daha sürdürülebilir bir çevre ve ekonomiye katkı sunmayı amaçlayan elektrikli araçların (EA'lar), günümüzde en büyük problemi olan, elektrikli araç şarj istasyon lokasyon sayılarının optimize edilmesi için entegre bir model önerisi sunulmuştur. İlk olarak elektrikli araçlarda aracın batarya verimliliği iç ve dış parametrelerden etkilenebileceğinden, bataryaya etki edecek faktörler araştırılmış ve bu akademik çalışmada bataryaya etki eden faktörlerden hız ve sıcaklık parametrelerinin üzerinde durulmuştur. Bu parametrelerin ele alınması ile birlikte daha kantitatif bir çalışma olması adına bulanık çıkarım metodunda veri seti dinamik olan sıcaklık ve hız değerleri girdi olarak kullanılmış, MATLAB uygulamasından faydalanılarak EV k menzil değerleri türetilmiştir. Farklı sıcaklıklarda ve farklı hız senaryolarında sürüş menzili değişebileceğinden optimum EV şarj istasyonu sayısını belirlerken her senaryonun sonuçlarındaki ortak alternatiflerle birlikte farklı seyahat uzunluklarındaki alternatif sayısını görme yeteneği sağlanmıştır. Bunun için, belirli bir EV'nin ulaşabileceği maksimum seyahati hesaba katarak düşünülen şarj istasyonu için gereken alternatif sayısını en aza indirmek için küme kapsama metodu (set covering model) kullanılmıştır. Bulanık çıkarım ile türetilen ilgili menzil k değerleri küme kapsama metodunda girdi olarak kullanılmıştır. GAMS uygulamasında çözülen model ile her bir k menzil değerine karşılık gelen üç durum senaryosundan elde edilen alternatif lokasyonlar bulunmuştur. Bu durumlar; tüm durum senaryosu, iyi durum senaryosu ve kötü durum senaryosudur. Her bir durum senaryosundan elde edilmiş alternatif lokasyonlar vardır. Bu alternatif lokasyonları en geniş kapsamda sağlayacak lokasyonlar çalışma sonucunda alternatif lokasyon olarak belirlenmiştir. Küme kapsama analizinin sonuçları, elektrikli araç şarj istasyonu yerleşimi için optimum düğüm noktalarının yani lokasyonların seçiminin sıcaklık ve hız değişimlerinden etkilendiğini göstermiştir. Küme kapsama metodundan

faydalanan optimize edilmiş konumları ve alternatif sayısını belirledikten sonra, çok kriterli karar verme metodlarından faydalanacağımız alternatif lokasyonları önceliklendirme aşaması başlatılmıştır. EVCS için uygun yer seçiminde kullanılacak kriterler DELPHI yönteminden faydalanılarak literatür taramaları ve uzman görüşleriyle elde edilmiştir. Literatür taraması sonucunda 80 adet bulunan kriter sayısı uzman görüşü ile birlikte 21 kriter sayısına indirgenmiştir. ÇKKV yöntemi olan SWARA ile belirlenen 21 kriter kendi aralarında önem derecesine göre ağırlıklandırılmıştır. Her bir kriterin önem ağırlığı belirlendikten sonra alternatifler arasındaki ilişki yine bir ÇKKV yöntemi olan bulanık TOPSIS ile incelenmiş ve bunun sonucunda 3 farklı alternatiften A1 (Aydın Efemak Petrol) alternatifi sıralamada ilk sırada yer almıştır.

İlgili tüm sonuçlar pilot bölge olarak seçilen Ege Bölgesinde sınırlı bir alan için elde edilmiştir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmanın daha da geliştirilmesi adına, yalnızca sınırlı bir bölge ile yetinilmeyip, uygulamanın tüm Türkiye karayolları haritası üzerinde değerlendirilmesi önerilmektedir. Uygulama sırasında k sürüş menzil değerlerinin küme kapsama yönteminden faydalanılarak elde edilen optimum alternatif elektrikli araç şarj istasyon lokasyonları gelecekteki çalışmalar için bulanık küme kapsama yöntemi ile de bulunabilir. Bulanık küme kapsama yöntemi 0 ile 1 arasında süreklilik ifade ettiği için daha esnek ve yumuşak geçişlere sahip bir çözüm kümesi sunacaktır. Uygulamanın daha da gelişmesi için, bu tezde kullanılan k sürüş menzil değerine etki eden sıcaklık ve hız parametrelerinin yanı sıra, k 'ya etki edebilecek diğer parametreler de (sürtünme katsayısı, trafik durumu) uygun çözüm aralıkları ile eklenebilir.

