

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU LOKASYONLARININ ÇOK  
ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE SEÇİLMESİ : ANKARA'DA  
VAKA ÇALIŞMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Canan Başak AYBİRDİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU**  
**Eş Danışman: Doç.Dr. Babek ERDEBİLLİ**

**AĞUSTOS 2021**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Lokasyonlarının Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri  
İle Seçilmesi: Ankara'da Vaka Çalışması

Canan Başak Aybirdi

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU

Eş Danışman: Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ

Tarih: Ağustos 2021

Küresel ısınma ve iklim krizi, son yıllarda insanlığın en önemli sorunları olarak değerlendirilmektedir. Fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji kaynaklarının alması; küresel ısınma, iklim değişikliği ve karbon emisyonu başta olmak üzere birbirlerini etkileyen ve gün geçtikçe büyüyen çevresel sorunların çözümünde önemli bir role sahiptir. Son yıllarda yapılan çoğu araştırma, zararlı karbon emisyonlarının büyük ölçüde ulaşım sektöründen kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Bu noktada otomotiv sektörü, gerekli önlemleri alabilmek için yüzünü yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen ve çevre dostu çözümler olan elektrikli araçlara çevirmiştir. Günümüzde, elektrikli araçların günlük yaşamda kullanımının yaygınlaşması ve sürücülerin yeni teknolojiye geçişlerini hızlandırmak amacıyla, şarj istasyonu altyapılarının yeterli hale getirilmesi ve verimli bir istasyon ağı kurulması gereklidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin başkenti Ankara'da bulunan Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kampüsü'nde seçilen şarj istasyonu konumlarının potansiyelleri çeşitli Çok Kriterli (Ölçütlü) Karar Verme Teknikleri kullanılarak; veriler, kriterler ve uzman görüşleri doğrultusunda

sınıflandırılmıştır. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile entegre TOPSIS ve AHP ile entegre Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemleri, kampüsteki en iyi lokasyonları seçmek için birlikte kullanılmıştır. Başlangıçta konuyu farklı bakış açıları ile irdeleyen kapsamlı 4 ana kriter ve 10 alt kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile birlikte uzman değerlendirmeleri kullanılmaktadır. Seçilen lokasyonların potansiyelleri VIKOR ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak araştırılır ve sıralanır. Her iki teknik de A6 alternatifinin şarj istasyonu dağıtımı için en uygun konum olduğunu göstermektedir. Önerilen metodolojide, çalışmanın sağlamlığı ve etkinliği duyarlılık analizi ile gösterilmektedir. Bu çalışma, ilgili otoriteler ve karar vericiler için bilimsel bir araç oluşturmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik araç şarj istasyonu ağı, ÇKKV, TOPSIS, AHP, VIKOR.

## **ABSTRACT**

Master of Science

Selection Of Electric Vehicle Charging Station Locations With Multi Criteria  
Decision Making Techniques : Case Study In Ankara

Canan Başak Aybirdi

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr.Tahir HANALIOĞLU

Co-Supervisor: Doç.Dr. Babek ERDEBİLLİ

Date: August 2021

Global warming and climate crisis are one of the major problems, affecting humankind in recent years. Replacing fossil fuels with renewable energy sources; play an important role in solving environmental problems that grow day by day, especially global warming, climate change and carbon emissions. In order to take the necessary precautions, one of the responsible industries, the automotive industry has turned its face to electric vehicles as environmentally friendly solutions that rely on renewable energy sources.. Nowadays, the concerns of users towards electrical vehicles have to be resolved in order to fasten the adaptation process to this new technology. With this perspective, especially to resolve the concerns that users have about the range and usage concepts of these vehicles, it is necessary to create sufficient charging station infrastructure that complies with users demand and usage scenarios. In this study, the potentials of selected charging station locations in Middle East Technical University Campus, in Ankara, capital city of Turkey, are classified by using data, criteria, and expert opinions in various Multi-Criteria Decision Making Techniques. Analytical

hierarchy process (AHP) integrated technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) and AHP integrated Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) methods are utilized together to select the best locations in the campus. Initially 4 comprehensive criteria and 10 sub-criteria are determined from different aspects. Experts' ratings are used with Analytical hierarchy process (AHP) method for determination of 10 criteria weights. Potentials of selected locations are investigated and ranked by using VIKOR and TOPSIS methods. Both techniques indicate that A6 is the optimal location for charging station deployment. In the proposed methodology robustness and effectiveness of the study is demonstrated by sensitivity analysis. This study aims to establish a scientific tool for respective authorities and decision makers.

**Keywords:** Electrical vehicles charging station network, MCDM, TOPSIS, VIKOR.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Tahir HANALIOğLU'na, değerli tecrübelerinden faydalandığım Eő Danıőmanım Sayın Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ'ye, her konuda yanımda olan aileme ve tez çalıőmam boyunca, tüm bilimsel çalıőmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan çok kıymetli dostlarıma teşekkür ederim.







## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>SEMBOLE LİSTESİ</b> .....	<b>xix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı.....	10
1.2 Literatür Araştırması .....	10
1.3 Elektrikli Araçlara Genel Bakış .....	17
1.4 Dünya’da ve Türkiye’de Elektrikli Araçların Tarihçesi.....	18
1.5 Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ve Kullanım Prensipleri .....	19
1.5.1 Yenilikçi Şarj İstasyonu Çözümleri.....	22
<b>2. ÇOK KRİTERLİ (ÖLÇÜTLÜ) KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>25</b>
2.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).....	25
2.2 Analitik Ağ Prosesi (ANP) .....	26
2.3 VIKOR.....	26
2.4 PROMETHEE.....	27
2.5 Gri İlişkisel Analiz (GRA).....	27
2.6 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).....	27
<b>3. METODOLOJİ</b> .....	<b>29</b>
3.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) .....	29
3.2 VIKOR.....	32
3.3 TOPSIS .....	36
<b>4. ODTÜ ANKARA YERLEŞKESİNDE SEÇİLEN OTOYERLERİN ELEKTRİKLİ ŞARJ İSTASYONU KURULUM POTANSİYELLERİNİN AHP-TOPSIS VE AHP-VIKOR YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ: VAKA ÇALIŞMASI</b> .....	<b>41</b>
4.1 Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Ankara Yerleşkesinin Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Kurulumu için Değerlendirilmesi .....	42
4.1.1 Kriterlerin belirlenmesi.....	46
4.2 Uygulama.....	51
4.2.1 AHP yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi.....	52
4.2.2 Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi .....	54
4.2.3 VIKOR yöntemi ile alternatiflerin sıralanması .....	54
4.2.4 TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralanması .....	57
4.3 VIKOR ve TOPSIS Yöntemleri ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması .....	59
4.4 Duyarlılık Analizi.....	60
<b>SONUÇLAR</b> .....	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>71</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: 2000-2019 küresel karbondioksit emisyonu (Statista 2021,milyar ton) .....	1
Şekil 1.2: 1990-2018 Türkiye sera gazı emisyon değerleri (TÜİK 2020, metrik ton) 2	2
Şekil 1.3: Türkiye sektörlere göre sera gazı emisyon oranları ve gazlara göre sera gazı emisyon oranları (TÜİK 2020).....	2
Şekil 1.4: 1970-2020 günlük küresel karbondioksit emisyonu (Le Quéré, C. ve diğ. 2020, MtCO <sub>2</sub> d <sup>-1</sup> ). .....	3
Şekil 1.5: Sektörel olarak karbondioksit emisyon oranlarındaki değişimlerin gruplandırılması. (Avrupa Çevre Ajansı, Göstergeler). .....	4
Şekil 1.6: 2012-2020 elektrikli araç sayıları (Statista 2021, milyon birimler).....	5
Şekil 1.7 :2013-2020 lityum-iyon batarya paket ve hücre dağılımlı fiyat değişimleri, \$/kWh (BloombergNEF, 2020). .....	6
Şekil 1.8 :2015-2019 yılları elektrikli ve hibrid otomobil satış rakamları (TEHAD, Ekim 2019). .....	7
Şekil 1.9: Tez için izlenmesi planlanan yol haritası .....	9
Şekil 1.10: Elektrikli şarj istasyonlarının genel yapısı (Birleştirici, Ahmet ve diğ.)..	20
Şekil 3.1 :AHP yöntemi avantajları-dezavantajları .....	29
Şekil 3.2 : Analitik Hiyerarşi Prosesi Akış Şeması. ....	30
Şekil 3.3: AHP Hiyerarşik Yapı. ....	30
Şekil 3.4: VIKOR yöntemi uzlaşık çözüm ideal çözüm ilişki. ....	33
Şekil 3.5:TOPSIS yöntemi avantajları-dezavantajları .....	36
Şekil 4.1 :Kamusal şarj istasyonu sayıları ve yenilenebilir enerji payları (Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu,2021).....	41
Şekil 4.2: ODTÜ Ankara Yerleşkesi'nde seçilen otoparklar. ....	45
Şekil 4.3: ODTÜ Ankara Yerleşkesi'nde seçilen otopark konumları . ....	45
Şekil 4.4 : Ana kriterler ve alt kriterler. ....	49
Şekil 4.5 : Uygulanacak olan yöntem adımları. ....	52
Şekil 4.6 : Alternatiflerin VIKOR ve TOPSIS sıralamaları .....	60
Şekil 4.7 : Duyarlılık analizi senaryolarda sıralamalar .....	61
Şekil 4.8: Duyarlılık analizi VIKOR sonuçları .....	62
Şekil 4.9 : Duyarlılık analizi TOPSIS sonuçları.....	62
Şekil 4.10: Duyarlılık analizi VIKOR sonuçları .....	66
Şekil 4.11 : Duyarlılık analizi TOPSIS sonuçları.....	67



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1: Elektrikli araç satın almama nedenleri yüzdesel veriler (LeasePlan Mobilite Monitörü 2019).....	8
Çizelge 1.2: Araç şarj istasyonları yerleşim seçimi ile ilgili yapılan çalışmalar. ....	16
Çizelge 3.1: Saaty'nin 1-9 derecelendirme ölçeği (Saaty, T.L., 1990).....	29
Çizelge 3.2: Karşılaştırma matris boyutuna göre $RI$ değerleri.....	32
Çizelge 4.1: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi.....	52
Çizelge 4.2: Kriterlerin ikili normalize karşılaştırma matrisi.....	53
Çizelge 4.3: Kriter ağırlıkları. ....	53
Çizelge 4.4: Tutarlılık oranı, tutarlılık indeksi. ....	54
Çizelge 4.5: Alternatiflerin değerlendirme matrisi. ....	54
Çizelge 4.6: Kriterlerin en iyi ve en kötü değerleri. ....	55
Çizelge 4.7: Ağırlıklı normalize karar matrisi.....	55
Çizelge 4.8: Her bir alternatif için hesaplanan $S_i, R_i$ ve $Q_i$ değerleri. ....	56
Çizelge 4.9: R, S ve Q listelerinde alternatiflerin sıraları. ....	56
Çizelge 4.10: Alternatiflerin standart karar matrisi. ....	57
Çizelge 4.11: Alternatiflerin ağırlıklı standart karar matrisi. ....	57
Çizelge 4.12: Pozitif ve negatif ideal ayırım değerleri .....	58
Çizelge 4.13: Alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlık değerleri ve sıralar. ....	58
Çizelge 4.14: Alternatiflerin Sıralamaları .....	59
Çizelge 4.15: Sıralamalar arası ilişki. ....	60
Çizelge 4.16: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi.....	63
Çizelge 4.17: Kriterlerin ikili normalize karşılaştırma matrisi.....	63
Çizelge 4.18: Kriter ağırlıkları. ....	64
Çizelge 4.19: Tutarlılık oranı, tutarlılık indeksi. ....	64
Çizelge 4.20: Alternatiflerin Sıralamaları .....	65
Çizelge 4.21: Sıralamalar arası ilişki. ....	65



## KISALTMALAR

<b>ÇKKV</b>	: Çok kriterli (ölçütlü) karar verme
<b>TOPSIS</b>	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
<b>VIKOR</b>	: VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
<b>PROMETHEE</b>	: Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation
<b>AHP</b>	: Analitik Hiyerarşi Proses
<b>ANP</b>	: Analitik Şebeke Süreci
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>EV</b>	: Electric Vehicle
<b>EA</b>	: Elektrikli Araç
<b>ODTÜ</b>	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
<b>TEHAD</b>	: Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>DEMATEL</b>	: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
<b>UL-MULTIMOORA</b>	: Multi-Objective Optimization on the basis of a Ratio Analysis plus the full MULTIplicative form
<b>COPRAS</b>	: Complex Proportional Assessment
<b>TODIM</b>	: Portuguese for Interactive and Multicriteria Decision Making
<b>OPEC</b>	: Organization of the Petroleum Exporting Countries
<b>TÜBİTAK</b>	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
<b>TOGG</b>	: Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu





## SEMBOL LİSTESİ

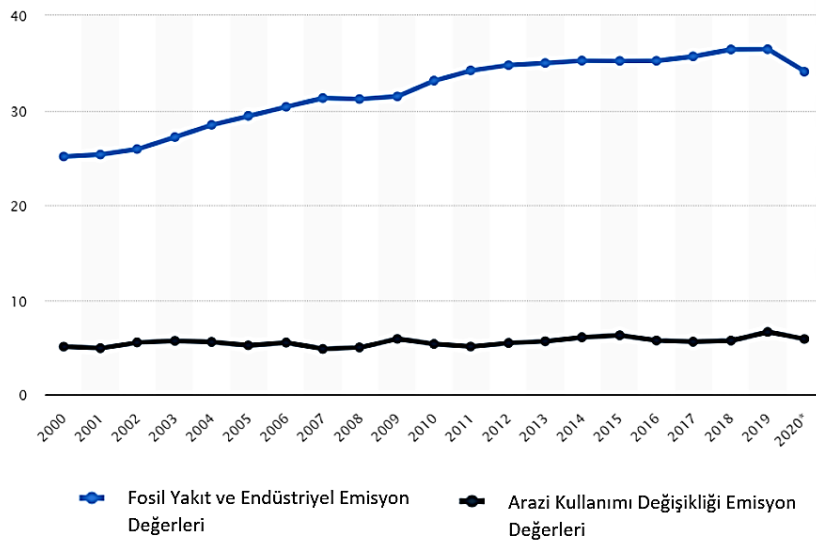
Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$x_{ij}$	i. alternatifin j. kriter için aldığı değer
$r_{ij}$	i. alternatifin j. kriter için aldığı normalize değer
$v_{ij}$	i. alternatifin j. kriter için aldığı ağırlıklı normalize değer
$A^+$	Pozitif ideal çözüm seti
$A^-$	Negatif ideal çözüm seti
$w_j$	j. kriter ağırlığının aldığı değer
$C_i^*$	i. alternatifin İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değeri
$S_i^+$	Pozitif İdeal Ayrım Değeri
$S_i^-$	Negatif İdeal Ayrım Değeri
$f_j^*$	j. kriter için alınan en iyi değer
$f_j^-$	j. kriter için alınan en kötü değer



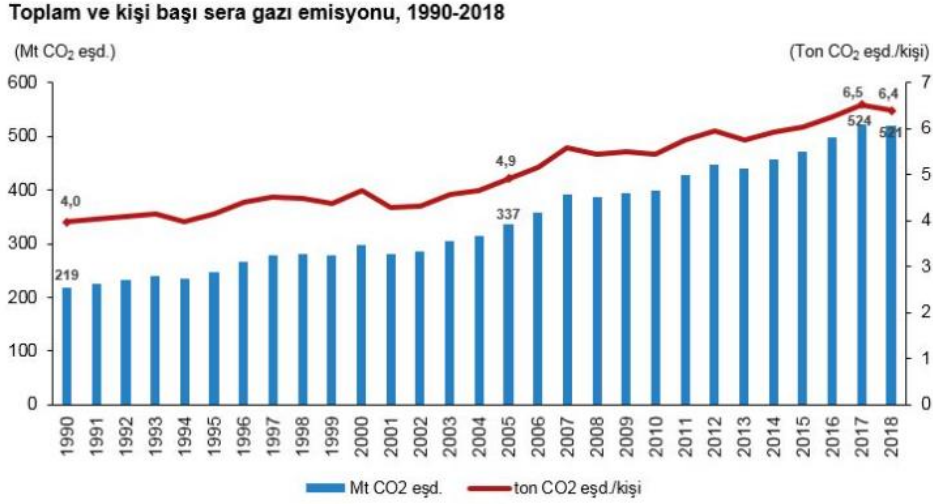
## 1. GİRİŞ

1776 yılında kalay ve kömür madenlerinden suyu tahliye etmek için tasarlanan buhar makinesi icat edildiğinde, dünya nüfusu yaklaşık 800 milyon olarak kayıtlara geçmişti. İngiltere’de Sanayi Devrimi’ni başlatan bu basit icat hem dünya ekonomisini ilkel noktadan, makineleşmenin ve seri üretimin etkin olduğu ekonomiye taşımış hem de fosil yakıt çağına geçişe yol açmıştır. Yüksek yaşam kalitesini de beraberinde getiren bu icat aynı zamanda, başlıca fosil yakıtlar olan kömür, petrol ve doğalgazın baskın enerji kaynakları olmasını sağlamıştır. Sanayi Devrimi’nin üzerinden iki yüzyıl geçmiş ve dünya nüfusu yaklaşık on katına çıkmış olmasına rağmen fosil yakıtlar günümüzde halen yaygın olarak kullanımda olan enerji kaynaklarıdır. Ancak, fosil yakıtlar yakıldığında havaya büyük miktarlarda karbondioksit salgırlarlar. Bir sera gazı olan karbondioksit, atmosferdeki ısıyı tutarak küresel ısınmaya neden olur. 2020 COVID-19 pandemisinden önce karbondioksit emisyonları son 10 yılda, her yıl bir önceki yıla göre %1 artış göstermiştir. 2000-2019 yılları arasında karbondioksit emisyon değerlerindeki değişim ve 2020 projeksiyonları, iki ayrı kaynak bazında, Şekil 1.1’de görülmektedir. 2019 yılında fosil yakıt ve endüstriyel karbondioksit emisyonu, 36.44 milyar metrik ton ile rekor noktaya ulaşmıştır.



Şekil 1.1: 2000-2019 küresel karbondioksit emisyonu (Statista 2021,milyar ton)

Ülkemizde ise sera gazı emisyonu, 2018 yılında 520,9 milyon metrik ton olarak hesaplanmıştır. Şekil 1.2’de yıllar içerisindeki sera gazı emisyon sonuçları incelendiğinde, kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri iken, 2018 yılına gelindiğinde bu rakamın 6,4 tona çıktığı görülmektedir.



Şekil 1.2: 1990-2018 Türkiye sera gazı emisyon değerleri (TÜİK 2020, metrik ton)

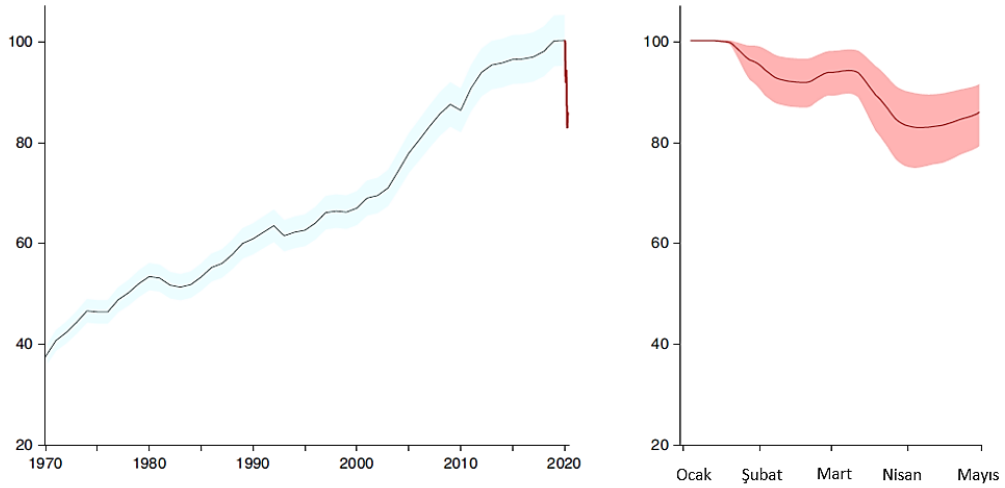
Sera gazı emisyon oranları sektörel olarak incelendiğinde ise, Türkiye’de enerji sektörünün, %71,6 pay ile ilk sırada yer aldığı Şekil 1.3’te görülmektedir.



Şekil 1.3: Türkiye sektörlere göre sera gazı emisyon oranları ve gazlara göre sera gazı emisyon oranları (TÜİK 2020)

Küresel emisyon verilerine göre Türkiye, en çok sera gazı salınımı yapan ülkeler sıralamasında 2016 yılı emisyon değerleri ile 17. sırada yer almıştır.

11 Mart 2020’de Dünya Sağlık Örgütü tarafından deklare edilen küresel salgın ile dünya gündemi tamamen değişmiş, salgın hastalık ve etkileri dünyada hızlı şekilde her kıtaya yayılmıştır. Hükümetler; hastalığın yayılmasını önlemek amacıyla; kitlesel toplantıları yasaklamış, eğitim kurumlarını zorunlu olarak kapatmış, hatta işyerlerinde ev-ofis uygulamalarını zorunlu hale getirmiştir. Dünya genelinde uygulanan bu ve benzeri sınırlamalar, enerji kullanımlarında ve dolayısıyla karbondioksit emisyonları üzerinde büyük değişikliklere neden olmuştur. Pandemi nedeniyle gerçekleşen sınırlamalar sonrasında, fosil yakıt kaynaklı karbondioksit emisyonlarında meydana gelen geçici ancak hızlı değişim Şekil 1.4’te görülmektedir. Şekil 1.4’te 2020 yılı ilk aylarında gözlemlenen, sürekli düşüş dikkat çekmektedir.



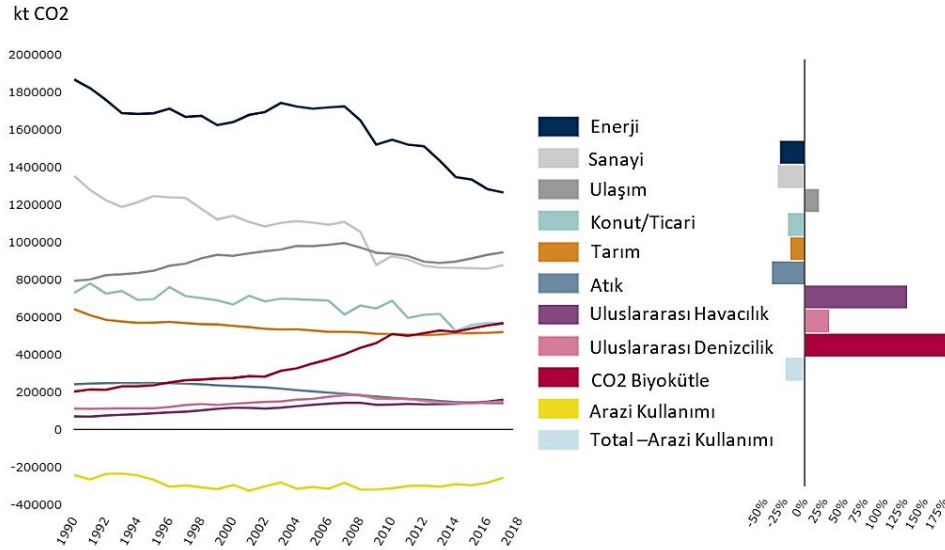
Şekil 1.4: 1970-2020 günlük küresel karbondioksit emisyonu (Le Quéré, C. ve diğ. 2020, MtCO<sub>2</sub> d<sup>-1</sup>).

Le Quéré, C. ve diğ. çalışmalarında, sektörel olarak küresel emisyon değerlerindeki değişimleri analiz etmiş ve kara ulaşımı kaynaklı küresel emisyon değerlerinde gerçekleşen, %36 düşüş ile, ulaşım sektörünün; en çok etkilenen 3 sektör olan kara ulaşımı, enerji ve endüstri sektörleri arasında küresel karbondioksit emisyonundaki düşüşe en büyük katkıyı sağladığı sonucuna ulaşmışlar ve genel emisyon değerlerinde yaşanan düşüş ile 2006 yılı emisyon seviyelerine ulaştığını belirtmişlerdir (Le Quéré, C. ve diğ,2020).

2020 yılında dünya genelinde gözlemlenen bu değişimler, yakın gelecekte, karasal ulaşım sektöründe fosil yakıtların yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarının

kullanımının yaygınlaşması ile çevre üzerinde gerçekleşebilecek olumlu etkilerin açıkça ortaya konulmasını sağlamıştır.

Avrupa sektörel olarak incelendiğinde ise, ulaşım sektöründe karbondioksit emisyonu değişiminin son yıllarda sürekli artış yönlü olduğu Şekil 1.5'te gösterilmektedir.



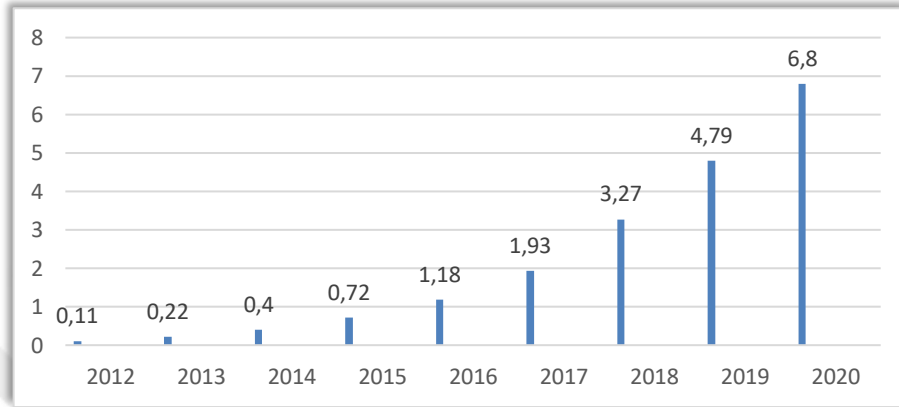
Şekil 1.5: Sektörel olarak karbondioksit emisyon oranlarındaki değişimlerin gruplandırılması. (Avrupa Çevre Ajansı, Göstergeler).

Son yıllarda, ulaşım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim devam etmektedir. Ancak, özellikle kara ulaşımında, karbondioksit emisyonunda sürekli yönlü artış gözlemlenmesine rağmen; yenilebilir enerji tamamen fosil enerjinin yerini alamamış ve iki enerji türü birlikte kullanılmaktadır. Fosil yakıtların, ulaşım sektöründe artan enerji talebini karşılamaya devam etmesi, karbondioksit emisyonunda meydana gelen bu sürekli artışın başlıca nedenlerindedir. Yenilenebilir Enerji 2021(REN21) Küresel Durum Raporu'na göre; 834 şehir yenilebilir enerji hedeflerine, 796 şehir net sıfır emisyon taahhütlerine, 67 şehir elektrikli araç hedeflerine, 163 şehir yönetimi fosil yakıtlardan kurtulma hedeflerine sahiptir ve 1852 şehir yönetimi iklimsel acil durum ilan etmiş durumdadır.

Rapor'da ulaşılan sonuçlara göre şehirler küresel enerji kullanımına bağlı karbondioksit emisyonununun %75'inden sorumludur ve şehir yönetimleri bu oranları

azaltmak için, ulaşım sektöründe önemli adımlar atarak ulaştırma filolarını ve şehir içi ulaşımı elektrikli araçları yaygın hale getirerek karbonsuzlaştırmaktadır.

Şekil 1.6’da görüldüğü üzere, dünya genelinde elektrikli araçların sayısında 2012-2020 yılları arasında 6 milyondan fazla bir artış meydana gelmiştir.

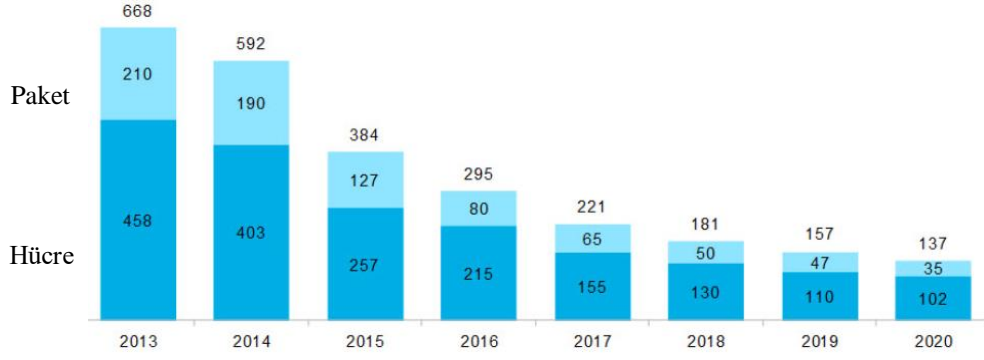


Şekil 1.6: 2012-2020 elektrikli araç sayıları (Statista 2021, milyon birimler)

Statista 2021 verilerine göre, küresel elektrikli araç filosunda, 2030 yılında 115 milyon araç olması beklenmektedir. Araç kullanıcılarının elektrikli araçlara olan yönelimleri bu noktada önemli bir etkidir.

2019 yılında Mobilite Monitörü Elektrikli Araçlar ve Sürdürülebilirlik çalışması kapsamında, 1405 katılımcıya uygulanan ankete sonuçlarına göre; düşük karbondioksit emisyonları ve düşük işletme maliyetleri, insanların elektrikli bir araç satın almasının ana etkenlerindedir (LeasePlan Mobilite Monitörü, 2019).

Elektrikli araç kullanımını yaygınlaştıran bir diğer önemli etken ise; modern elektrikli otomobillerin kullandığı lityum-iyon pillerden oluşan batarya teknolojisine, BP ve Shell gibi petrol devlerinin yatırımlarını yönlendirmesi ve beraberinde gelen arttırılmış pil ömürleri ve ucuzlatılmış maliyetlerdir. Elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon bataryaların hem hücre hemde pil paketleri bazında ilk kez kWh başına 100 doların altına düştüğü Şekil 1.7’de görülmektedir.



Şekil 1.7 :2013-2020 lityum-iyon batarya paket ve hücre dağılımlı fiyat değişimleri, \$/kWh (BloombergNEF, 2020).

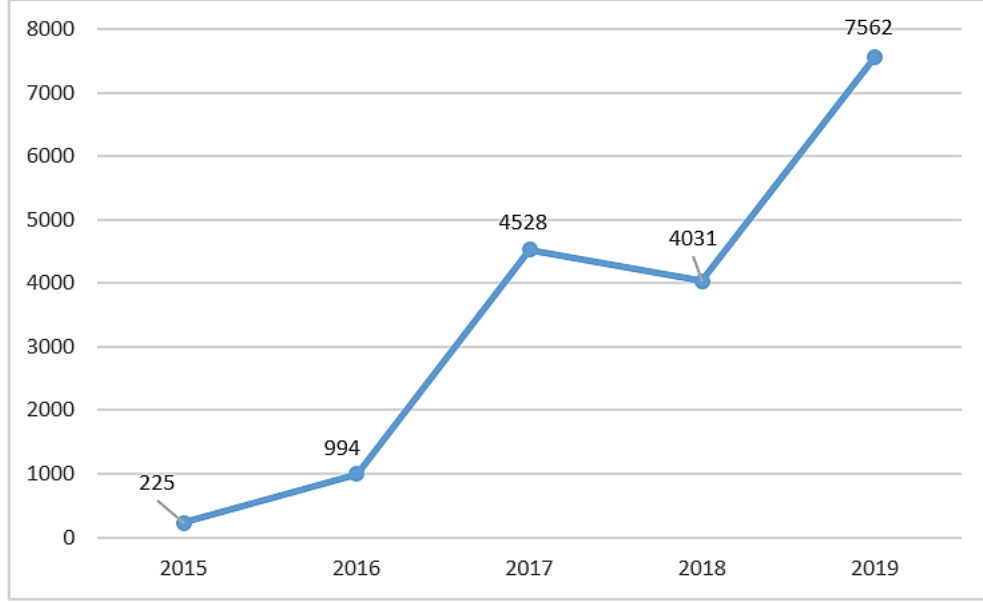
Endüstrinin 2030 yılı projeksiyonunda, bu fiyatların kWh başına 58 doların altına düşeceği beklentisi yer almaktadır.

Yüksek enerji yoğunluğuna sahip lityum-iyon pillerin geliştirilmesi, yeni nesil elektrikli araçların günlük yaşamda kullanımı konusunda umut verici gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Batarya verimlerinin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi gibi elektrikli araçların yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanarak devam etmektedir. Pil üreticilerinin geliştirdiği yeni nesil pillerin hızlı şarj olabilmeleri ve artırılmış kapasiteleri ile elektrikli araçlar, uygulanabilirliklerini arttırmış ve toplumun uyum süreci de hızlanmıştır.

Otomotiv sektöründe kullanımı yaygınlaşan elektrikli araçlar Türkiye de popüler hale gelmeye başlamıştır. Türkiye İstatistik Kurumu 2021 verilerine göre, 2011 yılında 10 adet olarak kayda geçen elektrikli ve hibrit otomobil sayısı, 2021 Şubat itibarıyla 44 bin adeti aşmıştır. Rakamlar incelendiğinde, Türkiye’de yakın gelecekte elektrikli araçların kullanıcılar arasında daha da yaygınlaşacağı ve dünya rakamlarını yakalayabileceği tahmin edilmektedir. 'Elektrikli Araçların Türkiye Dağıtım Şebekesine Etkileri' raporuna göre 2030 yılı itibarıyla ülkemizde elektrikli araç sayısının 2.5 milyona ulaşması ve 1 milyon şarj istasyonunun kurulmuş olması öngörülmektedir (SHURA, 2019).

Şekil 1.8’de verilen elektrikli ve hibrid araç satış rakamlarının 2015-2019 yılları arasındaki artışı 2020 yılı TEHAD verileri ile kıyaslandığında; 2019 yılında 138 adeti tamamen elektrikli, toplam 7562 elektrikli ve hibrid araçtan oluşan satış rakamları, 2020 yılı itibarıyla 844 tamamen elektrikli olmak üzere toplam 16941 elektrikli ve hibrid araç satış rakamına ulaşmıştır.





Şekil 1.8 :2015-2019 yılları elektrikli ve hibrid otomobil satış rakamları (TEHAD, Ekim 2019).

Geleceğin teknolojileri olarak görülen yenilikçi teknolojilerin günlük yaşam ile uyumlu hale gelmesi, kullanıcıların da teknolojileri edinme konusunda isteklerinin artmasına yol açmaktadır. Ancak elektrikli araç sürücülerinin zorunlu ihtiyaçları değerlendirildiğinde, en zaruri ihtiyaçlardan biri olan, şarj teknolojisi ve altyapısının ulaşılabilir olup olmadığı bu konuda büyük bir etkidir. Genel kullanıma açık 2000’i aşan şarj istasyonu sayısı ile Türkiye bu alanda çalışmalarını hızlandırmış ve birçok ülkenin gerisinde ancak hızlı bir gelişim göstermektedir. 2019 yılında 206’sı Türkiye’den olmak üzere 16 ülkeden 2005 katılımcının görüş verdiği anket çalışması sonuçlarında Türkiye, elektrikli araç almaya en olumlu bakan kullanıcı profiline sahip ilk üç ülke arasında yer almaktadır. Ancak katılımcıların 657’sinin 5 yıl içinde elektrikli olmayan bir araç satın almayı düşündüğü sonucuna da ulaşılmıştır. Kullanıcıların olumsuz düşüncelerinin sebepleri irdelenmiş ve 2005 kişiden oluşan aynı örnekleme bu kez, kullanıcıların sıradaki aracı olarak elektrikli bir araç satın almasının önüne geçen en önemli gördükleri sebepler sorulmuş ve elde edilen sonuçlar ile önemli problemlere dikkat çekilmiştir (LeasePlan Mobilite Monitörü 2019). Sonuçların analizi ile kullanıcıların elektrikli araç satın almaları hususunda olumsuz tutum sergilemelerine yol açan en önemli sebepler; Çizelge 1.1’de görüldüğü üzere, satın alma fiyatları, yetersiz şarj olanakları ve kısıtlı sürüş mesafesidir.

Çizelge 1.1: Elektrikli araç satın almama nedenleri yüzdesel veriler (LeasePlan Mobilite Monitörü 2019).

Elektrikli araç satın almama nedenleri	Yüzdeler
Satın alma fiyatı	61
Yetersiz şarj olanakları	51
Sınırlı sürüş mesafesi	45
İkinci el elektrikli araçlarda marka / model seçenekleri yeterli değil	21
Yeni elektrikli araçlarda marka / model seçenekleri yeterli değil	19
Çevre için sağladığı yararların yetersizliği	17
İkinci el satış değerinde belirsizlik	15
Mevcut teknoloji eski ve atıl olması	13
Gelecekte devlet teşviki ve vergi yardımıyla olası kesintiler	13
Maliyet etkinliği sağlayacak kadar fazla kilometre yapmamak	11
Sürüş deneyimi	7
Satın aldığım araç konusunda hiç veya çok az etkiye sahip olma	3
Statü ve kişisel itibar	3
Diğer	4

Sürücülerin elektrikli araç satın alma kararlarında olumsuz etki yaratan sorunların çözümlenmesi, daha çok kullanıcıyı elektrikli araçlara yöneltecek ve uzun vadeli olarak elektrikli araç sürücü sayısını arttıracaktır. En yüksek cevap yüzdesine sahip sorunlar olan; sınırlı sürüş mesafesi ve yetersiz şarj olanaklarını birbirinden bağımsız değerlendirmemek gereklidir. Şarj istasyonlarının kullanıcı talebini tatmin edici şekilde karşıladığı varsayımında, menzil kısıtı kaygı sebebi olmaktan çıkacaktır.

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Ofisi, işyerinde şarj istasyonlarına erişimi olan sürücülerin elektrikli araçlara geçme olasılıklarını 6 kat daha yüksek olarak değerlendirmektedir. Sürücülerin yeni teknolojilere sahip elektrikli araçlara ve bu araçların şarj olma konseptlerine uyum sağlama süreçlerini hızlandırmak ancak teknolojik altyapıyı kullanıcıların ihtiyaçlarını azami ölçüde giderecek hale getirmek ile mümkündür. Normal ve hızlı olmak üzere iki ayrı tip şarj istasyonuna sahip ülkelerdeki istasyonların sayısı incelendiğinde, Çin, 800.000'i aşkın kamuya açık şarj istasyonu ile Amerika rakamlarını geçmiş ve ulaşımda yenilenebilir enerjiye geçişi büyük ölçüde sağlamıştır (Statista 2021, Binlik birimler).

Araç sayıları ile paralel olarak artacağı öngörülen elektrikli araç şarj istasyonu sayısının, elektrikli araç kullanıcılarının ihtiyaçlarını en verimli şekilde karşılaması için, kurulacak istasyon ağının yerleşimi büyük önem taşımaktadır. Dünya genelinde

elektrikli araç kullanımının artması ile araçların şarj ihtiyaçlarının karşılanması konusunda altyapı çalışmaları da hızlı bir gelişim göstermektedir.

Bu veriler ışığında elektrikli araçların yaygın hale gelebilmesi; şarj istasyonu altyapısının kurulması ve istasyon sayılarının artırılması gerekliliğini doğurmaktadır. Bu çalışma, yakın gelecekte kurulması öngörülen şarj istasyonu altyapısına eklenebilecek olası şarj istasyonu lokasyonların potansiyelini analiz etmeyi ve çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak en uygun konumu seçmeyi hedeflemektedir. Mevcutta araç kullanıcılarına hizmet veren çözümler ve yakın gelecekte yaygınlaşması öngörülen yenilikçi şarj istasyonu çözümleri araştırılarak çalışmaya dahil edilmiştir. Bu tez için planlanan yol haritası Şekil 1.9'da verilmiştir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde de yapılan çalışmalar, bu çerçevede yürütülmüştür.



Şekil 1.9: Tez için izlenmesi planlanan yol haritası

## 1.1 Tezin Amacı

Elektrikli araçların Türkiye’de kullanımını son yıllarda popüler hale gelmektedir. 2021 yılı verilerine göre, Türkiye’de 44 bin üzerinde elektrikli ve hibrit otomobil trafiğe kayıtlıdır. Artan rakamlar değerlendirildiğinde, elektrikli otomobil kullanımına yaygın bir geçiş yapılmadan önce, etkin bir elektrikli araç şarj istasyon ağı oluşturulmalıdır. Bu tez; çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara kampüsünde seçilen mevcutta kullanıma otoparkların şarj istasyonu lokasyonları olarak potansiyelini analiz edip karşılaştırmayı kampüs otoparkları arasından en verimli olan alternatifi seçmeyi amaçlamaktadır. Yapılan çalışmanın kapsamı, uygulanan metodolojiler ve elde edilen sonuçlara çalışmanın ilerleyen kısımlarında yer verilecektir.

## 1.2 Literatür Araştırması

Bu çalışmaya, elektrikli araçların ve şarj istasyonlarının seçimi ve analizi ile ilgili olarak yapılan kaynak araştırması sonucu ulaşılan çalışmalar arasından ağırlıklı olarak ÇKKV tekniklerinden faydalanan çalışmalar dahil edilmiştir. Son yıllarda literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde ÇKKV yöntemlerinin elektrikli araç şarj istasyonu ağlarının analiz ve değerlendirmesinde sıklıkla kullanıldığı görülmüştür.

Feng C. ve diğ., şarj istasyonlarının yerleşimi için Gri Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Delphi yönteminin kullanılmasını önermektedir. Çalışmada yürütülen örnek olay incelemesi, yöntemin gerçek hayat problemi üzerindeki etkinliğini göstermekte ve verimli bir şarj istasyonu dağılım ağını çıktı olarak literatüre sunmaktadır (Feng C. ve diğ. , 2012). Jia L. ve diğ. makalelerinde elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun lokasyon ve büyüklüğünü bulmayı amaçlamaktadır. Çalışmada; şarj istasyonlarının yerleşim maliyetini en aza indirmek için bir matematiksel model oluşturulmuştur. İsveç'in Stockholm kentinde yapılan bir vaka çalışması ile önerilen metodun işlevselliğini ve uygulanabilirliğini göstermeyi hedeflemişlerdir. Tahsis edilecek en uygun şarj istasyonu sayısı, önerilen modelin optimizasyon yazılımı yoluyla çözülmesi ile elde edilmiştir (Jia ve diğ. , 2012).

Guo S. ve Zhao H. çalışmalarında, öncelikle bulanık TOPSIS temelli çok kriterli karar verme tekniği önermekte ve ekonomik, sosyal ve çevresel kriterler yer seçimi için değerlendirilmektedir. İstasyonların yerleşim yerleri için en uygun seçim, farklı

alternatiflerin kriter performansları ve ağırlıkları hakkında elde edilen uzman görüşleri ile oluşturulmuştur. Alternatifler bulanık TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Makalede, Pekin'deki Changping bölgesinde yer alan A2 alternatifinin en yüksek puana sahip olduğu ve alt kriter ağırlıklarındaki olası değişiklikler söz konusu olduğu durumlarda dahi en üst sıralarda yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır (Guo S. ve Zhao H. , 2015).

Raposo J. ve diğ. , şarj istasyonlarından oluşan ağ tasarımı; karar hafızası, çok yönlülük ve uyarlanabilirlik ekleyerek dinamik PROMETHEE yöntemini geliştirmişlerdir. Makalenin amacı, sunulan yaklaşımı bir Portekiz şehrine uygulamak ve etkili şarj ağları oluşturmaktır. Bu makalede sunulan vaka çalışması, farklı politikalar ve senaryolar altında esnek bir çalışma ortamı sunmaktadır (Raposo J. ve diğ. , 2015). Yağcıtekin B. ve diğ. çalışmalarında, kuyruk teorisi ve AHP yöntemini entegre olarak kullanmışlardır. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü Yerleşkesi'ni ele alarak şarj istasyonu yerleşimi için esnek bir simülasyon modeli önermişlerdir. Sonuç olarak, kampüsteki sürücülerin alışkanlıklarına göre elde edilen anket verileri, önerilen entegre yaklaşıma uygulanarak en uygun şarj istasyonları belirlenmiştir (Yağcıtekin B. ve diğ. , 2016).

Wu Y. ve diğ. elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlarının belirlenmesi problemi ile ilgilenmektedirler. PROMETHEE ve bulut modeli ile çözüm önerdikleri probleme yaklaşımının geçerliliğini göstermek amacıyla, Pekin kentinde bir vaka çalışması yapmışlardır. Kentin nüfusu ve elektrikli araçların Çin genelinde yaygınlığı göz önünde bulundurulduğunda elde edilen sonuçların uygulanabilirliği ve istasyonların verimliliğini analiz etmişlerdir (Wu Y. ve diğ. , 2016).

Zhao H. ve Li N. , elektrikli araçların şarj istasyonlarının yerleşimini tayin etmek için kriterleri belirleme aşamasında gelişmiş sürdürülebilirlik teorisinden, alt kriterleri belirleme aşamasında ise bulanık Delphi metodundan faydalanmışlardır. Bu aşamada alt kriterler belirlenirken ekonomik, sosyal, çevresel ve teknolojik faktörler dikkate alınmıştır. Çalışmada, Gri İlişkisel Analiz ve VIKOR yöntemleri birlikte kullanılarak en uygun şarj istasyonu konumu belirlenmiştir. Makale kriter ağırlıklarını; uzman değerlendirmelerini, Shannon entropi metodunu ve objektif verileri kullanarak elde etmekte ve metodun doğruluğunu Tianjin kentinden seçilmiş alternatif konumların değerlendirilmesinde kullanarak ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, şarj istasyonu lokasyonları arasından A3 alternatifi en üst sıralamaya sahip alternatif olarak diğer alternatiflere tercih edilmiştir (Zhao H. ve Li N., 2016).