KAYNAKÇA

- AAA. (2019). AAA finds cold weather can cut electric vehicle range nearly in half. <https://newsroom.aaa.com/asset/icy-temperatures-cut-electric-vehicle-range-nearly-in-half-fact-sheet/>
- Alkan, T., Atiz, Ö. F., & Durduran, S. S. (2023). Elektrikli araç şarj istasyonları için AHP yöntemi ile uygun yer seçimi: Konya örneği. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1), 193-199. Doi:10.28948/ngumuh.1189242
- Arayıcı, K., Poyrazoğlu, G. (2018). Özyeğin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği /Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Doğru Konumlandırılması
- Aybirdi, C.B. (2021). Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Lokasyonlarının Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Seçilmesi: Ankara’da Vaka Çalışması. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü s 49-50.
- Bahar, M., & Somuncu Demir, N. (2021). DELPHİ Tekniği Uygulama Sürecine Yönelik Örnek Bir Çalışma: Çok Fonksiyonlu Tarım Okuryazarlığı. Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 21(1), 35-53. Doi:10.17240/aibuefd.2021.21.60703-814729
- 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
- Beasley, J. E. (1987). An algorithm for set covering problem. European Journal of Operational Research, 31(1), 85–93. Doi:10.1016/0377-2217(87)90141-x
- Bilgilioglu, S.S. (2022) Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 015501 (165-174).
- Bozkurt, E. (2012). Thesis (M.Sc.) -- İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Elektrikli Araçlarda Şarj Duruma Bağlı Rota Optimizasyonu
- Brooke, A., Kendrick, D., & Meeraus, A. (1998). *GAMS – A User's Guide* (Release 2.25). GAMS Development Corporation. <https://www.gams.com>
- Büyükkantarıcı, M. & Şenyiğit, E., (2022). Elektrikle Çalışan Araçlar İçin Şarj İstasyonlarının Konumlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Belirlenmesi. 4. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi (pp.648-653). İstanbul, Turkey
- BYS Charge. (n.d.). Elektrikli araçların menzilini etkileyen faktörler. <https://byscharge.com/elektrikli-aracarin-menzilini-etkileyen-faktorler/>

- Çakır, E. (2017). Kriter Ağırlıklarının SWARA – Copeland Yöntemi ile Belirlenmesi: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4(1), 42-56. Doi: 10.30803/adusobed.309069
- Cebeci, Z. ve Yıldız, F. (2015) Comparison of K-Means and Fuzzy C-Means Algorithms on Different Cluster Structures Journal of Agricultural Informatics. 2015 Vol. 6, No. 3
- Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems, 114(1), 1-9.
- 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. Doi:10.3141/2385-04
- Cui, F.B, You, X.Y., Shi, H., L., H.C. (2018). Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations Using Pythagorean Fuzzy VIKOR Approach, Mathematical Problems in Engineering, 9262067, 12 pages. Doi: 10.1155/2018/9262067
- Çimen, M. ve Belbağ, S.(2022) Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi Third Sector Social Economic Review 57(3), 1572-1592
- Dahlquist, G., & Björck, Å. (2008). *Numerical Methods in Scientific Computing* (Vol. 1). SIAM.
- Demirci, A. ve Öztürk, Z. (2023) "Farklı İklim Özelliklerine Sahip Fotovoltaik Panel ve Enerji Depolama Entegreli Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Teknik, Ekonomik ve Çevresel Optimizasyonu," Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi , vol.11, no.4, pp.1913-1929.
- Derse, O. (2022). DEMATEL Tabanlı TOPSIS Yöntemi ve Küme Kapsama Modeli ile Afet Lojistiği İçin Depo Yeri Seçimi: Ege Bölgesi Örneği Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(4) 702-713. Doi:10.17780/ksujes.1159925
- Donkers, A., Yang, D. ve Viktorović, M. (2020). Influence of driving style, infrastructure, weather and traffic on electric vehicle performance Transportation Research Part D: Transport and Environment, ISSN: 1361-9209, Vol: 88, Page: 102569, doi: 10.1016/j.trd.2020.102569
- Dörtköşe, S., Yazgan, H., Cömert, S. (2022) Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 38, Sayı 2
- Ecer, F. (2006). Bulanık Ortamlarda Grup Kararı Vermeye Yardımcı Bir Yöntem: Fuzzy TOPSIS ve Bir Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 7(2), 77-96.
- Ekwall, H., Eriksson, L., & Nielsen, L. (2021). Extreme heat effects on electric vehicle energy consumption and driving range: A simulation study. Applied Energy, 290, 116755. Doi:10.1016/j.apenergy.2021.116755
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu [EPDK]. (2022). *Şarj Hizmeti Yönetmeliği*.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2022). Elektrikli araç şarj hizmetleri yönetmeliği. Resmî Gazete, 31940.