Janjic A. ve diğ. çalışmalarında şarj istasyonları için yeni bir çok kriterli yaklaşım sunmaktadırlar. Çalışma, şarj istasyonu yerleşimi için sürücü konforunu en üst düzeye çıkaran, yürüme mesafesini, şebeke güç kaybını en aza indiren açgözlü sezgisel tarama ve AHP metodolojisi kullanılarak sonuç elde edilmesini önermektedir. Yapılan vaka çalışması ile gerçek hayat uygulaması da gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, 10 muhtemel lokasyon arasında yer seçimi yapılmış ve alternatiflerin sıralamalarına ulaşılmıştır (Janjic A. ve diğ. , 2017). Erbaş M. ve diğ. bu makalede, coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı bir çok ölçütlü karar analizi yaklaşımı ile elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleşim problemine çözüm bulmayı hedeflemektedir. Optimal şarj istasyonu konumlarını seçmek için bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanılmıştır. 4 aşamalı olarak özetledikleri çalışmalarında ilk olarak farklı bakış açılarından yararlanarak 15 kriter belirlenmiştir. Çalışmanın devamında coğrafi bilgi sistemi yöntemi kullanılarak olası konumların puanlarına erişilmiş ve bulanık AHP kullanarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Son olarak TOPSIS yöntemi ile alternatifler sıralanmıştır. Önerilen hibrit yöntemin, Ankara'da vaka çalışması yapılarak önerilen alternatif konumların dikkate alınan kriterler açısından 12 istasyonun mevcut konumlarından daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşımlardır (Erbaş M. ve diğ. , 2017).

Genevois M. ve Kocaman H. , makalelerinde İstanbul'un Kadıköy ve Ataşehir illeri için AHP tabanlı bir tamsayı programlama modeli önermektedirler. AHP ile ulaşılan kriterlerin ağırlıkları; yardımcı fonksiyon çarpanları olarak, objektif fonksiyonlarda kullanılmaktadır. Nihai sonuç olarak, önerilen metod şarj istasyonlarının yerleşim problemi için etkili çıktılar sunmaktadır (Genevois M. ve Kocaman H. , 2018).

Liu J. ve Wei Q. , bulanık TOPSIS kullanarak kamu alanında belirlenmiş özel projeler için şarj istasyonu yerleştirme risk düzeylerini araştırmaktadır. Bu çalışma Çin'deki projeleri ele alarak, sınıflandırma ve risk faktörü tanımlarını içermektedir. Çalışmalarında, üç alternatif proje için riskin sıralanması ve projelerin uygulanmasına yönelik ayrıntılı önerilere yer vermektedirler. Çalışma risk yanıt stratejilerinin geliştirilmesine ve projelerde netlik sağlanmasına katkıda bulunmaktadır (Liu J. ve Wei Q. , 2018).

Liu H. C. ve diğ. şarj istasyonları için en uygun yeri bulmak için karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı DEMATEL yöntemi ile entegre dilsel belirsizlik içeren ve çok amaçlı oran yaklaşımı, referans noktası yaklaşımı ve tam çarpımsal yaklaşıma

dayalı UL-MULTIMOORA yöntemini önermişlerdir. Kriter ağırlıkları DEMATEL ile elde edilmekte, alternatifler MULTIMOORA ile değerlendirilip seçilmektedir. Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için bu çalışmada Çin'in Şangay kentinin şarj istasyonlarının yerleşimi problem olarak ele alınmıştır. Çalışmanın sonuçları, sunulan yaklaşımın şarj istasyonları için en uygun konumlandırma için işlevsel olduğunu göstermektedir (Liu H. C. ve diğ. , 2018).

Diemuodeke E. O. ve diğ. çalışmalarında rüzgar enerjisi ve güneş pili ile çalışan araçlar için mesken kullanıma yönelik yedek jeneratör ve enerji depolama alanlarının konumlandırılması problemini ele almışlardır. Çalışmada, Güney Nijerya Protektorası'nda seçilen 6 lokasyona yerleştirilmesi planlanan hibrit enerji sistemi için lokasyonların her biri, teknik ekonomik çevresel ve sosyo-kültürel kriterler göz önünde bulundurularak HOMER sıralama analizi yazılımı ve TOPSIS çok ölçütlü karar verme tekniği ile analiz edilmiştir. Lokasyonlar analiz edilmiş ve çalışmayı; bu alanda yapılmış mevcut çalışmalarla, karşılaştıran bir tasarım metodolojisi olarak yenilenebilir enerji uzmanlarına sunulmuştur (Diemuodeke E. O. ve diğ. , 2018).

Hosseini S. ve Sarder MD çalışmalarında, elektrikli araçlarının hızlı şarj istasyonlarının yer seçimi problemine yönelik literatürde var olan çalışmalardan farklı olarak Bayes ağırları yöntemi ile nicel faktörler ile birlikte nitel faktörlerin de seçim kriterleri üzerindeki etkisini göz önünde bulunduran bir model sunmuşlardır. Bu kriterler; ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik bakış açısı ve uzman görüşlerine başvurularak belirlenmiştir. Yer seçimi değerlendirme aşamasında belirsizlik ve risk ortamlarında güçlü karar alma tekniklerinden olduğunu belirttikleri Bayes ağırları yönteminin etkinliği duyarlılık analizleri ile doğrulanmıştır. Makalede önerilen metod, karar alma aracı olarak enerji yönetimi alanında literatüre sunulmuştur (Hosseini S. ve Sarder MD, 2019).

Lia C. ve diğ. , çalışmalarında, Çin pazarında mevcut olan ve yeni pazara girişi gerçekleşmesi planlanan elektrikli araçların seçimi konusunda araç önceliklerine karar vermek amacıyla bir karar destek modeli önermektedirler. Analitik Hiyerarşi Prosesi ve VIKOR tekniklerini kullanarak karar verme sürecini ele alan makalede optimizasyon kriterlerini seçme ve değerlendirme konusunda akademik araştırmacılar, endüstriyel yöneticiler ve hükümet yetkililerinin görüşlerine başvurulmaktadır. Konusunda uzman 35 kişi ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenen kriterler ve kriter ağırlıklarını girdi olarak kullanan karar verme sürecinin çıktısı olarak yakıt

tüketim cinsine göre pazara giriş öncelikleri sırasıyla gaz, metanol ve etanol tüketen araçlar olarak belirlenmiştir. Önerilen çok ölçütlü karar verme modeli istatistiksel veri olarak ve devlet politikalarında kullanılarak geçerliliği kabul edilmiştir (Lia C. ve diğ., 2019).

Liu A. ve diğ. bu makalelerinde uygun şarj istasyonu konumlarını seçmek için bulanık çok ölçütlü karar verme teknikleri önermiştir. İlk olarak, 3 kriter ve 18 alt kriter, bulanık Delphi yöntemi ile tanımlanmış ve bir değerlendirme kriterleri sistemi oluşturulmuştur. Çalışmada, bulanık Gri İlişkisel Analiz tabanlı model oluşturularak subjektif ve objektif kriter ağırlıklarına ulaşmak için bulanık en iyi en kötü yöntem ve uzaklık tabanlı bulanık entropi ağırlık yöntemi uygulanmıştır. Bulanık Gri ilişkisel Analiz ile yeni bir sıralama elde edilmiş ve en uygun alternatife ulaşmak için alternatifler sıralanmıştır. Sonuçlara uygulanan duyarlılık analizleri ile kriter ağırlıklarında ve alternatiflerin ağırlıklarında meydana gelebilecek dalgalanmalarda sonuçların yeni durumları karar vericilerle tartışılarak makalede sunulmuştur (Liu A. ve diğ. , 2020).

Zhang L. ve diğ. kamuya açık alanlarda elektrikli araç şarj altyapısı kurulması problemini; rasyonelite ve operasyonel verimlilik açısından irdelemişlerdir. Mevcut şarj altyapısı, hizmet kapasitesi, şarj güvenliği ve sürdürülebilir kalkınmayı göz önünde bulundurarak öncelikle çalışmada kullanıcı ve uzman görüşleri girdi olarak kullanılarak istasyon özellikleri ve ağırlıkları belirlenmiştir. Değerlendirilen istasyonlar TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Önerilen model, üç elektrikli araç şarj istasyonuna uygulanarak Pekin'de çalışmalarının etkinliği ve doğruluğunu tespit etmeyi amaçlamışlardır. Ortaya çıkan sıralamalar sonucu yapılan değerlendirmede altyapı çalışmalarının önemini vurgulamışlar ve devlet teşviklerinin gerekliliğinin büyük önem taşıdığına dikkat çekmişlerdir (Zhang L. ve diğ. , 2020).

Zhoua J. ve diğ. , makalelerinde güneş pili ile çalışan araçların kullanımı amacıyla kurulacak şarj istasyonlarının lokasyonlarının belirlenmesi için çok ölçütlü karar verme teknikleri ile birlikte coğrafi bilgi sistemi (CBS) yöntemlerinden yararlanmışlardır. Önerdikleri metodun uygulanabilirliğini ve görünürlüğünü doğrulamak amacıyla Beijing kentinde bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Seçilen yedi bölgede coğrafi bilgi sistemi yönteminden yararlanılarak trafik akışı ve yol dağılımları incelendikten sonra ileri aşamada çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile lokasyon seçimi gerçekleştirmeyi hedeflemişlerdir. Çevresel, teknik, ekonomik ve



sosyal kriterlerin ağırlıkları en iyi en kötü yöntem ve karışık bilgi entropi yöntemi ile hesaplanmıştır. Son aşamada iterasyonel ÇKKV metodu olan TODIM kullanılarak alternatif şarj istasyonlarının sıralamalarına ulaşılmıştır (Zhoua J. ve diğ. , 2020).

Kaya Ö. ve diğ. , İstanbul'da yürüttükleri araştırma kapsamında mevcutta kullanımda olan 95 şarj istasyonu ve sundukları alternatif 100 adet alternatif lokasyonu değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında AHP, PROMETHEE, VIKOR yöntemlerini coğrafi bilgi sistemi (CBS) yöntemi ile birlikte kullanmışlardır. PROMETHEE ve VIKOR analizlerinin çıktılarında elde ettikleri benzer sonuçların çalışmalarında uyguladıkları metodolojinin doğruladığını ifade etmişlerdir. Yöntemlerin sonuçlarının, kriter ağırlıklarında meydana gelecek değişikliklere ne kadar duyarlı olduğunu ortaya koymak için duyarlılık analizi de gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonuçları İstanbul'un Avrupa yakasında güneydoğuda konumlu alternatiflerin ve Anadolu yakasında güneybatıda konumlu alternatiflerin şarj istasyonu için en uygun tercihler olduğu vurgulanmıştır (Kaya Ö. ve diğ. , 2020)

Ghosh A. ve diğ. , Hindistan'ın Howrah şehrinde yürütülen vaka çalışmasında, belirlenen kriter ve alt-kriterleri dikkate alarak; bulanık AHP, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS ÇKKV metodları ile elektrikli araç şarj istasyonları lokasyonlarının seçimini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, iki farklı metod sonuçlarına göre en iyi lokasyon Howrah Maidan alternatifi seçilmiştir. Sonuçların güvenilirliği, gürbüzlüğü ve verimi duyarlılık analizleri ile araştırılmıştır (Ghosh A. ve diğ., 2021)

Sørensen A.L. ve diğ., EA şarj istasyonlarının şebekeye getireceği yükü ve esnek planlama yöntemlerini araştırmışlardır. Çalışmada EA kullanıcılarının alışkanlıkları elektrik yükünü tanımlamak için kullanılmaktadır. Norveç'te büyük bir konut kompleksinde gerçekleştirilen çalışmada iki ayrı varsayımın getireceği yük tartışılmaktadır (Sørensen A.L. ve diğ.,2020)

Miguel F. Anjos, ve diğ., elektrikli araçlar ve şarj altyapısı konusunda en büyük ilerlemeyi kaydetmiş ülkelerden olan Kanada'nın Kaliforniya ve Quebec eyaletlerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, EA'ların konumlandırılması problemi için yeni bir stratejik çok dönemli optimizasyon problemini literatüre sunmuşlardır. Çalışmada, EA'ların adaptasyon sürecinin problemin belli dinamikleri üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Sürücülerin seyahatleri ve paralelinde EA'ların şarj talepleri akış tabanlı olarak modellenmiştir.

Problemin matematiksel formülasyonu için karma-tamsayılı doğrusal programı önerilen çalışma, çok daha geniş örneklemin mevcut olduğu durumlar için EA şarj istasyonlarının konumlarına, kanıtlanabilir ve etkin çözümler sunarak erişen buluşsal bir yöntemi literatüre kazandırmıştır(Miguel F. Anjos, ve diğ.,2020).

Elektrikli taşıtlara şarj imkanı sağlayan istasyonların, yerleşim ağlarının kurulumu ve lokasyonlarının belirlenmesini içeren çalışmalar aşağıda Çizelge 1.2'de gösterilmektedir. Çizelgede, çalışmalarda kullanılan yöntemler ve alternatifleri değerlendirmek için dikkate alınan kriterlerin dağılımlarında da yer verilmektedir.

Çizelge 1.2: Araç şarj istasyonları yerleşim seçimi ile ilgili yapılan çalışmalar.

Yazar(lar) / Yıl	Metodoloji	Ülke	Kriterler			
			Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Teknik
Feng C. ve diğ./2012	GAHP	Çin	3	1	3	1
Guo S. ve Zhao H./2015	FTOPSIS	Çin	3	4	4	-
Raposo J. ve diğ./2015	PROMETHEE	Portekiz	-	-	7	-
Yağcıtekin B. ve diğ./2016	AHP ve Matematiksel Model	Türkiye	-	-	6	-
Wu Y. ve diğ./2016	ANP ve PROMETHEE	Çin	3	6	3	3
Zhao H. ve Li N./2016	Gri İlişkisel Analiz ve FVIKOR	Çin	8	10	9	10
Janjic A. ve diğ./2017	AHP	Sırbistan	-	-	2	1
Erbaş M. ve diğ./2017	AHP ve TOPSIS	Türkiye	3	6	6	-
Genevois M. ve Kocaman H./2018	AHP ve Matematiksel Model	Türkiye	-	-	3	-
Liu J. ve Wei Q./2018	FTOPSIS	Çin	4	3	4	-
Liu H. C. ve diğ./2018	DEMATEL ve UL-MULTIMOORA	Çin	2	3	4	-
Diemuodeke E. O. ve diğ./2018	TOPSIS	Nijerya	5	4	4	2
Hosseini S. ve Sarder MD./2019	Olasılıksal Model	İran	3	3	3	1
Rouyendegh (B. Erdebilli) ve diğ./2019	TOPSIS, VIKOR, Matematiksel Model	Türkiye	-	-	3	-
Liu A. ve diğ./2020	Gri İlişkisel Analiz ve Matematiksel Model	Çin	4	7	6	-
Zhang L. ve diğ./2020	TOPSIS	Çin	1	-	8	4
Zhoua J. ve diğ./2020	TODIM	Çin	2	2	2	2
Kaya Ö. ve diğ./2020	AHP,PROMETHEE, VIKOR	Türkiye	4	6	2	4
Ghosh A. ve diğ./2021	FAHP, FTOPSIS ve FCOPRAS	Hindistan	5	3	5	-

### 1.3 Elektrikli Araçlara Genel Bakış

Elektrikli araç; bir veya daha fazla elektrik enerjisi ile çalışan motor kullanılarak batarya veya diğer enerji depolama cihazlarında depoladığı elektrik enerjisi ile hareketini başlatan ve sürdüren her türlü tekerlekli araç olarak tarif edilebilir.

Elektrikli araçlarda bataryadan alınan elektrik enerjisi bir elektrik motoru ile mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Bu mekanik enerji araç üzerindeki tahrik organları yardımıyla tekerleklere aktararak hareket sağlanmaktadır.

Elektrikli araçların temel parçaları; enerji depolama için batarya, tahrik sistemi için elektrik motoru, jeneratör, mekanik iletim ve güç kontrol sistemleridir. Elektrikli araçlarda tahrik sistemi, sadece elektrik motorundan veya hem elektrik hem de içten yanmalı motordan beslenebilir.

Elektrikli araçlar genel olarak üç kategoride değerlendirilmektedir:

- Hibrit Araçlar
- Fişli(Plug-in) Araçlar
- Elektrikli Otomobiller

Hibrit araçlar klasik otomobillere göre en az farkı olan araçlar olarak konumlandırılmışlardır. Asıl amaçları benzin tasarrufu ve az tüketimdir. Şarj edilmeye ihtiyaç duymayan; asıl işlevi benzin motoru ile karşılayan ve benzin motoru haricinde bir adet içten yanmalı motor, pil ve elektrik motoru içeren araçlardır.

Fişli(Plug-in) araçlar da tıpkı hibrit araçlar gibi hem içten yanmalı motor; hem elektrikli motor içermektedir. Hibrit araçlara göre farkı tekrar şarj edilebilen ve daha güçlü elektrik motoruna sahip olmasıdır.

Elektrikli otomobiller ise sadece pile ve tekrar şarj edilmeye ihtiyaç duyan elektrikli motora sahiptir. Bu otomobillerin tek enerji kaynakları elektriktir ve bu nedenle yüzde yüz elektrik ile çalışmaktadır. Bu çalışmada elektrikli otomobiller araştırma konusu olarak seçilmiş ve elektrikli araçların şarj ihtiyacını karşılamaya yönelik sunulan çözümler araştırılmıştır.

Bu üç temel kategori dışında da son derece yeni ve deneme aşamasında bir teknoloji olan yakıt hücreli otomobillerden de bahsetmek doğru olacaktır. Bu araçlar tıpkı benzin doldurulur gibi hidrojen doldurularak çalışmaktadır. Hidrojen yakıt hücreli

olan bu otomobil türü elektrikli otomobillerden farklı olarak enerjiyi lithium-iyon veya bir başka tür pilde değil hidrojen tanklarında hidrojen şeklinde saklar. Hidrojeni yakıt hücrelerinden geçirerek elektrikli motorun kullanabileceği güç haline getirerek çalışmakta ve hareket etmektedir. Gelecekte elektrikli otomobillerden sonraki aşamanın yakıt hücreli otomobiller olacağı değerlendirilmektedir.

#### **1.4 Dünya’da ve Türkiye’de Elektrikli Araçların Tarihçesi**

Özellikle son yıllarda oldukça popüler olmasına karşın elektrikli araçların tarihçesi çok eskiye dayanmaktadır.

Tarihte bilinen ilk elektrikli motor ve araç, 1835 yılında Thomas Davenport tarafından Amerika Vermont’ta icat edilen; iki elektromıknatıs, bir pivot ve bir batarya kullanılan küçük bir lokomotifir . 1832-1839 yılları arasında şarj edilme özelliği olan ilk elektrikli araç, İskoçya’nın Aberdeen şehrinde, Robert Anderson tarafından icat edilmiştir.

Ticari olarak elektrikli araçların ilk kullanımı ise 1897 yılında New York’da gerçekleşmiştir. Özellikle 1900 yılına gelindiğinde elektrikli araçların altın çağı başlamıştır. Amerika Birleşik Devletleri’nde üretilen 4.192 otomobilden yüzde 28’i elektrikle çalışmakta ve benzinli araçlardan daha çok elektrikli araçlarda talep yoğunluğu yaşanmaktaydı. Ancak 1908 yılında Henry Ford’un seri üretime aldığı yeni benzinli arabası Model T ile Amerikan otomobil pazarı başta aşağı değişmiştir. Böylece 1912 yılında elektrikli araçların yerini, seri üretimde imal edildiği için daha uygun olan benzinli araçlar almaya başlamış ve 1920 yılında elektrikli araçlar tercih edilen ürün olmaktan çıkmıştır.

1960’lı yıllarda gelindiğinde ise fabrikaların artışı, otomobillerde ve ısınmada kullanılan yakıtlar nedeniyle Avrupa ve Amerika’da binlerce kişinin hayatını kaybetmesi ile 1970’lerde elektrikli araçlar tekrar gündeme gelmiştir. Bunun yanı sıra 1973 yılında çıkan OPEC Petrol Krizi nedeniyle benzin fiyatlarının artması, benzinli araçlara alternatif arayışının ortaya çıkmasına ve elektrikli araç konusunda çalışmaların yeniden hızlanmasına vesile olmuştur.

1997 yılında Toyota, dünyanın ilk kez ticari olarak pazarlanan ve seri üretilen hibrit otomobili Prius'u Japonya'da tanıtmıştır. 1997-2000 yılları arasında Honda's EV Plus,

G.M.'s EV1, Ford's Ranger pik up EV, Nissan's Altra EV, Chevy's S-10 EV ve Toyota's RAV4 EV gibi modelleri büyük otomobil imalatçıları tarafından üretilmiştir. 2006 yılına gelindiğinde elektrikli araç konusunda devrim sayılabilecek bir adım olarak, Tesla Model-S ile karşımıza çıkmış ve sadece elektrikli araç konseptini değil; akıllı araç konseptini de gündeme getirmiştir.

Ülkemizde ise ekonominin temel taşlarından birini oluşturan otomotiv endüstrisi, günümüze kadar önemli evrimler geçirmiştir. Bu evrim içinde elektrikli otomobiller, yıllarca geri planda kalsa da, fosil kaynaklara alternatif arandığı günümüzde tekrar önem kazanmıştır.

Elektrikli araç konusunda ilk çalışmalar; 2002 yılında bir proje kapsamında ülkemizdeki ilk otomobil fabrikası ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) işbirliği ile hafif ticari aracın sürücü sisteminin elektrikli hibrit olarak geliştirilmesini içermektedir.

Ülkemizde ilk elektrikli araç Renault Fluence ZE, 2009'da Bursa'da üretilirken, ilk yerli elektrikli spor otomobilimiz olan SAPMAZ 3GEN 2013 yılında prototip olarak üretilmiştir. Sonrasında ise yerli elektrikli araç üretme çalışmaları çeşitli kurum ve firmalar tarafından birbirinden bağımsız şekilde devam etmektedir.

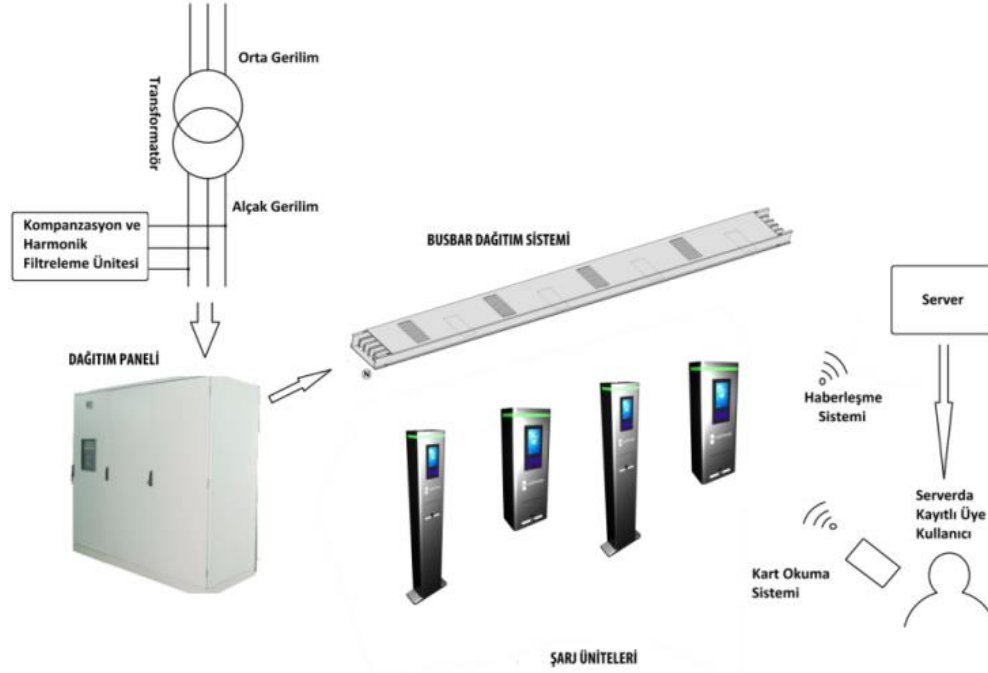
TÜİK'e göre elektrikli-hibrit otomobiller 2011 yılından itibaren trafikte yer almaya başlamıştır. Beklentiler ise 2020 yılında elektrikli-hibrit otomobil sayısının 2018-2020 yılları aralığına göre 8 kat artması yönündedir.

Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu'nun (TOGG) tasarımı yerli elektrikli otomobilin ise 5 farklı segmentte üretileceği ve öncelikli olarak C-SUV, devamında C-Sedan modeli, daha sonra C-Hatchback, B-SUV ve C-MPV modellerinin otomobil kullanıcılarına tanıtılacağı belirtilmiştir.

### **1.5 Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ve Kullanım Prensipleri**

Şarj istasyon sistemi, elektrik enerjisi alt yapısı ve tesisatı ile başlayan, araçlara enerji akışını ve kontrolünü gerçekleştiren üniteler ve bunların haberleşme alt yapısı ile son bulan yapı sistemidir. Bu yapı sistemi alçak gerilim tesisatı temeline inşa edilmiş bir yapıdır. Bu yapı elektrik panosu ve şarj ünitelerini besleyen kablo ya da Busbar

sistemlerini, elektrik kalitesini sağlamak için de kompanzasyon ve harmonik filtreleme ünitelerini içermektedir. Şekil 1.11’de şarj istasyonlarının genel yapısı görülmektedir.



Şekil 1.10: Elektrikli şarj istasyonlarının genel yapısı (Birleştirici, Ahmet ve diğ.)

Şarj istasyonunun çalışma prensibini alçak gerilim sistemi üzerinden gelen elektriğin dağıtım paneline gelmesi ile başlar. Elektrik, dağıtım sistemi vasıtası ile şarj ünitelerine dağıtılır. Enerjinin elektrikli araca akışını insan ve teknik alt yapı açısından güvenli olarak gerçekleştiren ekipman şarj ünitesidir. Şarj istasyonun iç haberleşmesinden sorumlu olan şarj üniteleri, ayrıca kullanıcı giriş ve çıkışını sağlayan kart okuyucu gibi modülleri ve akışı gösteren LCD ara yüzü kontrol eden üniteleri ile dışarı ile haberleşmeyi de sağlamaktadır.

Tarihte ilk olarak 1896, elektrikli araba ve kamyonların sınırlı kullanım aralığının üstesinden gelmek için, değiştirilebilir bir batarya servisi konsepti önerilmiştir. Takip eden aşamada; 1910- 1924 yılları arasında Hartford Electric Light Company tarafından GeVeCo akü servisi ile değiştirilebilir batarya istasyonu uygulamaya konulmuştur. Aynı şekilde benzer bir başarılı bir hizmet, Chicago'da Milburn Electric otomobillerin de 1917'de başlamıştır. Günümüzde ise Better Place, Tesla ve Mitsubishi Heavy Industries, sürüş mesafesini uzatmak için batarya değişim teknolojisini elektrikli araçlarıyla entegre etmekle ilgilenmektedir.

Elektrikli araç çalışmalarının henüz gelişme aşamasında olduğu ülkemizde ise Türkiye genelinde özel kullanımlı ve halka açık şarj istasyonlarının kullanıcılara hizmet verdiği

bilinmektedir. Türkiye piyasasında EA şarj istasyonu satış ve kurulumu yapan, bu çalışma kapsamında belirlenen en büyük şarj ağına sahip firmalar: 1000 soket ile en yaygın ağına sahip ZES başta olmak üzere, SHARZ.NET ve Voltron İşbirliği, Eşarj ve Gersan sattıkları veya kiraladıkları ve farklı alanlarda kullanıma sundukları şarj istasyonları ile müşterilerine şarj imkânı sağlamaktadır. Dünyada ise; ChargePoint, ABB, BP, Shell ve Webasto ticari ve kamusal şarj hizmetleri ile ilk 5’te yer almaktadır.

Türkiye’de EA şarj istasyonlarının kurulumu ve yaygınlaştırılması, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında değerlendirilmiştir. Türkiye’de mevcut mevzuatta, Planlı Alanlar ve İmar Yönetmeliği’nin “Akaryakıt Servis İstasyonları” başlığı altında yer alan 35’inci maddesinin 4. fıkrasında: “Elektrik enerjisi ile çalışan araçların şarj edilmeleri için, ilgili elektrik kurumunun, olumlu görüşü ile otoparklar, akaryakıt istasyonları veya diğer uygun yerlerde elektrikli araç şarj yeri yapılabilir.” düzenlemesine yer verilmiştir.

Ayrıca, Otopark Yönetmeliği’nin 6’ncı maddesinin 5’inci fıkrasında: “Bölge ve genel otoparklar ile AVM’lere ait otoparklarda, her 50 park yerinden en az biri elektrikli araçlara uygun olarak (şarj ünitesi dâhil) düzenlenir. İhtiyaca göre elektrikli araç otopark yeri sayısının artırılması hususunda idarelerce karar alınabilir.” düzenlemesine yer verilmiştir.

Otopark Yönetmeliği’nin 25 Mart 2021 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan son değişikliği ile ise asgari zorunlu otopark adedi 20 den fazla olan yeni yapılacak binalarda 1 Ocak 2023’e kadar en az yüzde 2 oranında bu tarihten sonra ise yüzde 5 oranında elektrikli araç park yeri düzenleme şartı getirilmiştir. AVM ve bölge otoparklarında ise bu oranlar 1 Ocak 2023’e kadar yüzde 5 bu tarihten itibaren ise yüzde 10’a çıkarılmıştır. 1 Ocak 2023’ten itibaren ise ayrıca, 30 bin metrekareden büyük AVM’lerde, kurulacak elektrik şarj istasyonlarının en az birinin, 70 bin metrekare üzeri AVM’lerde ise en az 2’sinin hızlı şarj özellikli olması zorunluluğu getirilmiştir. Bu düzenlemeler yakın gelecekte, şarj istasyonlarının yaygın hale gelmesinde önemli bir role sahiptir.

### 1.5.1 Yenilikçi Şarj İstasyonu Çözümleri

Son yıllarda, elektrikli araçların şarj ihtiyacını karşılamak için yeni çözümlerin geliştirilmesi ile potansiyel yeni konumlar da gündeme gelmiştir. İş yerleri, alışveriş merkezleri, garajlar bu çözümler öncesinde şarj istasyonlarının yerleşimi için sıklıkla değerlendirilmiştir. Bu araştırma çerçevesinde incelenen yenilikçi şarj çözümleri bu bölümde detaylandırılmıştır. Yenilikçi çözümler altı kategoride değerlendirilmiştir:

- Kablosuz Şarj İstasyonları
- Açılır Kaldırım Şarj İstasyonları
- Yol Kenarındaki Sokak Kabinetleri
- Güçlendirilmiş Sokak Lambaları
- Kendiliğinden Isınan Piller
- Elektrikli Yollar

Elektirikli araçlar için kablosuz şarj imkanı sunan istasyonlar; kablosuz telefon şarj cihazları ile benzer çalışma prensibine sahiptir. Yol yüzeyinin altında yer alan manyetik bobin hava boşluğu aracılığı ile elektiriği aracın alt kısmında yer alan ikinci bir manyetik bobine aktarır. Sürücülerin araçlarını ayrılmış lokasyonlara park etmesi bu hizmeti alabilmeleri için yeterlidir. İngiltere'nin Nottingham şehrinde seçilen pilot bölgede yürütülen proje kapsamında denenen çözüm, şarj cihazlarının yol açtığı yerleşim karmaşıklığı karşısında avantajlı bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Londra merkezli Urban Electirc Networks tarafından geliştirilen kaldırıma yerleşik açılır Ueone şarj cihazları da sokaklardaki yerleşim karmaşıklığına karşı geliştirilmiş bir başka çözüm olarak öne çıkmaktadır. Kullanımda olmadığı sürece zemine gömülü hale gelen bu çözüm için seri üretimin 2021 yılında gerçekleştirileceği tahmin edilmektedir.

Telefon görüşmeleri ve geniş bant telekomünikasyon hizmetleri sağlamak için yol kenarlarına kurulmuş olan kabinetlerin kaldırım kenarına konumlandırılacak şarj istasyonlarına altyapı sağlaması fikri ile Virgin Media ve Liberty Global şirketleri İngiltere'de yer alan 40.000 adet kabinetin dönüştürüleceğini açıklamıştır. Bu çözümün 50 ile 75 km arasında menzile için bir saat şarj ile araçlara güç sağlayabileceği değerlendirilmektedir.



Penn State Üniversitesi'nde geliştirildiği ve lityum iyon piller yoluyla 10 dakikada tamamlandığı iddia edilen EA şarjı teknolojisi ise öne çıkan bir başka yenilikçi çözümdür. Penn State'in geliştirdiği piller, optimal şarj koşullarını korumak için hızlı bir şekilde ısınabilmekte ve kendini soğutabilmektedir.

İsveç'in Stockholm kenti yakınlarında gerçekleştirilen eRoadArlanda projesi ile İsveç Hükümeti 2 kilometrelik karayolu bölümüne gömülü ray sistemi kurulumunu gerçekleştirmiştir. Üzerinden geçen aracı otomatik olarak şarj edebilme prensibine göre hizmet verecek teknolojinin gelişime projesi Nisan 2018'de başlatılmış, test ve geliştirme süreci devam etmektedir.

Avrupa'da yer alan yaklaşık 90 milyon sokak lambası günümüzde otoritelerce yetersiz kullanılan kaynaklar olarak değerlendirilmektedir. Bu lambaların daha verimli kullanılmalarını sağlamak ve kaynak israfının önüne geçmek amacıyla EA şarj cihazları alanında çalışan Char.gy şirketi belirlenen konumlarda şarj istasyonları kurmak için Birleşik Krallık Hükümeti'nden fon almıştır. Standart lamba direklerinin 25 amperlik kaynağa ve led lambaların da yüksek beslemeye sahip olduğunu belirten şirket, saat başına yaklaşık 33 kilometrelik sürüş menziline kullanıcılarına sunabileceklerini değerlendirmektedir. Bu çözümü öne çıkaran bir diğer unsur ise cihaz başına yaklaşık 1000 sterlin mertebelerindeki kurulum maliyeti ve neredeyse oluşmayan bakım ve operasyon maliyetleridir. Kullandıkça ödeme mantığı ile uzun kalışlı şarj tercih eden sürücülere sunulan imkan, bu çalışmada yer verilen vaka çalışmasında değerlendirilmektedir.



## 2. ÇOK KRİTERLİ (ÖLÇÜTLÜ) KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ

Problem çözme metodolojisinin temelinde, problemi tanımladıktan sonra, problem için alternatif çözümler aramak ve nihayetinde elde edilen alternatifler arasından en verimlisini seçme düşüncesi yer almaktadır. Problem çözme eğilimi ile karşılaşılan problemin çözüme ulaştırılması amacıyla alternatif oluşturmak ve probleme en etkili çözümü getirmek için en iyi geri dönüşün gerçekleştiği alternatifi seçmek problem çözme davranışını tanımlamaktadır. (D'Zurilla, T. J., Goldfried, M. R. , 1971). Alternatifler arasından en uygun olanın seçilmesi bir karar verme sürecidir. Ancak insan, doğası gereği karmaşık bir düşünce yapısına sahiptir. En iyi kararın verilebilmesi için, bu karmaşıklığı gidererek ortamdaki belirsizlikleri ortadan kaldıracak metodlardan faydalanılması gereklidir. Doğru ve tutarlı bir karar, karar vericiyi rakiplerinden ileriye taşıyarak ona avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada, elektrikli araçlar için en uygun şarj istasyonları konularının, belirlenen kriterler çerçevesinde seçilmesi hedeflenmektedir. Bu seçimi gerçekleştirmek için kullanılan ÇKKV metodları, birbirinden bağımsız ve birden fazla sayıda kriterin mevcut olduğu problemlerde en çok tercih edilen yöntemlerdir. Literatürde verilen ÇKKV yöntemleri, karar vericilerin alternatif değerlendirme süreçlerinde, en iyi alternatifi belirleyerek, seçim yapmasına olanak sağlamaktadır. Her problemin kendine özgü dinamikleri ve hedefleri olduğu dikkate alındığında, problemin çözümü için yararlanılacak ÇKKV yönteminin, amaca uygun olarak belirlenmesi gereklidir. Bu bağlamda, yapılan literatür taraması neticesinde araç şarj istasyon ağının yerleşimi probleminde en çok kullanılan ÇKKV metodlarının özet açıklamalarına aşağıda yer verilmiştir.

### 2.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Saaty tarafından önerilen çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. AHP, ÇKKV yöntemleri arasında kullanım açısından oldukça popülerdir.

Literatürde, farklı alanlarda etkin bir biçimde kullanılabilmesi bu popülerliğin en büyük nedenidir. Karar verme sürecinin, çok sayıda kritere dayanarak gerçekleştiği

problemlerde AHP'den yararlanılmaktadır. Karar problemlerinde, çoklu sayıda kriterin varlığı söz konusu olduğu durumlarda, hangi kriterlerin seçim üzerinde etkili olacağı ve kriterlerin seçimi ne ölçüde etkileyeceği belirsizdir. Bu durumda sayısal derecelendirmelerin kullanılarak, kriterlerin ağırlıklandırılması gerekmektedir (Saaty T.L.,2008). AHP, karar verme problemlerinde, problemi hem nitel hem de nicel olarak ele alıp incelerken, kriter derecelendirmelerini de basitleştirerek belirsizlikleri giderir. Bu bağlamda, karar sürecinde yer alan eksiklikleri gidererek, kararın sağlam ve netliği artırılmış bir ortamda verilebilmesini sağlamaktadır (Subramanian N. ve Ramanathan R. , 2012). Kararı etkileyecek kriterlerin sadece objektif değil aynı zamanda subjektif yargularla da değerlendirilebilmesi, AHP' yi kullanım alanlarında ön plana çıkartmaktadır (Vaidya, O.S., Kumar, S., 2006). Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde AHP yönteminden yararlanılarak kriter ağırlıkları elde edilmektedir.

## **2.2 Analitik Ağ Prosesi (ANP)**

Saaty 1996 yılında, ekonomi, sosyoloji, tarım ve mühendislik alanları da dahil olmak üzere pek çok disiplinde uygulabilen Analitik Ağ Prosesi yöntemi'ni (ANP) literatüre sunmuştur. ANP metodolojisi, birbirini etkileyen öğelerin nasıl etkileşime girdiğini ve her birinin birbirine ne derece bağımlı olduğunu değerlendirmektedir AHP ile benzer olarak seçilen öğelerin ikili karşılaştırmalarını değerlendiren yöntem, AHP'den farklı olarak oran değerlerinin ölçümlerine yer verir, kriter ve alt kriterlerin birbirleri ile ilişkilerini irdeler. Kümeler arası dış bağımlılık ve küme içinde iç bağımlılık ilişkilerini belirleyerek, birden fazla karar noktası arasındaki farklı ilişkileri dikkate almaktadır (Wu, W.H. ve diğ., 2009).

## **2.3 VIKOR**

VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje); birden fazla kriterin sonuç üzerinde etkili olduğu karmaşık problemlerin, optimizasyonu için geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntemin temelini oluşturan uzlaşık çözüm kavramı, ilk kez Yu (1973) ve Zeleny (1982) çalışmasında tanıtılarak, literatürde yerini almıştır. Uzlaşma çözümü; optimal çözümün elde edilemediği durumlarda, verilen tavizler ile ulaşılan, optimal çözüme en yakın uygulanabilir çözüm olarak tanımlanmaktadır. VIKOR, tanımlanan probleme yönelik; uzlaşma sıralama listesini, uzlaşma çözümünü ve ağırlık aralıklarını bulmaktadır. Kriterler arasında çatışmalar olduğunda

alternatifleri sıralamayı ve aralarından seçim yapmayı hedeflemektedir (Opricovic, S. ve Tzeng, G.-H., 2004). Yöntem Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde alternatif seçimlerinde kullanılmıştır.

## **2.4 PROMETHEE**

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yönteminin kısmi sıralamaları elde eden ilk versiyonu ve nihai sıralamaları elde eden ikinci versiyonu, Brans J.P. tarafından 1982 yılında geliştirilmiş ve Quebec Laval Üniversitesi'nde gerçekleştirilen konferansta tanıtılmıştır. İlerleyen yıllarda, aralıkları dikkate alarak sıralamalara ulaşan üçüncü versiyon Brans and Vincke ve sürekli durumlarda sıralamaları oluşturan dördüncü versiyon, J.P. Brans ve Mareschal B. tarafından geliştirilmiştir. 1992 ve 1994 yıllarında yapılan son eklentiler ile yöntem kullanım alanlarını oldukça genişletmiştir (Brans J.P ve diğ., 2005). Yöntemin avantajı kriterlerin birbirleriyle uyumlu olduğu varsayımına, ihtiyaç duymamasıdır. Aynı zamanda kriterlerin tercih fonksiyonlarının, birbirinden farklı tanımlanabilmesidir. Ağırlıkların karar verme süreci içerisinde revizyon edilebilir olması, karar vericiye esneklik imkanı tanımaktadır.

## **2.5 Gri İlişkisel Analiz (GRA)**

Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemi Julong Deng tarafından ilk kez 1982 yılında önerilmiştir (Deng, J., 1982). Yöntemin temel prosedürü alternatiflerin performans karşılaştırmalarını yapmaktır. Bu aşamada ulaşılan hesaplanabilir ilişki dizileri eldesi gri ilişkisel üretim olarak adlandırılmaktadır. Ulaşılan her dizi için bir ideali hedef alan referans dizisi oluşturulmaktadır. Diziler arası ilişkiyi belirten mertebeler  $[0,1]$  intervalindeki değerleri alır. Yöntemde, gri ilişkisel referans dizisi ile her karşılaştırılabilirlik dizisi arasındaki derece hesaplanarak fark matrisi elde edilmektedir. Alternatifler arasında yapılacak en iyi seçime, en yüksek gri ilişkisel değere sahip alternatifin bulunması ile ulaşılmaktadır (Kuo ve diğ., 2008).

## **2.6 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)**

TOPSIS, Hwang ve Yoon'un 1981 yılında yayınladıkları çalışma ile literatürde yerini almıştır (Hwang, C.L. ve Yoon, K., 1981). 1992 yılında ise Chen ve Hwang tarafından

yapılan eklentilerle geliştirilmiştir. Yöntemin amacı, ideale çözüme en yakın olan aynı zamanda da en kötü çözüme en uzak olan alternatifi seçmektir (Opricovic, S. ve Tzeng, G.-H., 2004). Yöntem kendine geniş yelpazede kullanım alanları yaratmıştır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleşimi problemlerinde literatürde sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmektedir. Çalışmada elde edilen verilerin yöntem açısından uygunluğu ve literatürde ispatlanmış verimliliği ile bu çalışmada tanımlanan problemlerin çözümü için AHP-TOPSIS yöntemi kullanılacaktır.



### 3. METODOLOJİ

#### 3.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi 70’li yılların sonlarına doğru Thomas Lorie Saaty tarafından bulunmuştur (Saaty, T.L., 1980). AHP, farklı nesnel unsurlardan oluşan stratejik bir kümeyi değerlendirmeye alarak, unsurların görece önemlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de de yer verildiği üzere en büyük avantajı; karmaşık, çok dönemli veya çok ölçütlü olsa bile herhangi bir sorunu hiyerarşik bir şekilde yapılandırabilir olmasıdır. Yöntem, bu çalışmada karar süreci içinde yer alan kriterlerin sıralanmasında kullanılacaktır.

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
-Kolay kullanılabilir olması -Genişletilebilirliği -Hiyerarşik yapının problemin boyutuna uyacak şekilde ayarlanabilmesi -Veri yoğunluğundan arınmış olması	-Kriterler ve alternatifler arasındaki bağımlılıkların sıralamalarda ve değerlendirmede uyumsuzluk sorunlarına yol açması

Şekil 3.1 :AHP yöntemi avantajları-dezavantajları

AHP yöntemi ikili karşılaştırma matrisi birden fazla sayıda kriterin, karar süreci üzerinde ne ölçüde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Çizelge 3.1’de verilen Saaty 1-9 derecelendirme ölçeği ile ikili karşılaştırmalarla kriterlerin önem dereceleri belirlenmektedir. Böylece nitel kıyaslama nicel ifadelere dönüştürülmektedir.

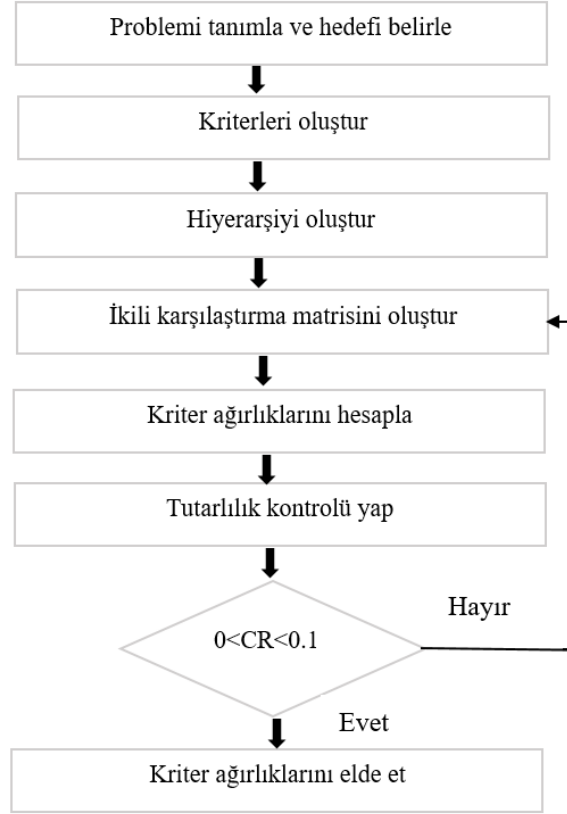
Çizelge 3.1: Saaty’nin 1-9 derecelendirme ölçeği (Saaty, T.L., 1990).

Önem Dereceleri	Değer Tanımları
1	Eşit Önem
3	1. Faktörün 2.’den biraz daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2.’den çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2.’ye kıyasla çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Faktörün 2.’ye kıyasla mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler

Problemin tanımlanması ile yöntemin ilk aşaması da tanımlanmış olmaktadır. Bunu takiben diğer aşamalar ise sırasıyla; karar kriterlerinin belirlenmesi ve tanımlanması,

alternatiflerin belirlenmesi, hiyerarşik yapının oluşturulması ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması şeklindedir.

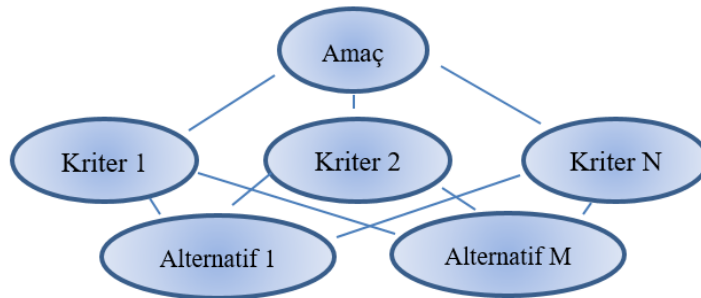
AHP akış şeması Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2 : Analitik Hiyerarşi Prosesi Akış Şeması.

1.aşama:Kriterlerin ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Belirlenen amaç doğrultusunda Şekil 3.3’te N kriter ve M alternatif için verilen hiyerarşik yapının oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Hizmet edilecek amaç için belirlenen kriterler hiyerarşik olarak amacın hemen altında yer alır. Kriterlerin altında ise kriterlerin ilişkilendirileceği ve karşılaştırılacak olan alternatifler yer almaktadır.



Şekil 3.3: AHP Hiyerarşik Yapı.



## 2. aşama: İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Hiyerarşi belirlendikten sonra hem kriterleri hemde alternatifleri kendi içlerinde değerlendirmek gereklidir. Eşitlik (3.1)'de verilen ikili karşılaştırma matrisi, bu değerlendirmenin yapılabilmesi için oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisi “n” adet kriter için oluşturulduğundan; .nxn boyutlu olup, matrisin esas köşegeninde yer alan elemanlar, bir kriterin kendisi ile karşılaştırılmasını ifade ettiğinden “1” değerini almaktadır.  $a_{ij}$  , i. ölçüt ile j. ölçütün ikili karşılaştırma değerini ifade etmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & 1 & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} = \frac{1}{a_{1n}} & \dots & & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

## 3. aşama: İkili Karşılaştırma Matrisinin Normalizasyonu

İkili karşılaştırma matrisindeki her bir eleman bulunduğu sütunun toplam değerine bölünerek normalizasyon gerçekleştirilir. Normalize matrisi elde etmek için Eşitlik (3.2)'de verilmiş olan formül kullanılır. Bu adımın sonunda normalize matris satır ortalamaları alınması ile kriter ağırlıkları elde edilmiş olur.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3.2)$$

## 4. aşama: Tutarlılık Oranı Hesaplanması

AHP sonunda bulunan kriter ağırlıklarının karar verme sürecinde yer alması için yapılan aşamaların tutarlılığının kontrol edilmesi gereklidir. Bundan dolayı tutarlılık oranının bulunması için ilk olarak Eşitlik (3.3)'te yer alan formül ile  $CI$  tutarlılık indeksine ulaşılır. Bu formülde yer alan  $\lambda_{\max}$  değeri ise matrisin maksimum öz değeridir. Eşitlik (3.4) ile ağırlıklı toplam değerler kriter ağırlıklarına bölünür ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak ulaşılır.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.3)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (3.4)$$

Son olarak ise bulunan tutarlılık indeksi  $CI$ , rastgele değer indeksi olan  $RI$ 'ya bölünerek (3.5)' te verilmiş olan formülden yararlanılarak elde edilmektedir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.5)$$

Yukarıda formül (3.5)'te yer alan  $RI$  rastgele değer indeksi için aşağıda yer alan Çizelge 3.2 kullanılarak gerekli değere ulaşılmaktadır.

Çizelge 3.2: Karşılaştırma matris boyutuna göre  $RI$  değerleri.

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

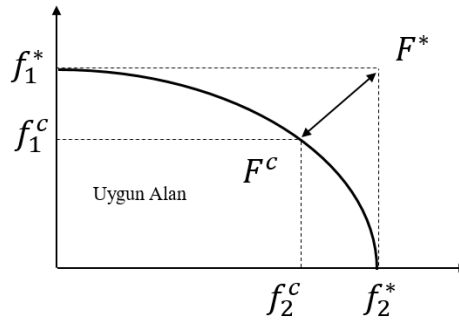
Hesaplanan  $CR$  değerinin 0,1 den küçük olması, karar vericiyi, karar verme sürecinde önemli rol oynayacak ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna ulaştırmaktadır.

### 3.2 VIKOR

VIKOR yönteminin, orjinal dilinde açık yazım şekli olan, Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje çok kriterli optimizasyon ve uzlaşık çözüm anlamına gelmektedir. VIKOR, çok kriterli karar vermede, özellikle de karar vericinin sistem tasarımının başlangıcında tercihlerini ifade etmesinde veya tercihlerini belirlemesinde faydalı bir araçtır (Opricovic, S. ve Tzeng, G.-H., 2004). Elde edilen uzlaşık çözüm; grupsal faydanın maksimum ancak tekil bazda pişmalığın minimum olmasını sağlayamasından dolayı karar verici tarafından kabul edilebilir.

Diğer ÇKKV yöntemleri ile benzer olarak alternatifler alt kırılımda yer alan her bir kriter için değerlendirilmektedir. VIKOR, ideal alternatife olan yakınlıkları karşılaştırarak uzlaşık sıralamalara ulaşmayı hedeflemektedir.  $n$  adet ( $j=1,2, \dots, n$ ) kriter ve  $m$  adet ( $i = 1,2, \dots, m$ ) alternatiften oluşan bir karar problemi için VIKOR

yönteminin adımları sırasıyla; her kriter için en iyi değeri ifade eden  $f_j^*$  ve en kötü değeri ifade eden  $f_j^-$  değerlerinin bulunması, normalizasyon yapılarak normalizasyon matrisinin oluşturulması, ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması, her bir alternatif için ortalama puanı ifade eden  $S_i$  ve en kötü puanı ifade eden  $R_i$  değerlerinin hesaplanması,  $Q_i$  değerlerinin her alternatif için hesaplanması ve  $Q_i, S_i, R_i$  değerlerinin sıralanması ve son olarak sonuçların koşullar altında uygunluk kontrolünden oluşmaktadır. Bu aşamalar sonucunda elde edilecek çözüm Şekil 3.4'te  $F^C$  notasyonu ile ifade edilen ve grafiksel olarak gösterilmiş olan uzlaşık çözümdür.



Şekil 3.4: VIKOR yöntemi uzlaşık çözüm ideal çözüm ilişkisi.

Adım 1: Her Kriter için  $f_j^*$  ve  $f_j^-$  Değerlerinin Hesaplanması

Öncelikle Eşitlik (3.6) ile ifade edilmiş olan başlangıç karar matrisinin oluşturulması gerekmektedir.

$$X = [x_{ij}] \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.6)$$

Eğer j. kriter karar probleminde bir faydayı gösteriyor ise; Eşitlik (3.7) de gösterilen eşitlik ile kritere ait en iyi değer ve Eşitlik (3.8) ile en kötü değer elde edilir.

$$f_j^* = \max x_{ij} \quad (3.7)$$

$$f_j^- = \min x_{ij} \quad (3.8)$$

Eğer j. kriter karar probleminde bir maliyeti gösteriyor ise; Eşitlik (3.9) de gösterilen eşitlik ile kritere ait en iyi değer ve Eşitlik (3.10) ile en kötü değer elde edilir.

$$f_j^* = \min x_{ij} \quad (3.9)$$

$$f_j^- = \max x_{ij} \quad (3.10)$$

Adım 2: Değer Normalizasyonu ile Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Eşitlik (3.11)'de elde edilen normalize değerler ile Eşitlik (3.12)'de R ile gösterilen normalize karar matrisi oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.11)$$

$$R = [r_{ij}] \quad (3.12)$$

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

R matrisinin sütunlarında yer alan değerler Eşitlik (3.13)'de gösterildiği şekilde kriter ağırlıkları ile çarpılarak, Eşitlik (3.13)'te V ile gösterilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulur.

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_{ij} \quad (3.13)$$

$$V = [v_{ij}] \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.14)$$

Adım 4:  $S_i$  ve  $R_i$  Değerlerinin Hesaplanması

Eşitliklerdeki  $S_i$  değeri i. Alternatif için ortalama grup skorunu,  $R_i$  ise i. alternatif için en kötü grup skorunu ifade etmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.15)$$

$$R_i = \max(w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-}) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.16)$$

Adım 5:  $S^*$ ,  $S^-$ ,  $R^*$ ,  $R^-$  Parametrelerinin ve  $Q_i$  Değerinin Hesaplanması

Eşitlik (3.18)'de yer alan “q” ( $q > 0,5$ ) değeri maksimum grup faydasını sağlamak için “ $1 - q$ ” ( $1 - q < 0,5$ ) ise tekil pişmanlığı sağlamak için eşitlikte yer almaktadır.

$$S^* = \min_i S_i, \quad S^- = \max_i S_i \quad (3.17)$$

$$R^* = \min_i R_i, \quad R^- = \max_i R_i \quad (3.18)$$

$$Q_i = \frac{q \cdot (S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-q) \cdot (R_i - R^*)}{R^- - R^*} \quad (3.19)$$

Adım 6:  $Q_i, S_i, R_i$  Değerlerinin Sıralanması ve Koşulların Denetlenmesi

Değerlerin küçükten büyüğe sıralanması ile alternatiflere ait üç farklı sıralı liste elde edilir. Eşitsizlik (3.20)'de  $A^1$  ile gösterilmiş olan ve en küçük  $Q_i$  değerine sahip alternatif en iyi alternatif olarak seçilir. Ancak seçimin geçerli olabilmesi ancak belli koşulların sağlanması durumunda mümkündür.

Koşul 1: Kabul edilebilir avantaj

$m$  adet alternatif arasından en iyi ikinci alternatifin  $A^2$  olarak gösterildiği Eşitsizlik (3.20)'nin sağlanması ile en iyi iki alternatif arasında kabul edilebilir bir fark da sağlanmış olmaktadır.

$$Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ; \quad (DQ = 1/(m - 1)) \quad (3.20)$$

Koşul 2: Kabul edilebilir kararlılık

Elde edilen üç sıralı liste içinde en iyi  $Q_i$  değerine sahip alternatifin aynı zamanda  $S_i, R_i$  listelerinin de en az birinde en iyi değeri alması gereklidir. Bu durum sağlanır ise koşul sağlanmış olur ve seçilen alternatif geçerlidir.

Koşullardan birinin sağlanmaması durumu

Eğer Koşul 2 sağlanmıyor ise en iyi iki alternatifin olan  $A^1$  ve  $A^2$  alternatifleri ile uzlaşık çözüm kümesi oluşturulur.

Eğer koşul 1 sağlanmıyor ise Eşitsizlik (3.21) sağlayan alternatifler ile uzlaşık çözüm kümesi elde edilir.

$$Q(A^m) - Q(A^1) < DQ; \quad (DQ = 1/(m - 1)) \quad (3.21)$$

### 3.3 TOPSIS

TOPSIS (Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution) yöntemi, seçilen alternatifin ideal çözüme en kısa mesafeye ve negatif ideal çözümden en uzak mesafeye sahip olması gerektiği ilkesine dayanmaktadır. Bu kapsamda negatif ideal çözümden uzaklaşan alternatifin, pozitif ideale yaklaştığı kabul edilmektedir. Karar verme süreci içerisinde değerlendirilecek olan her alternatif, belirlenen kriterlerin her biri açısından değerlendirilmelidir. TOPSIS, vektör normalizasyonu kullanması ile bir önceki bölümde yer verilmiş olan VIKOR metodundan ayrılmaktadır. Çok boyutlu problemlerde artan alternatif sayısına karşılık, basit, iterasyon sayısı değişmeden karar vericiyi çözüme ulaştıran bir basit ve kolay programlanabilir bir yöntemdir.

Yöntem; tedarik zinciri yönetimi ve lojistik, tasarım, mühendislik ve üretim sistemleri, ekonomi ve pazarlama, çevre yönetimi, insan kaynakları yönetimi ve su kaynakları yönetimi alanlarında sıklıkla kullanılan popüler bir karar verme aracıdır (Velasquez, M.ve Hester, P. T., 2013). Şekil 3.5'te TOPSIS'in karar vericiler açısından avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Basit işleyişe sahip olması</li><li>➤ Kolay programlanabilirliği</li><li>➤ Yöntem adımlarının problemin boyutu büyüse de artmaması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Öklid uzaklıklarını kullanması sebebiyle, faktörler arası korelasyonu dikkate almaması</li></ul>

Şekil 3.5:TOPSIS yöntemi avantajları-dezavantajları

Problemin amaç ve kriterleri belirlendikten sonra sırasıyla yöntemin adımları; başlangıç karar matrisinin oluşturulması, normalize karar matrisinin elde edilmesi, ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması, pozitif ve negatif ideal çözüm değerlerinin hesaplanması, pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıkların hesaplanması, alternatiflerin yakınlık katsayılarının hesaplanması ve alternatiflerin yakınlık katsayılarına göre sıralanarak, en iyi alternatifin seçimidir.

Adım 1: Başlangıç Karar Matrisinin Oluşturulması

m adet alternatif ve n adet kriterden oluşan bir karar probleminde başlangıç karar matrisi Eşitlik (3.22)'de görüldüğü şekilde her alternatifin her kriter açısından değerlendirildiği  $X_{ij}$  matrisi ile ifade edilmektedir.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

### Adım 2: Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisindeki kriter değerlerine normalizasyon yapılır ve normalize kriter değerleri (3.23)'te gösterildiği şekilde elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.23)$$

Normalize edilmiş kriter değerleri ile oluşturulan karar matrisi  $R_{ij}$  Eşitlik (3.24)'te gösterilmiştir.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

### Adım 3: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Ağırlıklı normalize karar matrisi; kriter ağırlıkları ile bir önceki adımda hesaplanan normalize değerlerin çarpılması ile elde edilmektedir.

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.25)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3.26)$$

Eşitlik (3.27)'de ağırlıklı normalize karar matrisi gösterilmektedir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

#### Adım 4: Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Değerlerinin Hesaplanması

Ağırlıklandırılmış karar matrisinde her sütun için eğer fayda problemi ise sütun değerlerinin en büyüğü, maliyet problemi ise sütun değerlerinin en küçüğü seçilerek ideal çözüm kümesi oluşturulmaktadır.

Eşitlik (3.28)'de pozitif ideal çözüm setinin oluşturulması gösterilmektedir.

$$A^* = V_1^*, V_2^*, V_3^*, \dots, V_j^*, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.28)$$

Ağırlıklandırılmış karar matrisinde her sütun için eğer fayda problemi ise sütun değerlerinin en küçüğü, maliyet problemi ise sütun değerlerinin en büyüğü seçilerek ise negatif ideal çözüm kümesi oluşturulmaktadır.

Eşitlik (3.29)'da negative ideal çözüm setinin oluşturulması gösterilmektedir.

$$A^- = V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_j^-, (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3.29)$$

#### Adım 5: Pozitif ve Negatif İdeal Ayrım Değerlerinin Hesaplanması

Her bir alternatifin ideal çözüme olan uzaklığı Öklid uzaklıklarının hesaplanması ile elde edilmektedir (S., Opricovic ve G.-H., Tzeng, 2004).

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.30)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.31)$$

Eşitlik (3.30)'da pozitif ideal çözüme uzaklık anlamına gelen ideal ayırım  $S_i^*$  ve Eşitlik (3.31)'de negatif ideal çözüme uzaklık anlamına gelen negatif ideal ayırım  $S_i^-$  değerlerinin hesaplanması gösterilmektedir.

#### Adım 6: Alternatiflerin İdeal Çözüme Göreli Yakınlıklarının Bulunması



$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.32)$$

$C_i^*$  değeri  $[0,1]$  aralığında değer almaktadır.  $C_i^*$  değeri 1'e yaklaştıkça karar noktası pozitif ideal çözüme , 0'a yaklaştıkça ise negatif ideal çözüme yaklaşmaktadır.





#### 4. ODTÜ ANKARA YERLEŞKESİNDE SEÇİLEN OTOPARKLARIN ELEKTRİKLİ ŞARJ İSTASYONU KURULUM POTANSİYELLERİNİN AHP-TOPSIS VE AHP-VIKOR YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ: VAKA ÇALIŞMASI

Türkiye'de elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşması ile birlikte araçların ihtiyaç duydukları enerjiyi sağlayabilecek ve enerji talebini etkin olarak karşılayabilecek şarj istasyonlarının kurulması elektrikli araç kullanımının daha geniş kitlelerce kabul görmesi adına büyük önem arz etmektedir. Otomotiv sektöründe, yenilenebilir kaynaklardan enerji ihtiyacını karşılayabilen çözümlerinin geliştirilmesi ve yaygın hale gelmesi, ekonomik gelişmenin sürdürülebilirliğini etkileyen bir unsurdur. Son yıllarda çok sayıda ülke, elektrikli araçların yaygınlaşması ve şarj altyapılarının kurulmasını hızlandıran yatırımlarla öne çıkmaktadır. Yenilenebilir Enerji 2021(REN21) Küresel Durum Raporu kapsamında, elektrikli araç kullanımında ilk sıralarda yer alan metropollerde, 1 milyon kişi başına düşen şarj istasyonu sayıları ve şehirlerin yenilenebilir enerji payları Şekil 4.1’de verilmektedir.

Şehir (Eyalet,Ülke)	Şarj İstasyonu Sayısı/milyon popülasyon	Yenilenebilir Enerji Payı
<b>ASYA</b>		
Shenzhen Çin	4,800	28%
Beijing Çin	1,920	
Shanghai Çin	1,690	
<b>AVRUPA</b>		
Oslo Norveç	3,000	98%
Amsterdam Hollanda	2,750	18%
Stockholm İsveç	717	69%*
London Birleşik Krallık	405	37%
Paris Fransa	307	22%
<b>KUZEY AMERİKA</b>		
San Jose Kaliforniya,ABD	1,200	48%*
Los Angeles Kaliforniya,ABD	590	32%*

Şekil 4.1 :Kamusal şarj istasyonu sayıları ve yenilenebilir enerji payları (Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu,2021).

Şekil 4.1’de yer alan; \*Los Angeles, San Jose ve Stockholm şehirlerine ait kamusal elektrik kullanımı dağılımında yenilenebilir enerji paylarına ait veriler 2018, diğer şehirlerin verileri ise 2019 yılına aittir. Dünyanın önemli başkentlerinde, elektrikli araç şarj istasyonu sayılarında görülen bu seviyeler gelecek için umut verici düzeydedir.

Yakın geçmişte yapılan ve ilerleyen yıllarda yapılması öngörülen yatırımlar ile Türkiye de bu yarışa dahil olmuştur. Ancak yapılacak bu yatırımlar öncesinde kurulacak şarj istasyonlarının verimli kullanılması açısından, lokasyonların performans değerlendirilmelerinin yapılması çok önemlidir. Ankara’da farklı firmalara ait yaklaşık 100 adet şarj istasyonu bulunmaktadır. 2020 yılı verilerine göre Ankara nüfusu 5.663.322’dir. 1 milyon kişiye Ankara şehrinde yaklaşık olarak 17 adet şarj istasyonu düşmektedir. Bu konuda dünyanın en iyi örneklerinden biri Şekil 4.1’de 3000 adet sarj istasyonu ile Oslo şehridir. Ankara, şu an için bu rakamların gerisindedir ancak yapılacak yatırımlarla, şarj istasyonlarının sayısının gün geçtikçe artacağı ve gelecekteki talep artışını karşılayacağı öngörülmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde ulaşılmak istenilen hedef, gelecekteki yatırım kararlarında ve gelecekteki istasyon konumlarının seçiminde etkili olarak kullanılabilir bir yöntemi bu çalışmada seçilen pilot bölge için ortaya koymaktır.

#### **4.1 Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Ankara Yerleşkesinin Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Kurulumu için Değerlendirilmesi**

1956 yılında kurulan, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Türkiye’nin en köklü ve saygın üniversitelerinden biridir. ODTÜ; Ankara, Mersin ve Kuzey Kıbrıs olmak üzere üç ana yerleşkede konumlanmıştır. Ana kampüs yerleşkesi 45.000 dekar (4500 hektar), ormanlık alanı ise 30.430 dekar (3043 hektar) büyüklüğündedir. 2020-2021 verilerine göre kampüste 27.451 öğrenci eğitim-öğretim faaliyetlerini sürdürmektedir.

ODTÜ’nün çevresel konulardaki farkındalığını koordinatör ya da ortak olarak yer aldığı uluslararası projelerde sıklıkla görmek mümkündür. ODTÜ 2018-2022 Stratejik Planı’nda artan çevre bilinci ve sorumluluğunun üniversitelere de yeni sorumluluklar getirmekte olduğu vurgulanmıştır. Stratejik Plan’da üniversite fiziksel kaynaklarının çevrede olumsuz etkilere yol açmayacak, sürdürülebilirliği mümkün kılacak şekilde verimli kullanılması gerekliliği belirtilmiştir. Enerji tüketiminde akılcı ve

sürdürülebilir uygulamaların kampüs içinde yaygınlaştırılması ve örnek çalışmalar yapılması önemli bir toplumsal beklenti olarak değerlendirilmektedir.

Üniversite kampüslerindeki benzer uygulamalar incelendiğinde; 2017 yılında Palermo Üniversitesi'nde gerçekleştirilen vaka çalışması ile elektrikli araç kullanımının yaygınlaştırılması ile şarj talebini karşılayacak istasyonlarının kurulumunun kampüs elektrik alt yapısına getireceği tahmini yük ve fazla yüklenmenin önüne geçmek için çözüm önerilerine yer verilmiştir. Bu çalışmada; kampüslerin akıllı şehir uygulamalarını test etme ve geliştirmede küçük şehirler olarak değerlendirilebileceği ve veri zenginliği açısından araştırmacılara popülasyon davranışı ve uygulama sonuçlarının izlenebilirliği konularında öngörü sağlayabileceği belirtilmiştir (Caruso, M. ve diğ, 2017).

Bu noktada, ODTÜ kampüsü pilot bölge olarak ele alınmış ve 5000'in üzerinde kayıtlı araç kullanıcısının oluşturduğu popülasyonun kampüste geçirdiği zaman dikkate alınarak potansiyel elektrikli araç kullanıcılarının da benzer davranış örgüsüne sahip olacağı varsayılmıştır. 2020 yılı pandemisinin toplumsal davranışlar üzerindeki etkileri de göz önünde bulundurularak kampüste yürütülen en güncel ve geçerli çalışmalar, bu çalışma kapsamında değerlendirilmiş ve çalışmanın ilerleyen bölümlerinde verilerin eldesinde kullanılmıştır.