- EPA. 2014. "Sources of Greenhouse Gas Emissions." Erişim Tarihi: 10 Aralık 2019. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E., & Çetinkaya, C. (2018). Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations: A GIS-Based Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis. Doi: 10.1016/j.energy.2018.08.140
- Erdem, G., Ulutagay, G., Paldrak, M. (2023). Supplier Selection with Fuzzy TOPSIS- A Case Study on a Pharmacy in Izmir. In: Calisir, F., Durucu, M. (eds) Industrial Engineering in the Covid-19 Era. GJCIE 2022. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering. Springer, Cham. Doi:10.1007/978-3-031-25847-3_14
- Erol, Ü.N. (2022). GIS-based multi-criteria decision making for ev charging station site selection. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Elektrik Tesisat Portalı. (2021, Nisan 2). Güncellenen otopark yönetmeliğinde şarj ünitesi zorunluluğu. <https://www.elektriktesisatportali.com/guncellenen-otopark-yonetmeliginde-sarj-unitesi-zorunlulugu.html>
- Farrington, R., Rugh, J. (2000). Impact of Vehicle Air-Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions, and Electric Vehicle Range. Conference: Earth Technologies Forum, Washington, DC (US), 10/31/2000; Other Information: PBD: 22 Sep 2000.
- Fortis Energy. (n.d.). 20 soruda elektrikli araç şarj istasyonu mevzuatı. Fortis Enerji. <https://www.fortisenergy.com/tr-TR/Media/20-soruda-elektrikli-arac-sarj-istasyonu-mevzuati/21>
- GAMS Development Corporation. (2025, Haziran 18). GAMS: Cutting edge mathematical modeling [Web sitesi]. GAMS. Erişim tarihi: 2 Ağustos 2025, <https://www.gams.com>
- Gass, S.I. (2000), Making Decisions with Precision, Business Week October 30, 2000(http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=search#B3705139), son erişim tarihi: 1 Şubat 2006.
- Gavcar, E. ve Kara, N. (2020) Elektrikli Otomobil Seçiminde Entropi ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması
- Genevois, M. E., & Kocaman, H. (2018). Locating electric vehicle charging stations in Istanbul with AHP based mathematical modelling. International Journal of Transportation Systems, 3.
- Geotab. (2020). How does temperature affect electric vehicle range? <https://www.geotab.com/blog/ev-range/>
- Geotab Inc. (2023). To what degree does temperature impact EV range? Geotab. <https://www.geotab.com/blog/ev-range/>
- Geotab Inc. (2023). New analysis examines impact of temperature and speed on electric vehicle range. Geotab. <https://www.geotab.com/press-release/geotab-announces-new-ev-analysis-examining-speed-and-temperature/>
- Ghosh, A., Ghorui, N., Mondal, S. P., Kumari, S., Mondal, B. K., Das, A., & Gupta, M. S. (2021). Application of Hexagonal Fuzzy MCDM Methodology for Site