Kampüs kapılarından giriş ve çıkış yapan araçların gün içinde kalış zamanları incelendiğinde; gün içinde giriş yapan araçların %45'inin 15 dakikadan az kaldığını ve kısa süreli kişi bırakma ve alma amacıyla kampüse giriş yaptığını, araçların %15'inin 15 dakika ile 1 saat arası kampüste zaman geçirdiğini, %22'sinin ise 1 ile 5 saat mertebelerinde kampüste kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Giriş yapan araçların %13'ü ise 5 ile 10 saat arası kampüste kalış süresine ve %3 ile en az yüzdeye sahip araçların 10 saatten fazla kampüste kaldığı sonucuna varılmıştır. Aynı çalışmada sabah 08:00-10:00 arası giriş yapan araçların kampüste yaklaşık 5 saat kaldıkları ve 08:00-10:00 arası giriş yapan araçların %25'inin 5 ile 10 saat, %5-%7'lik kısmının ise 10 saatten fazla kaldığı tespit edilmiştir (Altıntaş, 2013). Çalışma; araç kullanıcılarının önemli bir kısmının sabah saatlerinde kampüse giriş yaptığını ve davranışsal olarak çalışma saatlerinin büyük çoğunluğunu kampüste geçirdiklerini ortaya koymaktadır.

Bu veriler ışığında yenilikçi şarj çözümleri incelenmiş; kullanıcılara uzun süreli zaman geçirdikleri ofis ve ev benzeri yerleşkelerde şarj imkanı sunabilecek alternatif çözümler değerlendirilmiştir.

Yapılan araştırma sonucunda elde edilen veriler ışığında kampüs yerleşkesinde kullanıma uygun olacağı varsayılan yenilikçi bir şarj istasyonu çözümü detaylı olarak irdelenmiştir. Bu çözüm ile altyapıyı yeniden kullanma yöntemiyle sokak lambalarının kaynakların daha verimli kullanılması amacıyla Londra'da seçilen pilot caddede 1300 adet sokak lambası elektrikli araç şarj istasyonuna dönüştürülmüştür. Siemens ve Ubitricity firmaları, 800 metrelik Sutherland Bulvarı boyunca gerçekleştirdikleri güçlendirme çalışması ile caddeyi "Electric Avenue" (Elektrik Bulvarı) olarak Mart 2021 itibari ile kamusal kullanıma açmıştır. Yavaş şarj çözümleri, elektrikli araç kullanıcılarının uzun süre zaman geçirdikleri lokasyonlardaki şarj taleplerine etkili yanıt vermektedir.

Kampüs yerleşkesinde mevcutta bulunan altyapının etkin şekilde değerlendirilmesi ve maliyet etkinlik yönü ile öne çıkan bahse konu çözüm çalışmanın devamında hali hazırda kampüste konumlu otoparkların bu çözüme uygunluklarının değerlendirilmesinde belirleyici olmuştur. Bu kapsamda; çalışmanın devamında değerlendirme sürecinde kullanılan veriler kampüste belirlenen otoparklarda yer alan sokak lambalarına güçlendirme çalışması uygulanacağı varsayımı ile faaliyete geçecek şarj istasyonlarının kurulacağı otoparkların potansiyelleri araştırılmıştır.

Bu noktada yapılan ön değerlendirmeler ile 70 ve üzeri park yeri kapasitesine sahip kampüs otoparkları çalışma kapsamına dahil edilerek incelenmiş ve mevcut altyapı çerçevesinde otoparklarda yer alan sokak lambaları potansiyel şarj istasyonları kurulumu için incelenmiş ve değerlendirilmek üzere, 8 adet otopark seçilmiştir. Şekil 4.2'de seçilen otoparklar ve Şekil 4.3'te otoparkların konumları verilmektedir.



Şekil 4.2: ODTÜ Ankara Yerleşkesi'nde seçilen otoparklar.



Şekil 4.3: ODTÜ Ankara Yerleşkesi'nde seçilen otopark konumları .

Bu çalışmada; sokak lambalarının bir güçlendirme çalışması ile şarj istasyonlarına dönüştürülebileceği ve bu sayede araçlar park edilir edilmez kampüs yerleşkesinde seçilen otoparklarda kullanıcılara hizmet sunulabileceği varsayılmıştır.

#### 4.1.1 Kriterlerin belirlenmesi

Literatürde incelenen çalışmalarda yer verilen kriterler; detaylı olarak taranmış ve firmanın uzmanları ile değerlendirilmiştir. Literatürde incelenen çalışmalarda yer alan kriterler aşağıda detaylandırılmaktadır.

Feng C. ve diğ. , ana yol ve yol koşulları, şerit geçiş sayısı, işletme kaybı maliyeti, yıllık işletme maliyeti, inşaat dahil toplam yatırım maliyetleri, kapsamlı kullanım koşulu, trafo merkezi mesafesi, trafo merkezi kapasitesi izni, jeolojik ve hidrolojik koşullar, güç kuşağı etkisi güvenliği, çevresel etki ve sosyal etki kriterlerini lokasyonların değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Feng C. ve diğ. , 2012).

Guo S. ve Zhao H. alternatifleri; bitki örtüsü ve su tahribat derecesi, atık tahliyesi, sera gazı emisyonunun azaltılması, ince partikül madde emisyon azaltımı, inşaat maliyeti, yıllık işletme ve bakım maliyeti, yatırım geri ödeme süresi, şarj istasyonunun kentsel yol ağı ve elektrik şebekesinin geliştirme planlaması ile uyumlu hale getirilmesi, trafik kolaylığı, hizmet kapasitesi ve şarj istasyonlarının insanların yaşamları üzerindeki etkisi yönleriyle değerlendirmiştir (Guo S. ve Zhao H. , 2015).

Şarj istasyonları, Raposo J. ve diğ. tarafından yürütülen çalışmada; halka açık caddede park imkanı, otoparklardaki park imkanı, gündüz park edilen araba sayısı, gece park edilen araba sayısı, kayıtlı sakinlerin ve mevcut şarj noktalarının sayısı açılarından değerlendirilmiştir. (Raposo J. ve diğ. , 2015).

Şarj ünitesi olan park alanı sayısı, yürüme mesafesi, elektrik trafo merkezleri ile park alanları arasındaki mesafe, yoğunluk, genişletilebilirlik (park kapasitesi), erişilebilirlik kriterleri Yağcıtekin B. ve diğ. tarafından belirlenen lokasyonların tercihinde kullanılmaktadır (Yağcıtekin B. ve diğ. , 2016).

İstasyon konumlarının değerlendirilmesi için Wu Y. ve diğ. ; inşaat maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, yatırım geri ödeme süresi, trafo merkezine uzaklık, güç sistemine etkisi, kaynakların mevcudiyeti, ulaşım kolaylığı, hizmet kapasitesi, hizmet yarıçapı, gelecekte kapasite genişletme olasılığı, yerel sakinlerin tutumu, yerel devlet desteği, ekolojik çevre etkisi, atıkların bertaraf edilmesi için yerin mevcudiyeti, enerji tasarrufu faydaları, ince parçacık emisyonunun azaltılması, topografi, jeoloji ve toprak türü kriterlerine çalışmalarında yer vermektedir. (Wu Y. ve diğ. , 2016).



Zhao H. ve Li N., çalışmalarında; ekonomik, sosyal, çevresel ve teknolojik faktörlerden yararlanmaktadırlar. Çalışmada yer alan kriterler; toplam inşaat maliyeti, yıllık işletme ve bakım maliyeti, iç getiri oranı, hizmet alanında yaşam kalitesinin etkisi, hizmet kapasitesi, trafik kolaylığı, kentsel gelişim planlaması ile lokasyonun koordinat seviyesi, toprak ve bitki örtüsünde bozulma, atmosferik partikül emisyon azaltımı, sera gazı emisyon azaltma, trafo merkezi kapasitesi izinleri, güç kalitesi etkisi, elektrik şebekesi güvenliğidir. (Zhao H. ve Li N., 2016).

Erbaş M. ve diğ.; bitki örtüsüne uzaklık, suya uzaklık, heyelana uzaklık, eğim, genişleme olasılığı, deprem riski, arazi maliyeti, elektrikli araç sahipliği, elektrik kesintisine uzaklık, hizmet alanı nüfusu, kavşaklara yakınlık, ana yollara yakınlık, trafo merkezine yakınlık, benzin istasyonuna yakınlık, ve diğer istasyona uzaklık kriterlerini lokasyon seçiminde belirleyici kriterler olarak kullanmaktadır (Erbaş M. ve diğ. , 2017).

Genevois M. ve Kocaman H. ; erişilebilirlik, otopark durumu ve trafik kolaylığı kriterlerini fonksiyon çarpanları olarak, objektif fonksiyonlarda kullanılmaktadır (Genevois M. ve Kocaman H. , 2018).

Liu H. C. ve diğ. , bitki örtüsü ve su üzerinde tahribat derecesi, atık tahliyesi, hava kirleticilerinin azaltılması, inşaat maliyetleri, yıllık işletme ve bakım maliyetleri, istasyonların kentsel yol ağı ve elektrik şebekesinin geliştirme planlaması ile uyumlu hale getirilmesi, trafik kolaylığı, servis kapasitesi ve insanların yaşamları üzerindeki olumsuz etkilerini dikkate alarak istasyonları değerlendirmiştir (Liu H. C. ve diğ. , 2018).

Diemuodeke E. O. ve diğ. , lokasyonları ilk sermaye maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, enerji maliyeti, enerji maliyeti, karbondioksit emisyonları, çevresel etki, karşılanmayan yük, net mevcut maliyet, yenilenebilirlik oranı, sosyokültürel farkındalık, teknolojiye hazır olma, kurulum kolaylığı, yaşam döngüsü değerlendirmesi kriterleri ile analiz etmişlerdir (Diemuodeke E. O. ve diğ. , 2018).

Hosseini S. ve Sarder MD çalışmalarında, hava kalitesi, atık tahliyesi, su kaynaklarında imha derecesi, trafik kolaylığı, hizmet seviyesi, nüfus yoğunluğu, lokasyon güvenliği ve güvenliği, elektrik kesintisi süresini seçim kriterleri olarak belirlemişlerdir (Hosseini S. ve Sarder MD, 2019).

Liu A. ve diğ. , tüketim seviyesi, kamu tesisleri sayısı, yatırımın geri dönüşü, inşaat yatırım maliyetleri, işletme ve yönetim maliyetleri, sera gazı emisyonu, toprağın ve bitki örtüsünün yok edilmesi, çöp idame kolaylığı, nüfus yoğunluğu, trafo merkezi kapasitesi, trafo merkezine uzaklık, güç kalitesi, arazi avantajı, yol açıklığı, hizmet kapasitesi, yol sayısı, ana yol sayısı ve hizmet yarıçapı kriterlerinden faydalanmaktadır (Liu A. ve diğ. , 2019).

Zhang L. ve diğ. istasyonları; konum uygunluğu, erişilebilirlik, şarj kapasitesi, hızlı şarj oranı, ortalama ücretlendirme, kullanım, devir hızı, arıza oranı, ortalama bekleme süresi, genel platformlara bağlantı, veri doğruluğu, ödeme türü, geri bildirim işleme, güvenlik yönetim sistemi, saha kazası oranı, düzeltme oranı, yenilenebilir enerji arzı, ekipman zekası, talep yanıtı yeteneği ve alternatif gelir kaynakları açılarından değerlendirmiştir. (Zhang L. ve diğ. , 2020).

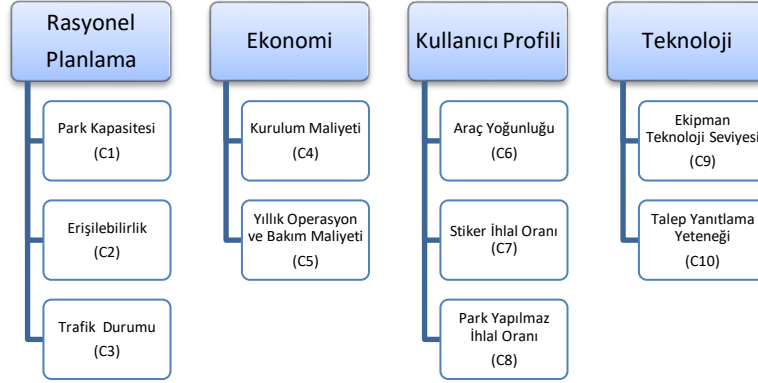
Zhoua J. ve diğ. ; doğrudan radyasyon ışınlama, yıllık ortalama sıcaklık, inşaat maliyeti, geri ödeme süresi, inşaat maliyeti, kriterleri ile değerlendirmeleri gerçekleştirmişlerdir (Zhoua J. ve diğ. , 2020).

Kaya Ö. ve diğ. , ormanlık alan, su kaynakları, heyelan, deprem, eğim, hava kalitesi, nüfus yoğunluğu, sosyal imkanlar, ana yola mesafe, kavşak mesafesi, park yeri sayısı, mevcut istasyon sayısı, benzin istasyonu sayısı, güneş enerjisi potansiyeli, elektrikli araç sayısı, arazi maliyeti, araç sayısı, gelir seviyeleri kriterlerini dikkate almışlardır (Kaya Ö. ve diğ. , 2020).

Ghosh A. ve diğ. ; arazi maliyeti, işletme ve yönetim maliyeti, tüketim seviyesi, inşaat maliyeti, kamu tesisleri, hava ve gürültü kirlilik seviyesi, benzin istasyonu sayısı, ulaşım istasyonu sayısı, yol sayısı, yol gücü, park alanları, gürültüye ve elektromanyetik alana olumsuz etkisi, nüfus yoğunluğu kriterlerini kullanmışlardır (Ghosh A. ve diğ. , 2021).

Bu çalışmada kullanılmak üzere seçilen kriterler ise ODTÜ kampüsünde yürütülen çalışmalar ve uzmanların görüşleri ve yukarıda detaylı olarak yer verilen literatürde kullanılan kriterler dikkate alınarak belirlenmiştir. Ana Kriterler; Rasyonel Planlama, Ekonomi, Kullanıcı Profili ve Teknoloji olmak üzere 4 ana başlık altında toplanarak Şekil 4.4'te verilmiştir.

Gerçekleştirilen vaka çalışmasında alternatiflerin değerlendirilmesi için bu kriterler kullanılmıştır. Belirlenen 10 adet alt kriter çalışmanın devamında detaylı olarak açıklanacaktır.



Şekil 4.4 : Ana kriterler ve alt kriterler.

Rasyonel Planlama kriterlerinin detaylı açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

**Park Kapasitesi (C1):** Şarj istasyonunun bulunduğu konumda sunulan imkanlar ve hizmetler araç sahiplerinin o istasyonu seçmesinde etkili olmaktadır(Wu Y. ve diğ. , 2016). Kullanıcıların aynı zamanda sosyal ihtiyaçlarını da karşılayabilecek kapasiteye sahip istasyonlar kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Bu çalışmada otoparklara ait veriler ODTÜ kampüsünde gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilmiştir.

**Erişilebilirlik (C2):** Kullanıcı alışkanlıkları doğrultusunda tercih edilen sosyal imkanların aynı zamanda konumlara yakınlığı ile de ifade edilmektedir (Genevois M. ve Kocaman H. , 2018). Otoparkların kampüs merkezinde yer alan sosyal imkanlara km cinsinden uzaklıkları dikkate alınmıştır.

**Trafik Durumu (C3):** Şarj istasyonu ve/veya lokasyonuna en yakın ana yol trafik durumunu tanımlar (Liu H. C. ve diğ. , 2018). Otoparklara erişimin sağlandığı en yakın ana yol üzerinde gözlemlenen günlük araç sayısıdır. Veriler ODTÜ kampüsünde gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilmiştir.

Ekonomi kriterlerinin detaylı açıklamaları izleyen sayfada yer almaktadır.

**Kurulum Maliyeti (C4) :** Arazi edinimini de içeren inşaat maliyeti, yıkım ve saha hazırlık maliyetleri, tesis maliyeti ve proje yatırımını kapsar (Ghosh A. ve diğ., 2021). Şarj istasyonlarının kurulum maliyetleri yaklaşık olarak kamuya açık verilerden elde edilmiştir.

**Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti (C5):** Her türlü gider ile günlük işletme ve bakım amortismanını içerir. İşletme ve bakım maliyetinin, karlılık üzerinde büyük bir etkisi olabileceği için önemli bir kriterdir (Liu A. ve diğ., 2019). Şarj istasyonlarının yıllık operasyon ve bakım maliyetleri oldukça düşük seviyelerdedir ancak yaklaşık olarak kamuya açık verilerden elde edilerek çalışmaya dahil edilmiştir.

Kullanıcı Profili kriterlerine ait detaylı açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

**Araç Yoğunluğu (C6):** Şarj istasyonları inşa etme önceliği, yüksek araç yoğunluğuna sahip konumlara verilmelidir (Raposo J.ve diğ., 2015). Otoparklardaki araç yoğunluğu için kampüste gerçekleştirilmiş çalışmalardan elde edilen otopark doluluk yüzdeleri kullanılmıştır.

**Stiker İhlal Oranı (C7):** Kamusal şarj istasyonları büyük tehlikeler olmaksızın buldukları alanda erişime açık oldukları sürelerde, güvenli olmalıdır (Hosseini S. ve Sarder MD, 2019). Şarj istasyonlarının bulunduğu lokasyonlarda kurallara uyum gösterilmesi kullanıcıları lokasyona çeken bir unsurdur. Bu kriter için kampüste gerçekleştirilmiş çalışmalardan elde edilen stiker ihlal yüzdeleri kullanılmıştır.

**Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8):** Şarj istasyonu lokasyonlarının bulunduğu çevrenin elektrikli araç ve şarj istasyonu teknolojilerine yönelik bilinç seviyeleri dikkate alınmalıdır.(Diemuodeke E. O. ve diğ. , 2018). Kullanıcıların hizmete ulaşmasını engelleyici davranışların hakim olduğu lokasyonlar tercihlerde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu kriter için kampüste gerçekleştirilmiş çalışmalardan elde edilen park yapılmaz ihlal yüzdeleri kullanılmıştır.

Teknoloji kriterlerinin detaylı açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

**Ekipman Teknoloji Seviyesi (C9):** Şarj ekipmanının yeni enerji sistemleri ve güç şebekeleri ile ilgili olarak teknolojik yeterlilik seviyesini gösterir. Örneğin, akıllı cihazlar ile gerçek zamanlı şarj ve deşarjı durumu izlenebilmektedir (Zhang L. ve diğ., 2020). Şarj istasyonlarının teknolojik hazırlık seviyeleri değerlendirilmiştir. Aynı ürünün uygulanması halinde ekipmanlar aynı puanı alacaktır.

**Talep yanıt yeteneği (C10):** Kamusal şarj altyapısını kullanıcı taleplerini karşılama yönünde en yüksek şekilde kullanabilme yeteneğidir. Talebi arz ile daha iyi eşleştirmek için dikkate alınması önemlidir (Zhang L. ve diğ., 2020). Otopark kapasitesinin yüzde 2'si oranında talep olduğu varsayılmıştır. Otoparkta yer alan ve konum olarak araç kullanımına uygun sokak lambası sayısının gelecekte artabileceği

de öngörülen mevcut talebin kaç katına kadar gelecek talebi yanıtlayacağı ile ifade edilmektedir.

## 4.2 Uygulama

Vaka çalışması kapsamında, Türkiye'nin en yaygın şarj istasyonu ağına sahip şirketlerinden biri ile işbirliği sağlanmış ve ön değerlendirmeler firma ile paylaşılmıştır. Gerek araç filolarına gerekse bireysel kullanıcılara sağladığı hizmetlerle son yıllarda büyük atılımlar gerçekleştiren ve şarj ağını genişleten şirket , yenilikçi adımları ve geleceğe yönelik vizyonu dikkate alınarak seçilmiştir.

Seçilen şarj istasyonu lokasyonlarını değerlendirmek üzere şirket uzmanları ile yürütülen çalışmalar ile nihali hale getirilen kriterler yukarıda açıklanmıştır. Bu kriterler, uzmanların görüşleri doğrultusunda ikili karşılaştırmaların yapılmasıyla, birbirleri ile kıyaslanmıştır. Uzmanlarla gerçekleştirilen çevrimiçi yüzyüze görüşmelerle EK.1'de yer alan değerlendirme dokümanı paylaşılmış ve kapsamlı uzman görüşleri elde edilmiştir. Pandemi koşulları ve şirket uzmanlarının uygunluk durumları da dikkate alınarak toplantılar çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir.

Görüşleri alınan 3 uzman (Uzman 1: Yönetici pozisyonunda toplamda 7 yıl, e-mobilite alanında 4 yıl tecrübe, Uzman 2: Uzman pozisyonunda toplamda ve e-mobilite alanında 3 yıl tecrübe, Uzman 3: Uzman pozisyonunda toplamda 3 yıl, e-mobilite alanında 2 yıl tecrübe) şirketteki proje ve operasyon yönetiminden, genişleme stratejileri oluşturmaya ve ilgili ekipleri (teknik, satış, pazarlama, operasyonlar, çağrı merkezi vb.) koordine ederek yeni ortaklıklar kurmaya kadar şirketin şarj ağı kapsamındaki tüm faaliyetlerden sorumludur. Sıfırdan iş stratejisi, yol haritası ve genişleme planları oluşturmak uzman ekibinin başlıca sorumluluklarındandır. Uzmanlar görüş birliği ile değerlendirme dokümanında yer alan karşılaştırmaları gerçekleştirmişlerdir.

Bu kapsamda gelecekte yatırım kararlarının alınması konusunda karar vericilere yöntem sunmayı hedefleyen bu çalışmada; şirket uzmanlarının değerlendirmeleri ve makale verileri nicel veriler olarak çalışmanın ilerleyen bölümlerinde; AHP, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinde girdi olarak kullanılmıştır. Şekil 4.5'te uygulanacak yöntem detaylandırılmıştır.



Şekil 4.5 : Uygulanacak olan yöntem adımları.

#### 4.2.1 AHP yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Yukarıda uzmanların görüşleri doğrultusunda seçilen ve açıklanan kriterler, 3 şirket uzmanının görüş birliği ile, Çizelge 3.1’de verilen AHP yöntemi değerlendirme ölçeği doğrultusunda birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda elde edilen veriler ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
c1	1,00	1,00	2,00	3,00	3,00	1,00	5,00	7,00	2,00	2,00
c2	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	4,00	7,00	2,00	2,00
c3	0,50	0,33	1,00	2,00	2,00	0,50	3,00	5,00	1,00	1,00
c4	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	0,50	2,00	4,00	0,50	0,50
c5	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	0,50	2,00	4,00	0,50	0,50
c6	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	5,00	7,00	2,00	2,00
c7	0,20	0,25	0,33	0,50	0,50	0,20	1,00	3,00	0,33	0,33
c8	0,14	0,14	0,20	0,25	0,25	0,14	0,33	1,00	0,20	0,20
c9	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	0,50	3,00	5,00	1,00	1,00
c10	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	0,50	3,00	5,00	1,00	1,00

Ulaşılan matris normalize edilerek oluşturulan normalize karşılaştırma matrisi Çizelge 4.2’de gösterilmektedir. Excel’de normalize karşılaştırma matrisi satır ortalamaları alınarak Çizelge 4.3’de yer alan kriter ağırlıklarına ulaşılmıştır.

Çizelge 4.2: Kriterlerin ikili normalize karşılaştırma matrisi.

Kriterler	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
c1	0,182	0,185	0,173	0,179	0,179	0,171	0,176	0,146	0,190	0,190
c2	0,182	0,185	0,260	0,179	0,179	0,171	0,141	0,146	0,190	0,190
c3	0,091	0,062	0,087	0,119	0,119	0,086	0,106	0,104	0,095	0,095
c4	0,061	0,062	0,043	0,060	0,060	0,086	0,071	0,083	0,047	0,047
c5	0,061	0,062	0,043	0,060	0,060	0,086	0,071	0,083	0,047	0,047
c6	0,182	0,185	0,173	0,119	0,119	0,171	0,176	0,146	0,190	0,190
c7	0,036	0,046	0,029	0,030	0,030	0,034	0,035	0,063	0,032	0,032
c8	0,026	0,026	0,017	0,015	0,015	0,024	0,012	0,021	0,019	0,019
c9	0,091	0,093	0,087	0,119	0,119	0,086	0,106	0,104	0,095	0,095
c10	0,091	0,093	0,087	0,119	0,119	0,086	0,106	0,104	0,095	0,095

Çizelge 4.3: Kriter ağırlıkları.

Kriterler	Ağırlık	
C1	Park Kapasitesi	0,177
C2	Erişilebilirlik	0,182
C3	Trafik Durumu	0,096
C4	Kurulum Maliyeti	0,062
C5	Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti	0,062
C6	Araç Yoğunluğu	0,165
C7	Stiker İhlal Oranı	0,037
C8	Park Yapılmaz İhlal Oranı	0,019
C9	Ekipman Teknoloji Seviyesi	0,099
C10	Talep yanıt yeteneği	0,099

İkili karşılaştırmaların yapılması ve ağırlıkların belirlenmesi tek başına yeterli değildir. Bu noktada görüşlerin tutarlılığına dikkat etmek ve verilerin kullanılabilmesi için gerekli kontrolleri sağlamak gerekmektedir. Eşitlik (3.4) ile öncelikle  $\lambda_{max}$  değeri

hesaplanmaktadır. Bu değer Eşitlik (3.3)'te yerine konularak n=10 kriter için CI ile gösterilen tutarlılık indeksi elde edilir. Son aşamada ise tutarlılık indeksi Çizelge 3.2'de 10 kriter için incelendiğinde 1,49 olan RI ile gösterilen rastgele değer indeksi'ne Eşitlik (3.5)'de verildiği üzere bölünerek CR ile Çizelge 4.4'de de belirtilen tutarlılık oranına ulaşılmaktadır. Çizelge 4.4'de verilen tutarlılık indeksi rastgele değer indeksine bölünerek elde edilen tutarlılık oranı  $0,0134 < 0,1$  koşulunu sağladığından oluşturulan karşılaştırma matrisi ile elde edilen görüşler tutarlıdır.

Kriter karşılaştırmasında erişilebilirlik kriterinin (C2) ağırlığı 0,182 ile en büyük öneme sahiptir. Ancak park kapasitesi (C1) kriteri ile erişilebilirlik (C2) kriteri çok yakın ağırlıklara sahiptir. Ayrıca, ekonomi ile ilgili her iki iki kriterin de eşit önemde görüldüğü ortaya çıkmıştır. Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8) kriterinin ise kriterler arasında en düşük etkiye sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.4: Tutarlılık oranı, tutarlılık indeksi.

$\lambda_{\max}$	CI	RI	CR
10,179	0,01993	1,49	0,0134

#### 4.2.2 Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi

Çalışmanın bir sonraki aşamasında alternatifleri sıralamak için kullanılacak olan VIKOR ve TOPSIS yöntemlerine girdi olarak, seçilen 8 adet alternatifin belirlenen kriterlerin her birine göre değerlendirilmesi ile oluşturulan değerlendirme matrisi Çizelge 4.5'te verilmektedir. Matrisin oluşturulmasında; nicel makale verileri, saha inceleme çalışmaları sonuçlarından elde edilen nicel gözlem verileri ve kamuya açık nicel bilgiler kullanılmıştır. Çizelge 4.5'te C1, C3, C6, C7 ve C8 sütunlarında yer alan veriler sırasıyla; otoparklardaki park yeri sayısı, otoparka en yakın yolda gözlemlenen günlük araç sayısı, otopark doluluk oranı, stiker ihlal oranı ve park yapılmaz ihlal oranı verileridir. C2 sütunu otoparkların kilometre cinsinden kampüs merkezi (ODTÜ Çarşı) lokasyonuna GoogleEarth kullanılarak hesaplanmış en kısa yürüyüş uzaklıklarıdır. C4 sütununda yer alan veriler belirlenen yüzde 2 talebi karşılayacak minimum sokak lambası sayısının, ortalama kurulum maliyeti ile çarpılması ile, C5 sütunu ise kamuya açık bilgilerde neredeyse sifıra yakın olarak tanımlanmış operasyon maliyetlerinin lambda sayısı ile çarpımı yoluyla elde edilmektedir. Ekipman Teknolojisi Seviyesi ise aynı firmaya ait ürünün kullanılacağı varsayımıyla tüm alternatiflere Teknolojik Hazırlık Seviyesi skoru verilerek değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.5: Alternatiflerin değerlendirme matrisi.

Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A1	158	2	1711	3000	30	28,07	0,00	0,67	9	8
A2	142	1,5	1592	3000	30	55,87	10,20	0,00	9	8,67
A3	105	1	3769	2000	20	106,33	21,07	0,47	9	1,5
A4	73	0,22	3908	1000	10	81,27	47,47	7,13	9	6
A5	70	0,45	5001	1000	10	97,60	10,07	0,00	9	1
A6	129	1,1	515	3000	30	71,83	22,97	2,00	9	6
A7	71	1,9	515	1000	10	101,40	13,40	2,30	9	7
A8	131	1,5	515	3000	30	75,57	14,53	1,47	9	1,33

#### 4.2.3 VIKOR yöntemi ile alternatiflerin sıralanması

**Adım 1:** Kriterlerin en iyi ve en kötü değerlerinin belirlenmesi



Çizelge 4.5'te elde edilen matriste yer alan kriterlerden; C4 ve C5 kriteri bir maliyeti ifade ettiğinden, C2, C3, C7 ve C8 kriterlerinin aldığı değerler ise bir zararı tanımladığından alternatiflerin alacağı en düşük değerler en iyi değerler, en yüksek değerler en kötü değerler olacaktır. Bu kapsamda, kriterlerin en iyi ve en kötü değerleri ile Çizelge 4.6 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.6: Kriterlerin en iyi ve en kötü değerleri.

En Kötü Değer $f_j^-$	70	2	5001	3000	30	28,07	47,46	7,1	9	1
En İyi Değer $f_j^*$	158	0,22	515	1000	10	106,33	0	0	9	8,67
Kriter	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10

### Adım 2: Ağırlıklı normalize karar matrisinin elde edilmesi

Normalizasyon için her kriterin aldığı en iyi  $f_j^*$  ve en kötü  $f_j^-$  değerler, Eşitlik (3.11)'de verilen formülde kullanılarak normalize matris oluşturulur. Elde edilen normalize matris Çizelge 4.3'te verilen kriterlerin ağırlıkları ile çarpılarak 8 alternatif için Çizelge 4.7'de verilen ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilir.

Çizelge 4.7: Ağırlıklı normalize karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A1	0,000	0,182	0,026	0,062	0,062	0,165	0,000	0,002	0,000	0,009
A2	0,032	0,131	0,023	0,062	0,062	0,107	0,008	0,000	0,000	0,000
A3	0,107	0,080	0,070	0,031	0,031	0,000	0,016	0,001	0,000	0,093
A4	0,171	0,000	0,073	0,000	0,000	0,053	0,037	0,019	0,000	0,035
A5	0,177	0,024	0,096	0,000	0,000	0,018	0,008	0,000	0,000	0,099
A6	0,058	0,090	0,000	0,062	0,062	0,073	0,018	0,005	0,000	0,035
A7	0,175	0,172	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,006	0,000	0,022
A8	0,054	0,131	0,000	0,062	0,062	0,065	0,011	0,004	0,000	0,095

### Adım 3: $S_i$ , $R_i$ ve $Q_i$ değerlerinin elde edilmesi

Ağırlıklı normalize karar matrisinin elemanları kullanılarak  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  değerleri hesaplanmıştır. Eşitlik (3.15) ile  $S_i$ , (3.16) ile  $R_i$  değerleri hesaplanmaktadır. En iyi değer  $S_i$  ve en kötü değer  $R_i$ , maksimum grup faydası  $q$  ve tekil pişmanlık  $(1-q)$  katsayıları kullanılarak Eşitlik (3.19) ile  $Q_i$  değeri bulunmaktadır. Alternatiflerin Excel kullanılarak hesaplanmış  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  değerleri Çizelge 4.8'de verilmektedir.

Çizelge 4.8: Her bir alternatif için hesaplanan  $S_i, R_i$  ve  $Q_i$  değerleri.

Alternatifler	$S_i$	$R_i$	$Q_i$
A1	0,508	0,182	1,000
A2	0,425	0,131	0,377
A3	0,429	0,107	0,262
A4	0,388	0,171	0,439
A5	0,423	0,177	0,618
A6	0,403	0,090	0,064
A7	0,396	0,175	0,496
A8	0,485	0,131	0,627

**Adım 4:** S, R ve Q listelerinin oluşturulması

Alternatiflere ait  $R_i, S_i$  ve  $Q_i$  değerleri, küçükten büyüğe doğru sıralanarak, 3 ayrı sıralı liste elde edilir. Alternatiflerin R, S ve Q değerlerine göre listelerde yer aldıkları sıralar Çizelge 4.9’da verilmektedir.

Çizelge 4.9: R, S ve Q listelerinde alternatiflerin sıraları.

SIRA	S	R	Q
A1	8	7	8
A2	5	3	3
A3	6	2	2
A4	1	4	4
A5	4	6	6
A6	3	1	1
A7	2	5	5
A8	7	3	7

Elde edilen sıralamalar incelendiğinde R ve Q listelerinde en iyi alternatifin A6 alternatifi olduğu görülmüştür. Ancak S listesinde A6 alternatifi A4 alternatifine tercih edilmektedir. Q listesi incelendiğinde, en küçük  $Q_i$  değerlerine sahip otoparkın Malzeme ve Metalurji Mühendisliğine ait olan A6 olduğu, ikinci tercih sırasında ise İktisadi İdari Bilimler Fakültesine ait otopark olan A3 olduğu görülmektedir.

**Adım 5:** Koşulların kontrolü

Koşul 1:

Listeler oluşturulduktan sonra, koşulların kontrolünün yapılması gerekmektedir. Eşitlik (3.20)’ de verilen koşulun sağlanması sıralamalarda en iyi alternatife en yakın alternatif ile arasında kabul edilebilir bir fark olduğunu ve elde edilen çözümün uzlaşık çözüm olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede,  $Q_6$  ve  $Q_3$  değerleri arası 0,198 olarak

hesaplanan fark DQ değerinden küçük olduğundan (DQ değeri 8 alternatif için 0,143 alınmıştır.) ilk koşul sağlanır. A6 alternatifi en iyi tercih olmuştur.

Koşul 2:

Koşulun kontrolü için elde edilen küçükten büyüğe sıralı üç liste içinde en iyi Qi değerine sahip alternatifin aynı zamanda Si ve Ri listelerinin de en az birinde en iyi değeri alması gereklidir. A6 alternatifi için koşul sağlanmaktadır ve seçilen alternatif geçerlidir.

#### 4.2.4 TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralanması

**Adım 1:** Standart karar matrisinin oluşturulması

Öklid normalizasyonu ile alternatifler için elde edilen standart karar matrisi Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10: Alternatiflerin standart karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A1	0,487	0,524	0,220	0,457	0,457	0,122	0,000	0,084	0,354	0,491
A2	0,438	0,393	0,204	0,457	0,457	0,244	0,165	0,000	0,354	0,532
A3	0,324	0,262	0,484	0,305	0,305	0,464	0,341	0,059	0,354	0,092
A4	0,225	0,058	0,501	0,152	0,152	0,355	0,768	0,899	0,354	0,368
A5	0,216	0,118	0,642	0,152	0,152	0,426	0,163	0,000	0,354	0,061
A6	0,398	0,288	0,066	0,457	0,457	0,314	0,372	0,252	0,354	0,368
A7	0,219	0,498	0,066	0,152	0,152	0,443	0,217	0,290	0,354	0,430
A8	0,404	0,393	0,066	0,457	0,457	0,330	0,235	0,185	0,354	0,082

**Adım 2:** Ağırlıklandırılmış standart karar matrisinin elde edilmesi

Her kriterin sütununda yer alan değerler kriter ağırlıkları ile çarpılarak elde edilen ağırlıklı standart karar matrisi Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11: Alternatiflerin ağırlıklı standart karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A1	0,086	0,096	0,021	0,028	0,028	0,020	0,000	0,002	0,035	0,049
A2	0,078	0,072	0,020	0,028	0,028	0,040	0,006	0,000	0,035	0,053
A3	0,057	0,048	0,047	0,019	0,019	0,077	0,012	0,001	0,035	0,009
A4	0,040	0,011	0,048	0,009	0,009	0,059	0,028	0,017	0,035	0,037
A5	0,038	0,021	0,062	0,009	0,009	0,070	0,006	0,000	0,035	0,006
A6	0,070	0,053	0,006	0,028	0,028	0,052	0,014	0,005	0,035	0,037
A7	0,039	0,091	0,006	0,009	0,009	0,073	0,008	0,006	0,035	0,043
A8	0,072	0,072	0,006	0,028	0,028	0,054	0,009	0,004	0,035	0,008

**Adım 3:** Pozitif ve negatif ideal çözüm değerlerinin hesaplanması

Ağırlıklı karar matrisinde yer alan değerler, kriterlerin fayda ve maliyet ifade etmelerine göre ayrılarak pozitif ve negatif ideal çözüm setleri oluşturulmaktadır. Alternatiflerin için oluşturulan çözüm setleri; pozitif ideal çözüm seti  $A^+ = 0.0863, 0.0105, 0.0064, 0.0094, 0.0094, 0.0767, 0.0000, 0.0000, 0.0352, 0.0529$  ve negatif ideal çözüm seti  $A^- = 0.0382, 0.0955, 0.0618, 0.0283, 0.0094, 0.0283, 0.0202, 0.0282, 0.0175, 0.0352, 0.0061$  olarak verilmiştir.

#### Adım 4: Pozitif ve Negatif İdeal Ayrım Değerlerinin Hesaplanması

Çizelge 4.12’de alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan öklidyen uzaklıkları hesaplanarak pozitif ve negatif ayrım değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.12: Pozitif ve negatif ideal ayrım değerleri

Alternatifler	$S_i^*$	$S_i^-$
A1	0,107	0,083
A2	0,078	0,085
A3	0,078	0,082
A4	0,075	0,103
A5	0,088	0,098
A6	0,062	0,091
A7	0,094	0,092
A8	0,085	0,081

#### Adım 5: Alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlıklarının bulunması

Negatif ideal ayrım ölçüsünün, pozitif ve negatif ayrım ölçüleri toplamı içindeki oranı alternatifin ideal çözüme yakınlık değerini vermektedir. Her alternatif için Excel kullanılarak hesaplanmış ideal çözüme göreli yakınlık değerleri ve elde edilen alternatif sıralaması Çizelge 4.13’te verilmektedir. A6 alternatifi en iyi alternatif olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.13: Alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlık değerleri ve sıralar.

Alternatifler	$C_i^*$	SIRA
A1	0,43680	8
A2	0,52281	4
A3	0,51301	5
A4	0,57818	2
A5	0,52513	3
A6	0,59506	1
A7	0,49416	6
A8	0,48644	7

### 4.3 VIKOR ve TOPSIS Yöntemleri ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Çalışmanın bu bölümünde iki farklı çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak yöntemlerin ve sonuçların kıyaslanması hedeflenmiştir. Her iki yöntem de literatürde sıklıkla benzer problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Yöntemler ideale yakınlık üzerine odaklanmakta ancak kullanılan normalizasyon algoritmaları ile birbirinden ayrılmaktadır. TOPSIS yöntemi vektör, VIKOR ise doğrusal normalizasyon yapmaktadır. Çizelge 4.14'te her iki yöntem sonucu elde edilmiş sıralamalar verilmektedir. Sıralamalar incelendiğinde A6 alternatifi ile gösterilen Malzeme ve Metalurji Mühendisliği otoparkının her iki yöntem kullanılarak elde edilen sıralamalarda da en iyi tercih olduğu görülmektedir. A3 ve A4 alternatifleri ise sırasıyla VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinde 2. sırada tercih edilen, A2 ise her iki yöntemde 3. sırada tercih edilen alternatiftir.

Çizelge 4.14: Alternatiflerin Sıralamaları

Alternatifler	VIKOR Sıralaması	TOPSIS Sıralaması
A1	8	8
A2	3	4
A3	2	5
A4	4	2
A5	6	3
A6	1	1
A7	5	6
A8	7	7

Bu bölümde elde edilen sıralamalar karşılaştırıldığında AHP ile entegre kullanılan VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin, elektrikli araç şarj istasyonu potansiyel lokasyonlarının değerlendirilmesinde en iyi alternatifin tercihinde aynı sonuca ulaştığı gözlemlenmektedir. Aynı kriterler ve kriter ağırlıkları ile farklı yöntemlerle ulaşılan sıralamalar arasında ise anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Yöntemler karar vericiye yapacağı seçimde sağlıklı ve güvenilir sonuçlar sunmaktadır. İstatiksel olarak bu bulguları doğrulamak için, VIKOR ve TOPSIS sıralamaları arasındaki ilişkiler Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı ile değerlendirilmiştir. Shekhovtsov ve Sařabun, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak elde ettikleri üniversite sıralamalarının karşılaştırılması ve sıraların ilişkilerinin değerlendirilmesinde Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı analizini kullanmışlardır. Yöntem iki değişken arasındaki ilişkinin verilerin dağılımına bakılmaksızın ölçülmesinde kullanılmaktadır (Shekhovtsov ve Sařabun,2020).

Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı analizine göre alternatiflerin VIKOR sıralaması ve TOPSIS sıralaması arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur,  $r_{\text{spearman}} = .671$ ,  $p < .001$ . Analiz SPSS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.15: Sıralamalar arası ilişki.

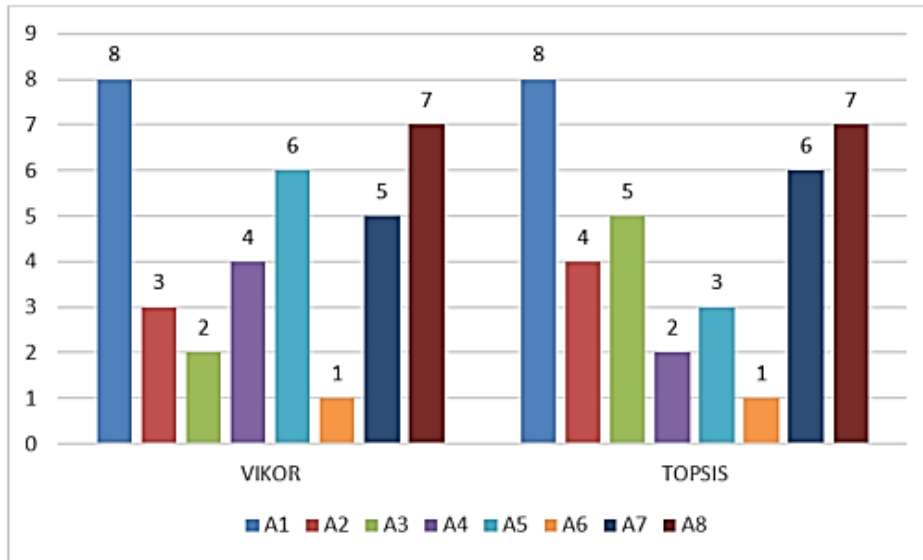
Değişken	n	Ort.	SS	1	2
1.VIKOR Sıralaması	8	4.63	2.560	-	0.671***
2.TOPSIS Sıralaması	8	4.50	2.449	-	-

\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ . \*\*\* $p < .001$

Çizelge 4.15 incelendiğinde değişkenler arasında pozitif ve güçlü bir ilişki (korelasyon değeri 0,671) olduğu görülmektedir. Bulgular metodların sıralamaları etkilemediğini, alternatiflerin sıralanması ve en iyi alternatifin belirlenmesi için AHP ile entegre olarak kullanılan VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin benzer tercih sıralamalarını çıktığı olarak karar vericiye sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada en iyi otopark alternatifinin pilot konum olarak seçilmesi hedeflendiğinden iki yöntem de aynı lokasyona öncelik vermekte ve çalışmanın hedeflerine uygunluk göstermektedir.

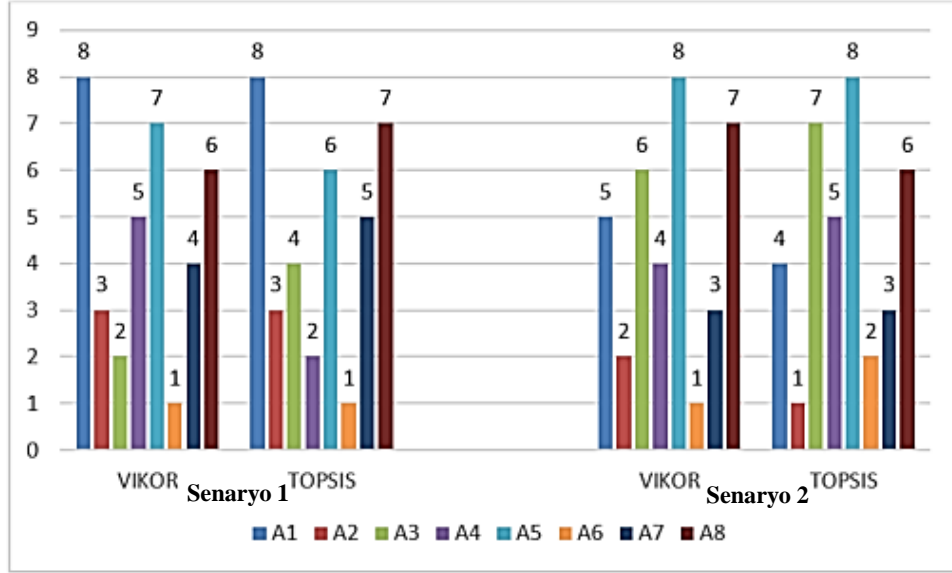
#### 4.4 Duyarlılık Analizi

Farklı iki metod ile ve aynı kriter ağırlıkları ile ulaşılan sıralamalar Şekil 4.6'da verilmektedir.