- Selection of Electric Vehicle Charging Station. *Mathematics*, 9(4), 393. Doi: 10.3390/math9040393
- Gnann, T., Funke, S. Á., Jakobsson, N., & Plötz, P. (2018). Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 314–329. Doi: 10.1016/j.trd.2018.03.004
- Guler, D. and Yomralioglu, T. (2018). GIS and Fuzzy AHP Based Area Selection for Electric Vehicle Charging Stations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4), 249–252. Doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4- 249-2018
- Guler, D. and Yomralioglu, T. (2020) Suitable location selection for the electric vehicle fast charging station with AHP and fuzzy AHP methods using GIS, *Annals of GIS*, 26:2, 169-189, DOI: 10.1080/19475683.2020.1737226.
- Guo, S., & Zhao, H. (2015). Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy*, 158, 390–402. Doi:10.1016/j.apenergy.2015.08.082
- Gupta, Rashmi; Saxena, Ratnesh Rajan. Fuzzy Linear Fractional Set Covering Problem with Imprecise Costs. *RAIRO - Operations Research - Recherche Opérationnelle*, Volume 48 (2014) no. 3, pp. 415-427. Doi: 10.1051/ro/2014015
- Haddad, A. N., da Costa, B. B. F., de Andrade, L. S., Hammad, A., & Soares, C. A. P. (2021). Application of Fuzzy-TOPSIS Method in Supporting Supplier Selection with Focus on HSE Criteria: A Case Study in the Oil and Gas Industry. *Infrastructures*, 6(8), 105. Doi:10.3390/infrastructures6080105
- Hao, X., Wang, H., Lin Z., Ouyang, M. (2020). Seasonal effects on electric vehicle energy consumption and driving range: A case study on personal, taxi, and ridesharing vehicles, doi:10.1016/j.jclepro.2019.119403
- Hosseini, S., & Sarder, M. (2019). Development of a Bayesian network model for optimal site selection of electric vehicle charging station. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105, 110–122. Doi:10.1016/j.ijepes.2018.08.011
- Hwang, M.-J., Chiang, C. I., & Liu, Y. H. (2004). Solving a fuzzy set-covering problem. *Mathematical and Computer Modelling*, 40(7-8), 861-865. Doi:10.1016/j.mcm.2004.10.015
- IEEE. (2008). *IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic* (IEEE Std 754-2008). IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2008.4610935>
- Jeong, I.J. (2016). An optimal approach for a set covering version of the refueling-station location problem and its application to a diffusion model. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(2), 86–97. Doi:10.1080/15568318.2016.1193780
- Jose, S.S, Chidambaram R.K. Electric Vehicle Air Conditioning System and Its Optimization for Extended Range—A Review. *World Electric Vehicle Journal*. 2022; 13(11):204. Doi:10.3390/wevj13110204
- Ju, Y., Ju, D., Santibanez Gonzalez, E. D. R., Giannakis, M., & Wang, A. (2018). Study of site selection of electric vehicle charging station based on

- extended GRP method under picture fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering*, doi: 10.1016/j.cie.2018.07.048
- Jung, H, Rebecca S., and Michael, H. (2018). "Scaling Trends of Electric Vehicle Performance: Driving Range, Fuel Economy, Peak Power Output, and Temperature Effect" *World Electric Vehicle Journal* 9, no. 4: 46. Doi:10.3390/wevj9040046
- Kalakanti, A.K. ve Rao, S. (2022) Charging Station Planning for Electric Vehicles, doi:10.3390/systems10010006
- Karabaşoğlu, O., & Michalek, J. (2013). Influence of driving patterns on life cycle cost and emissions of hybrid and plug-in electric vehicle powertrains. *Energy Policy*, 60, 445–461. Doi: 10.1016/j.enpol.2013.04.017
- Karanfil, S. (1994) Yüksek Lisans Tezi – Bulanık Kümeler ve Bulanık Mantığın Temelleri
- Karasu Aşnaz, M. S., & Özdemir, B. (2021). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Optimal Konumlandırması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi*, 4(2), 175-187. Doi: 10.51513/jitsa.1015108
- Karaşan, A., Kaya, İ. & Erdoğan, M. (2020). Location selection of electric vehicles charging stations by using a fuzzy MCDM method: a case study in Turkey. *Neural Comput & Applic* 32, 4553–4574. Doi:10.1007/s00521-018-3752-2
- Karataş, İ. (2018) Bulanık Mantık ile Klasik ve Sembolik Mantık İlişkisi *European Journal of Educational & Social Sciences* Volume 3 Issue 2 October 2018 ISSN: 2564-6621
- Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Tzouras, P. G., Nikitas, A., & Bakogiannis, E. (2021). Determining Electric Vehicle Charging Station Location Suitability: A Qualitative Study of Greek Stakeholders Employing Thematic Analysis and Analytical Hierarchy Process. *Sustainability*, 13(4), 2298. Doi:10.3390/su13042298
- Kaya, Ö. (2019). Elektrikli Araç Şarj İstasyon Konumlarının Karar Verme Teknikleri İle Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 44-67.
- Keršuliene, V., Zavadskas, E. ve Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.
- 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.
- Kılıç, K. (2020). Sosyal Bilimler Enstitüsü TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrikli ve Benzinli Araç Rota Planlaması, Maliyet Optimizasyonu ve Karşılaştırması syf. 1-2.
- Kostopoulos, E.D., Spyropoulos G.C., Kaldellis, J.K. (2020). Real-world study for the optimal charging of electric vehicles November 2020, Pages 418-426, doi: 10.1016/j.egyr.2019.12.008

- Kunt, M.A. (2020) Tümüyle Elektrikli Binek Tipli Bir Araçta Yuvarlanma Direnci Değişiminin İvmelenme Performansı ve Transmisyon Kayıplarına Etkisi Üzerine Bir Çalışma, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* Cilt: 7, No: 2, 2020 (743-752)
- Lee, J., Kwon, S., Lim, Y., Chon, M. et al., "Effect of Air-Conditioning on Driving Range of Electric Vehicle for Various Driving Modes," SAE Technical Paper 2013-01-0040, 2013, doi: 10.4271/2013-01-0040
- Leontief, W. W. (1936), Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States, *Review of Econ. Statistics*, 18, 3, 105-125.
- Leyan, P., Cichong, L., Ziqi, Z., Tianying W., Junye, S., Jiangping, C. *International Journal of Refrigeration* Volume 102, June 2019, Pages 122-129, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2019.03.018
- Li, L., Zhang, X., & Lin, Y. (2019). Optimal location planning method for electric vehicle charging stations considering multiple factors. *Sustainability*, 11(7), 2058. Doi:10.3390/su11072058
- Liu, H.C., Yang, M., Zhou, M., & Tian, G. (2018). An Integrated Multi-Criteria Decision Making Approach to Location Planning of Electric Vehicle Charging Stations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–12. Doi:10.1109/tits.2018.2815680
- Mao L, Fotouhi A, Shateri N, Ewin N. (2022). A multi-mode electric vehicle range estimator based on driving pattern recognition. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2022;236(6):2677-2697. Doi: 10.1177/095440622110329
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z., & Jusoh, A. (2017). A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 216–256. Doi:10.1016/j.rser.2016.12.053
- Marianov, V., & Revelle, C. (1994). The queuing probabilistic location set covering problem and some extensions. *Socio-Economic Planning Sciences*, 28(3), 167–178. doi: 10.1016/0038-0121(94)90003-5
- MathWorks. (2024). *MATLAB Release 2024a* [Computer software]. MathWorks, Inc. <https://www.mathworks.com>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Kış mevsimi sıcaklık analizi. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/sicaklik-analizi.aspx?s=kis>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Manisa il ve ilçeler istatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=MANISA>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). İzmir il ve ilçeler istatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=IZMIR>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Kütahya il ve ilçeler istatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=KUTAHYA>

- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Uşak il ve ilçeler istatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=USAK>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Afyonkarahisar il ve ilçeler istatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=AFYONKARAHISAR>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Aydın il ve ilçeler istatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=AYDIN>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Denizli il ve ilçeler istatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=DENIZLI>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Muğla il ve ilçeler istatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=MUGLA>
- Nagasubramanian, G. (2001). Electrical characteristics of 18650 Li-ion cells at low temperatures. J. Appl. Electrochem. 31, 99–104.
- Nurmuhammed, M., & Karadağ, T. (2021). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Enerji Şebekesi Üzerine Etkisi Konulu Derleme Çalışması. Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, 8(2), 30-45
- Nurmuhammed, M. & Karadağ, T. (2021) İnönü Üniversitesi, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Malatya 2 İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya
- Opet Taşıt Anıma. (n.d.). Opet benzin istasyonları. <https://www.opettasitanima.com/opet-benzin-istasyonlari/>
- Opet. (2019, Haziran 14). İşyeri listesi [PDF]. https://www.bonus.com.tr/assets/pdf/opet_isyerilistesi_140619.pdf
- Özçekiç, E. (2024).Electric Vehicle Charging Station Positioning Problem: Multi-Criteria Decision Making Analysis with Entropy, CoCoSo and EDAS Methods E-ISSN: 2757-573X Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Journal of Biga Economics and Administrative Sciences Faculty Cilt/Volume: 5, Sayı/No: 3 , Yıl/Year: 2024, DOI: 10.70754/biibfd.1594279
- Öztürk, M., Bayezit, İ., & Ozkol, İ. (2021). Mamdani Modeli tabanlı ANFIS ve Emisyon Tahmininde Uygulanması. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(23), 761-768. Doi:10.31590/ejosat.783878
- Park, C., Yoo, S., Jeong, Y. and Kim, K. (2017). Effect of Thermal Management of Lithium-Ion Battery on Driving Range of Electric Vehicle Department of Mechanical-Engeenring, Chungbuk National University. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 18, No. 5 pp. 22-28 doi: 10.5762/KAIS.2017.18.5.22
- Plane, D.R., & Hendrick, T.E. (1977). Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. Operational Research, 25 (4), 563-578, doi: 10.1287/opre.25.4.563

- Pradhan, S., Ghose, D., & Shabbiruddin. (2021). Planning and design of suitable sites for electric vehicle charging station– a case study. *International Journal of Sustainable Engineering* 14(3), 404–418, doi: 10.1080/19397038.2020.1862347
- Rani, P., & Mishra, A. R. (2021). Fermatean fuzzy Einstein aggregation operators-based MULTIMOORA method for electric vehicle charging station selection. *Expert Systems with Applications*, 182, 115267, doi: 10.1016/j.eswa.2021.115267
- Recurrent. (2022). Cold weather and EV range loss: How much range do electric vehicles lose in the cold? <https://www.recurrentauto.com/research/winter-ev-range-loss>
- Resmî Gazete. (2020, Mart 25). Otopark Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (Karar no: 31078). <https://www.jkbb.org.tr/Icerik-286-OTOPARKYONETMELIGINDEDEGISIKLIKYAPILMASINADAIRYO NETMELIK> <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/03/20200324-3.htm>
- Sadeghianpourhamami, N., Refa, N., Strobbe, M., & Davelder, C. (2018). Quantitative analysis of electric vehicle flexibility: A data-driven approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 95, 451–462. Doi:10.1016/j.ijepes.2017.09.008
- Sahraeian, R., & Kazemi, M. S. (2011). A fuzzy set covering-clustering algorithm for facility location problem. 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, doi:10.1109/ieem.2011.6118085
- Samadani E., Fraser, R., and Fowler, M., “Evaluation of Air Conditioning Impact on the Electric Vehicle Range and Li-Ion Battery Life” SAE Technical Paper 2014-01-1853, 2014, doi: 10.4271/2014-01-1853
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2025, Nisan 18). Elektrikli araçlar için hızlı şarj altyapısı destek programı 2025 çağrısı. <https://sarjdestek.sanayi.gov.tr/>
- Sarıdağ ve Doğan (2021). Determination of Optimum Position and Capacity of V2G Charging Stations with Grey Wolf Optimization Algorithm syf. 622
- Sato, N. Thermal Behavior Analysis of Lithium-ion Batteries for Electric and Hybrid Vehicles *Journal of Power Sources* Volume 99, Issues 1–2, August 2001, Pages 70-77, doi: 10.1016/S0378-7753(01)00478-5
- 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.
- Sezen, B., & Erben, B. (2019). Sürdürülebilir ulaşımında önemli bir yere sahip olan bisikletin Gams küme kapsama modeli ile konumlandırılması: Gebze Teknik Üniversitesi örneği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 42-56.
- Shaheen, S.A. California’s Zero Emission Vehicle Mandate Linking Clean Fuel Cars, Carsharing, and Station Car Strategies (TRB Paper 02-3587)

- Shitzer, A. (2006). Wind-chill-equivalent temperatures: regarding the impact due to the variability of the environmental convective heat transfer coefficient Int. J. Biometeorol., 50 (4) (2006), pp. 224-232
- Sierpiński, G., Staniek, M., & Kłos, M. J. (2020). Decision Making Support for Local Authorities Choosing the Method for Siting of In-City EV Charging Stations. *Energies*, 13(18), 4682. Doi:10.3390/en13184682
- Soroudi, A, Power System Optimization Modeling in Gams, 2017.
- S. Ponsadai Lakshmi, C. Gopi, P. Adwin Jose (2024). Mamdani-type fuzzy inference system for irrigational water quality. *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, 6(2), 1890. Doi:10.46481/jnsps.2024.1890
- Steinstraeter M, Heinrich T, Lienkamp M. (2021). Effect of Low Temperature on Electric Vehicle Range. *World Electric Vehicle Journal*. 2021; 12(3):115. Doi: 10.3390/wevj12030115
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2021, Mart 25). Otopark Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik [Resmî Gazete, Sayı 31434].
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü. (n.d.). Trafikte hız sınırları. <https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/trafik/hizsinirlari.aspx>
- The MathWorks Inc. (2022). *MATLAB (Version 9.13.0, R2022b)*. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com>
- Tian, Z., Hou, W., Gu, X., Gu, F., & Yao, B. (2018). The location optimization of electric vehicle charging stations considering charging behavior. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International”, 94(7), 625–636. Doi: 10.1177/0037549718777009
- Urazel, B. ve Keskin, K. (2021), “A Hybrid Solution Approach for Electric Vehicle Routing Problem with Soft Time-Windows”, ECJSE, c. 8, sy. 2, ss. 994–1006, doi: 10.31202/ecjse.908159
- Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M. (2003). Elektrikli Araçlar, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze.
- Volvo Cars. (n.d.). V60 Twin Engine: Features and specifications. <https://www.volvocars.com/ma/support/car/v60-twin-engine/article/5fad0b9d8e2b1115c0a8015136e209f3>
- Yang, L., Cheng, Z., Zhang, B., Ma, F. (2021). Electric Vehicle Charging Station Location Decision Analysis for a Two-Stage Optimization Model Based on Shapley Function, *Journal of Mathematics*, 2021, 5098378, 9 pages. Doi:10.1155/2021/5098378
- Yatırım Destek Ofisi. (2025, Nisan 14). 2025 yılı elektrikli araçlar için hızlı şarj istasyonları çağrı duyurusu yayımlanmıştır. <https://www.yatirimadestek.gov.tr/haber/2025-yili-elektrikli-aracilar-icin-hizli-sarj-istasyonlari-cagri-duyurusu-yayimlanmistir/129>
- Yeşil Ekonomi. (2025, Nisan). Hızlı şarj istasyonları için yeni destek çağrısı açıklandı. <https://yesilekonomi.com/hizli-sarj-istasyonlari-icin-yeni-destek-cagrisi-aciklandi/>

- Yıldırım, E., Avcı, E., & Yılmaz, B. (2021). Serbest Basınç Dayanımının Tahmininde SUGENO Bulanık Mantık Yaklaşımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(1), 97-108. Doi: 10.17482/uumfd.863121
- Yıldız, B. Çiftçi, H. Ayan, O. Türkay, B. (2018). Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Elektronik Fakültesi İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu
- YILMAZ, İ., Özceylan, E., & Mrugalska, B., (2023). A framework for evaluating electrical vehicle charging station location decisions in a spherical fuzzy environment: a case of shopping malls. *Annals of Operations Research*. Doi:10.1007/s10479-023-05772-x
- Yi, Z., & Bauer, P. H. (2017). Effects of environmental factors on electric vehicle energy consumption: A sensitivity analysis. *IET Electrical Systems in Transportation*, 7(1), 3–13. Doi:10.1049/iet-est.2016.0011
- Zhang, C., Vahidi, A., Pisu, P., Li, X., & Tennant, K. (2010). Role of terrain preview in energy management of hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(3), 1139–1147. Doi:10.1109/TVT.2009.2039235
- Zhang, Y., & Li, W. (2020). Impact of temperature and driving speed on electric vehicle energy consumption and range: A comprehensive analysis. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120123. Doi:10.1016/j.jclepro.2020.120123
- Zhang, Z., Liu, C., Chen, X., Zhang, C., Chen, J. (2017). Annual energy consumption of electric vehicle air conditioning in China Volume 125, October 2017, Pages 567-574. Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.07.032
- Zhao, H., & Li, N. (2016). Optimal Siting of Charging Stations for Electric Vehicles Based on Fuzzy Delphi and Hybrid Multi-Criteria Decision Making Approaches from an Extended Sustainability Perspective. *Energies*, 9(4), 270, doi:10.3390/en9040270
- Zhao, H.; Gao, J.; Cheng, X. (2023) Electric Vehicle Solar Charging Station Siting Study Based on GIS and Multi-Criteria Decision-Making: A Case Study of China. *Sustainability*, 15, 10967, doi:10.3390/su151410967
- Zhou, L., Watts, W. J., Sase, M., Miyata, A. (2010), Charging Ahead: Battery Electric Vehicles and Transformation of an Industry, *Deloitte Review* 7: 4-17.
- Zhou, J., Wu, Y., Wu, C., He, F., Zhang, B., & Liu, F. (2020). A geographical information system based multi-criteria decision-making approach for location analysis and evaluation of urban photovoltaic charging station: A case study in Beijing. *Energy Conversion and Management*, 205, 112340, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2019.112340
- Wager, G., Whale, J., Braunl, T. (2016). Driving electric vehicles at highway speeds: The effect of higher driving speeds on energy consumption and driving range for electric vehicles in Australia, Pages 158-165, doi:10.1016/j.rser.2016.05.060

- Wang, X., Xia, W., Yao, L. and Zhao, X. (2024). "Improved Bayesian Best-Worst Networks With Geographic Information System for Electric Vehicle Charging Station Selection," in IEEE Access, vol. 12, pp. 758-771, doi:10.1109/ACCESS.2023.3347037
- Wei H., He C., Li J., Zhao L. (2022) Online estimation of driving range for battery electric vehicles based on SOC-segmented actual driving cycle. Journal of Energy Storage Volume 49, 104091.
- Wu, Y., Yang, M., Zhang, H., Chen, K., & Wang, Y. (2016). Optimal Site Selection of Electric Vehicle Charging Stations Based on a Cloud Model and the PROMETHEE Method. Energies, 9(3), 157, doi:10.3390/en9030157
- Wu, Y., Xie, C., Xu, C., & Li, F. (2017). A Decision Framework for Electric Vehicle Charging Station Site Selection for Residential Communities under an Intuitionistic Fuzzy Environment: A Case of Beijing. Energies, 10(9), 1270, doi:10.3390/en10091270



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

Karakaya, T., Karasan, A. (2025, Mart). Bulanık Çıkarım Sistemi ve Küme Kapsama Modeli Kullanılarak Şehirlerarası Yollarda Elektrikli Araç Şarj Altyapısının Optimize Edilmesi. In *GradSymposium2025-Mühendislikte Sürdürülebilir Çözümler*.