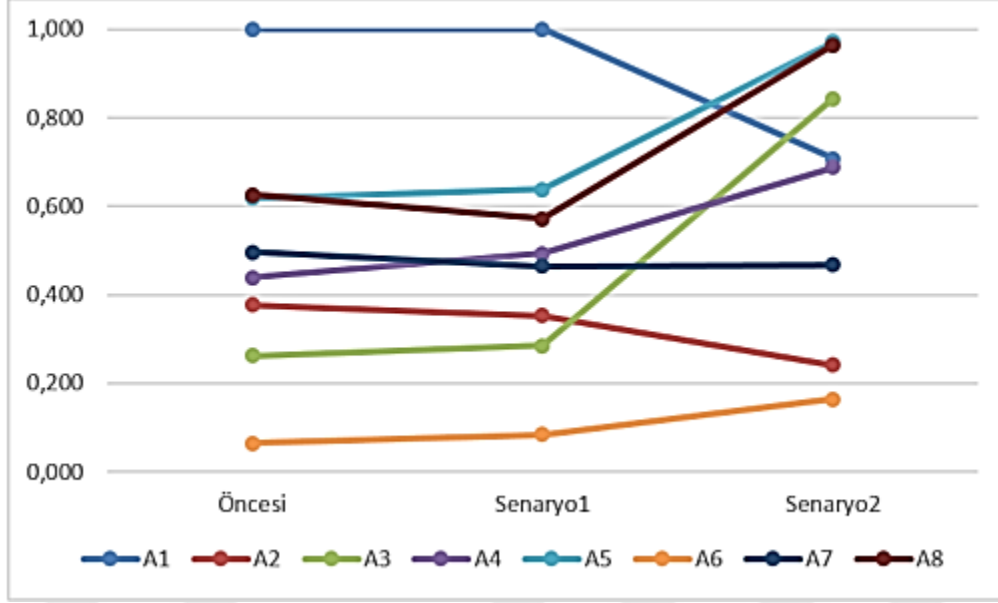
Şekil 4.6 : Alternatiflerin VIKOR ve TOPSIS sıralamaları

Çalışmanın bu bölümünde, değişen kriter ağırlıklarının alternatiflerin performansları üzerindeki etkisini gözlemlemek hedefiyle duyarlılık analizi yürütülmüştür. Değişen koşulların uzman görüşlerinde de değişimlere yol açması ve dolayısıyla kriter ağırlıklarında meydana gelecek değişimlerin alternatifler üzerindeki etkisini gözlemlemek için iki farklı senaryo incelenmiştir. İlk senaryoda en yüksek ağırlığa sahip ilk 3 kriterden erişebilirlik “C2” ve araç yoğunluğu “C6” kriterlerinin ağırlıkları değiş tokuş edilmiştir. İkinci senaryo için ise daha az önem arz eden kriterlerden olan talep yanıt yeteneği “C10” ile yüksek öneme sahip erişebilirlik “C2” kriterlerinin ağırlıkları aynı şekilde değiştirilmiştir. Şekil 4.7’de ise sıralamalardaki değişimler senaryo bazlı olarak verilmektedir.



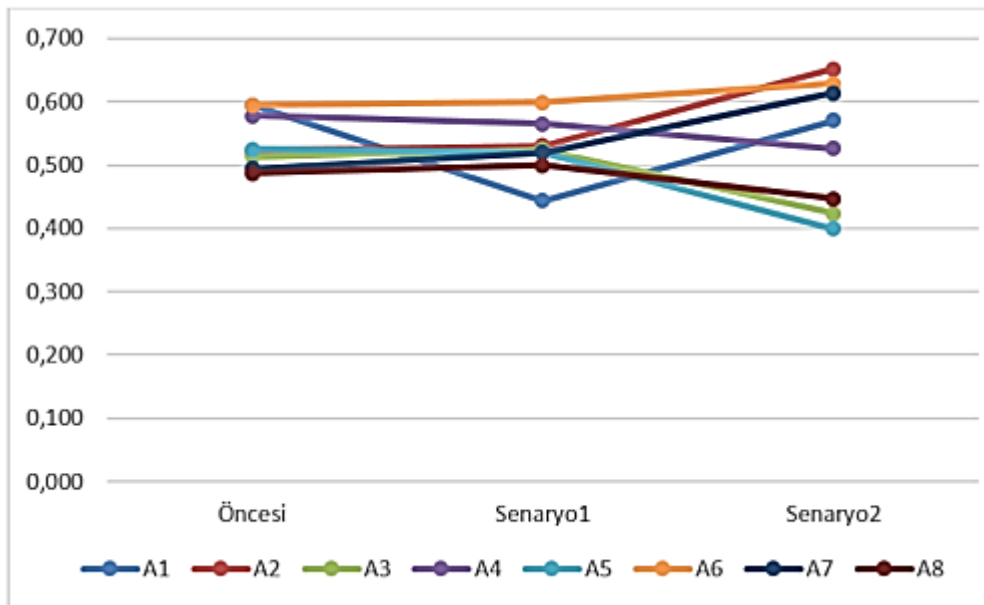
Şekil 4.7 : Duyarlılık analizi senaryolarda sıralamalar

VIKOR yöntemi ile ulaşılan ve değiş tokuşlar öncesi elde edilen sıralamalar ve senaryoların uygulanması ile elde edilen ideal alternatife yakınlık değerleri Şekil 4.8’de verilmektedir. VIKOR’da değişen pozisyonlar incelendiğinde A6 alternatifi ile gösterilen Malzeme ve Metalürji Mühendisliği otoparkının değişen kriter ağırlıklarına rağmen en iyi tercih olarak her iki senaryoda da pozisyonunu koruduğu görülmektedir. Ancak, ikinci senaryoda koşulların kontrolü sağlandığında A2 alternatifi uzlaşık çözüm kümesine dahil edilmiş ve en iyi çözüm iki alternatifi de kapsar hale gelmiştir. A1 seçeneğinin tercih sırasında iyileştirme gözlenirken, A5 ve A8 alternatifleri ideal alternatiften uzaklaşmıştır.



Şekil 4.8: Duyarlılık analizi VIKOR sonuçları

TOPSIS yöntemi sonuçları incelendiğinde, ortaya çıkan değişiklikler Şekil 4.9’da verilmektedir. Şekil incelendiğinde, ilk senaryo sonrası A6 alternatifinin en iyi tercih olarak sıralamadaki yerini koruduğu ancak talep yanıt yeteneği kriterinin en yüksek ağırlıkla en önemli kriter haline gelmesiyle ikinci senaryoda, A2 İşletme Bölümü otoparkının en iyi alternatif olarak tercihine sebep olmuştur. İşletme Bölümü otoparkı mevcut altyapısında yer alan kullanılabilir kaynakları ile diğer konumlar arasından öne çıkmaktadır. A6 alternatifi bu senaryoda ikinci sıraya gerilemiştir.



Şekil 4.9 : Duyarlılık analizi TOPSIS sonuçları



Duyarlılık analizinin ikinci bölümünde, ODTÜ kampüsünde EK.2’de yer alan anket çalışması gerçekleştirilmiş ve kampüsteki popülasyonun kriterlerin önem derecelerini belirlemesi ve bu sonuçların uzman görüşleriyle karşılaştırılması hedeflenmiştir. Çizelge 3.1’de verilen AHP yöntemi değerlendirme ölçeği doğrultusunda kriterler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Mayıs 2021- Ağustos 2021 tarih aralığında gerçekleştirilen anket çalışması sonucunda elde edilen 5 anket verisi her katılımcının eşit ağırlığa sahip olduğu varsayımı ile ikili karşılaştırmaların yapılması ile elde edilen verilerinin ortalama değerlerinin hesaplanması yöntemiyle oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 4.16’da verilmektedir.

Çizelge 4.16: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
c1	1,00	1,00	1,00	1,90	2,47	3,05	3,85	4,24	5,03	5,63
c2	1,00	1,00	1,17	1,70	2,27	2,85	3,44	3,83	5,03	5,23
c3	1,00	0,86	1,00	1,30	1,87	2,25	2,45	2,84	3,43	3,63
c4	0,53	0,59	0,77	1,00	1,70	3,27	2,25	2,25	3,71	3,84
c5	0,41	0,44	0,54	0,59	1,00	1,70	1,80	1,93	2,32	3,25
c6	0,33	0,35	0,44	0,31	0,59	1,00	1,30	1,12	1,93	2,47
c7	0,26	0,29	0,41	0,44	0,56	0,77	1,00	1,70	1,57	1,75
c8	0,24	0,26	0,35	0,44	0,52	0,90	0,59	1,00	1,20	1,90
c9	0,20	0,20	0,29	0,27	0,43	0,52	0,64	0,83	1,00	1,70
c10	0,18	0,19	0,28	0,26	0,31	0,41	0,57	0,53	0,59	1,00

Ulaşılan matris normalize edilerek oluşturulan normalize karşılaştırma matrisi Çizelge 4.17’de gösterilmektedir. Excel’de normalize karşılaştırma matrisi satır ortalamaları alınarak Çizelge 4.18’de yer alan kriter ağırlıklarına ulaşılmıştır.

Çizelge 4.17: Kriterlerin ikili normalize karşılaştırma matrisi.

Kriterler	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
c1	0,195	0,193	0,160	0,231	0,211	0,183	0,215	0,209	0,195	0,185
c2	0,195	0,193	0,187	0,207	0,194	0,171	0,192	0,189	0,195	0,172
c3	0,195	0,166	0,160	0,158	0,160	0,135	0,137	0,140	0,133	0,120
c4	0,103	0,114	0,123	0,122	0,145	0,196	0,126	0,111	0,144	0,126
c5	0,079	0,085	0,086	0,072	0,085	0,102	0,101	0,095	0,090	0,107
c6	0,064	0,068	0,071	0,037	0,050	0,060	0,073	0,055	0,075	0,081
c7	0,051	0,056	0,065	0,054	0,047	0,046	0,056	0,084	0,061	0,058
c8	0,046	0,050	0,056	0,054	0,044	0,054	0,033	0,049	0,046	0,063
c9	0,039	0,038	0,047	0,033	0,037	0,031	0,036	0,041	0,039	0,056
c10	0,035	0,037	0,044	0,032	0,026	0,024	0,032	0,026	0,023	0,033

Çizelge 4.18: Kriter ağırlıkları.

Kriterler		Ağırlık
<b>C1</b>	Park Kapasitesi	0,198
<b>C2</b>	Erişilebilirlik	0,189
<b>C3</b>	Trafik Durumu	0,150
<b>C4</b>	Kurulum Maliyeti	0,131
<b>C5</b>	Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti	0,090
<b>C6</b>	Araç Yoğunluğu	0,063
<b>C7</b>	Stiker İhlal Oranı	0,058
<b>C8</b>	Park Yapılmaz İhlal Oranı	0,050
<b>C9</b>	Ekipman Teknoloji Seviyesi	0,040
<b>C10</b>	Talep yanıt yeteneği	0,031

İkili karşılaştırmaların yapılması ve ağırlıkların belirlenmesi daha önce de belirtildiği üzere tek başına yeterli değildir. Bu noktada görüşlerin tutarlılığına dikkat etmek ve verilerin kullanılabilmesi için gerekli kontrolleri sağlamak gerekmektedir. Eşitlik (3.4) ile öncelikle  $\lambda_{\max}$  değeri hesaplanmaktadır. Bu değer Eşitlik (3.3)'te yerine

konularak  $n=10$  kriter için CI ile gösterilen tutarlılık indeksi elde edilir. Son aşamada ise tutarlılık indeksi Çizelge 3.2'de 10 kriter için incelendiğinde 1,49 olan RI ile gösterilen rastgele değer indeksi'ne Eşitlik (3.5)'de verildiği üzere bölünerek CR ile Çizelge 4.4'de de belirtilen tutarlılık oranına ulaşılmaktadır. Çizelge 4.19'da verilen tutarlılık indeksi rastgele değer indeksine bölünerek elde edilen tutarlılık oranı  $0,0097 < 0,1$  koşulunu sağladığından oluşturulan karşılaştırma matrisi ile elde edilen görüşler tutarlıdır.

Kriter karşılaştırmasında park kapasitesi (C1) kriterinin ağırlığı 0,198 ile en büyük öneme sahiptir. Park kapasitesi (C1) kriterini 0,189 ile erişilebilirlik (C2) kriteri izlemektedir. Talep yanıt yeteneği (C10) kriterinin ise kriterler arasında en düşük etkiye sahip olduğu gözlemlenmektedir. Park yapılmaz ihlal oranı (C7) ve stiker ihlal oranı (C8) kriterleri ise katılımcılar tarafından yakın etki seviyelerinde değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.19: Tutarlılık oranı, tutarlılık indeksi.

$\lambda_{\max}$	CI	RI	CR
10,13044	0,01449	1,49	0,0097

ODTÜ katılımcılarının görüşleri doğrultusunda değişen kriter ağırlıklarının alternatiflerin performansları üzerindeki etkisini gözlemlemek hedefiyle yürütülen ikinci bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. VIKOR'da değişen kriter ağırlıkları ile yöntem adımlarının izlenmesi sonucu değişen pozisyonlar Çizelge 4.20'de incelendiğinde A6 alternatifi ile gösterilen Malzeme ve Metalurji Mühendisliği otoparkının değişen kriter ağırlıklarına rağmen en iyi tercih olarak her iki yöntem sonuçlarında da pozisyonunu koruduğu görülmektedir.

Çizelge 4.20: Alternatiflerin Sıralamaları

Alternatifler	VIKOR Sıralaması	TOPSIS Sıralaması
A1	8	7
A2	3	3
A3	2	8
A4	7	6
A5	6	5
A6	1	1
A7	4	4
A8	5	2

İstatiksel olarak bu bulguları doğrulamak için, ODTÜ katılımcılarının görüşleri ile ulaşılan VIKOR ve TOPSIS sıralamaları arasındaki ilişkiler Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı ile değerlendirilmiştir.

Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı analizine göre alternatiflerin VIKOR sıralaması ve TOPSIS sıralaması arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur,  $r_{\text{spearman}} = .429$ ,  $p < .001$ . Analiz SPSS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

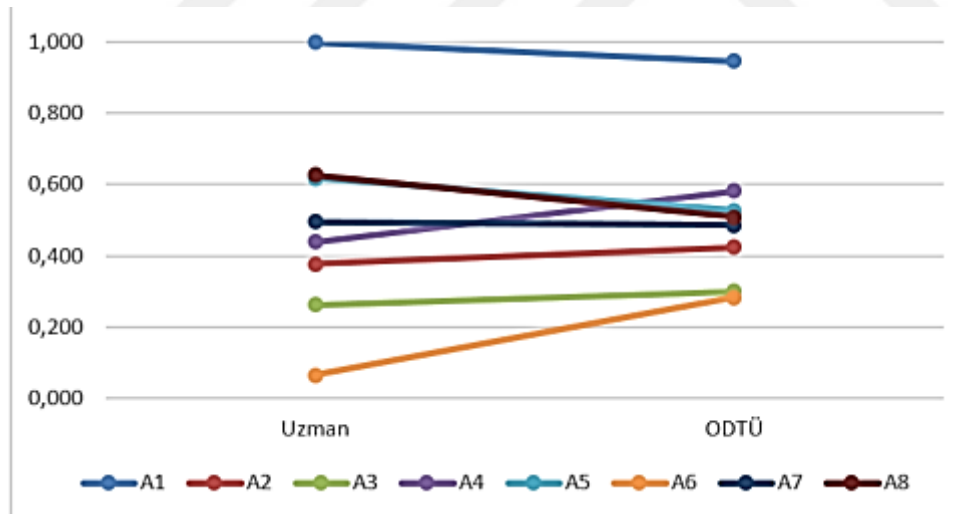
Çizelge 4.21: Sıralamalar arası ilişki.

Değişken	<i>n</i>	Ort.	SS	1	2
1. VIKOR Sıralaması	8	4.50	2.449	-	0.429***
2. TOPSIS Sıralaması	8	4.50	2.449		-

\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ . \*\*\* $p < .001$

Çizelge 4.21 incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki (korelasyon değeri 0,421) olduğu görülmektedir. Bulgular metodların sıralamaları etkilemediğini, alternatiflerin sıralanması ve en iyi alternatifin belirlenmesi için AHP ile entegre olarak kullanılan VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin benzer tercih sıralamalarını çıktısı olarak karar vericiye sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada en iyi otopark alternatifinin pilot konum olarak seçilmesi hedeflendiğinden iki yöntem de aynı lokasyona öncelik vermekte ve çalışmanın hedeflerine uygunluk göstermektedir.

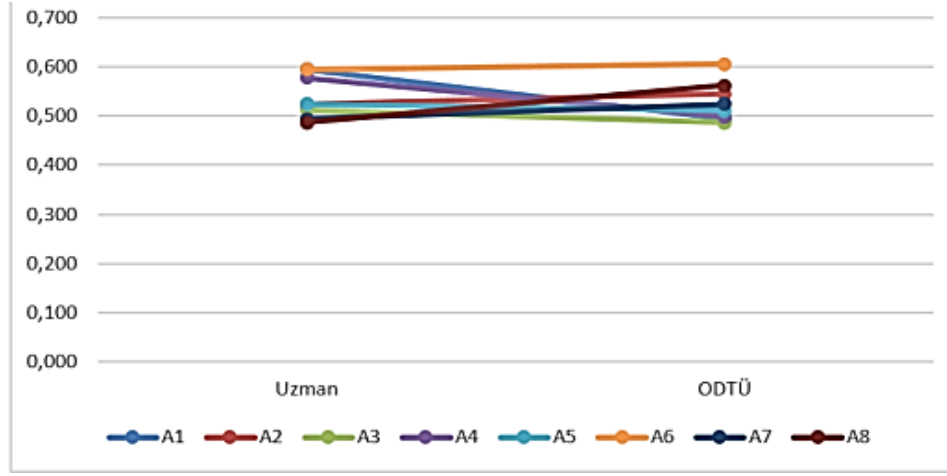
VIKOR yöntemi ile uzman görüşleri sonrası ulaşılan ilk sonuçlar ve ODTÜ katılımcılarının görüşleri sonrası değişen kriter ağırlıkları ile ulaşılan ideal alternatife yakınlık değerleri Şekil 4.10'da verilmektedir. VIKOR'da değişen pozisyonlar incelendiğinde A6 alternatifi ile gösterilen Malzeme ve Metalurji Mühendisliği otoparkının değişen kriter ağırlıklarına rağmen en iyi tercih olarak her iki senaryoda da pozisyonunu koruduğu görülmektedir. Ancak, ikinci senaryoda koşulların kontrolü sağlandığında A3 alternatifi uzlaşık çözüm kümesine dahil edilmiş ve en iyi çözüm iki alternatifi de kapsar hale gelmiştir. A5 ve A8 seçeneklerinin tercih sırasında iyileştirme gözlenirken, A4 alternatifi ideal alternatiften uzaklaşmıştır.



Şekil 4.10: Duyarlılık analizi VIKOR sonuçları

TOPSIS yöntemi sonuçları incelendiğinde, ortaya çıkan değişiklikler Şekil 4.11'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde, anket katılımcılarının önem derecelerini belirlediği kriterler ile yapılan değerlendirme sonrasında A6 alternatifinin en iyi tercih olarak sıralamadaki yerini koruduğu gözlenmektedir. TOPSIS karar vericiye en iyi

alternatifi tek seçenek olarak sınırlanarak VIKOR'dan daha dar bir öngörüü karar vericilere sunmaktadır.



Şekil 4.11 : Duyarlılık analizi TOPSIS sonuçları

Duyarlılık analizinin ikinci kısmında gerçekleştirilen karşılaştırmalar sonucunda uzmanların ve ODTÜ katılımcılarının görüşleri karşılaştırılmıştır. ODTÜ katılımcıları park kapasitesi (C1) kriterinin değerlendirme üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğuna kanaat getirmiştir. Kampüste yaşanan kısıtlı park yeri sorunları bu tercih üzerinde etkili olmaktadır. Kampüs 5000'in üzerinde kayıtlı araç sayısına sahiptir. Bu araçlar kampüs yerleşkesinde park yeri sıkıntısı yaşanmasına neden olmaktadır. Kriter ağırlıkları incelendiğinde, uzman görüşleri sonrası etki sırasında 6. sırada yer alan ve 0,096 ağırlığa sahip olan trafik durumu (C3) kriteri anket katılımcılarının görüşleri ile 0,150 ağırlık değerini alarak en önemli 3. kriter haline gelmiştir. Bu iki kriterin katılımcıların gözünde sahip oldukları önem derecesi ODTÜ kampüsünde mevcutta var olan park yeri sıkıntısı ve trafik yoğunluğunun kararlarında önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ancak kriter ağırlıklarında meydana gelen bu değişimler sonrası Malzeme ve Metalurji Mühendisliği otoparkı ideale en yakın alternatif olarak güvenilirliğini korumaktadır.



## SONUÇLAR

Elektrikli araçlar; düşük karbon salınımları, yaşam döngüsü ve bakım maliyetlerindeki düşük seviyeler ile gün geçtikçe sürücülerin ilgisini daha çok çekmektedir. Ülkemizde artan sayılara ve yakın geleceğe dönük tahminlere karşın yürütülen politikalar değerlendirildiğinde; bu artışın altyapılarda gerçekleştirilmesi gereken iyileştirme ve güçlendirilmeler ile karşılanması gerekliliği öne çıkmaktadır. Kısıtlı menzile sahip elektrikli araçların şarj talebini etkin şekilde karşılayabilecek altyapıların hazır hale getirilmesi bu konudaki en önemli husustur. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın mevcut yol haritalarında elektrikli araçların gelişimi ve yaygın hale gelebilmesi için şarj altyapısının kurulması kritik bir ihtiyaç olarak vurgulanmaktadır. Çalışmamız bu alanda yapılacak yatırımlar ve gerekli altyapının kurulması için ODTÜ Ankara yerleşkesindeki seçilen 8 otoparkın farklı kriterler kullanılarak değerlendirilmesini kapsamaktadır. Otoparklara ait veriler kullanılarak, şarj istasyonlarının kurulumu için en uygun lokasyon seçiminin yapılması konusunda çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmamızda 4 ana kriter altında toplanmış 10 alt kriter; 8 alternatifin değerlendirilme sürecinde ve problemin çözümünde kullanılmıştır. Sonuçlara AHP ile entegre TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile ulaşılmış ve çıktılarının karar vericilerin gelecekteki yatırım kararlarında öngörü oluşturması hedefi gerçekleştirilmiştir. ODTÜ Ankara kampüsünde yapılmış olan çalışma sonucunda Malzeme ve Metalurji Mühendisliği otoparkının şarj altyapısı kurulumu için yatırım önceliğine sahip olması gerektiği öngörülmektedir. Araç kullanıcılarının menzil kaygılarını giderebilecek etkin ve verimli altyapıların kurulumu için yönetimlerin gerçekleştireceği proje ve planlamalarda alınacak kararlara, bilimsel metodolojiler ve araştırmalar ile ulaşılmalıdır. Gelecekteki talebin karşılanabilmesi ve hazırlıksız yakalanmamak adına şarj istasyonu altyapısı ile ilgili yatırımlar arttırılmalıdır. Bu çalışmanın devamında elektrikli araç şarj istasyonları ve yakıt hücreli araçlar için hidrojen dolum istasyonlarının yerleşim probleminin bir arada ele alınması hedeflenmektedir.





## KAYNAKLAR

- Altıntaşı, O.**, (2013), Assessment of scenarios for sustainable transportation at METU Campus, *A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University*.
- Å.L. Sørensen, K.B. Lindberg, I. Sartori, I. Andresen**, (2021), Analysis of residential EV energy flexibility potential based on real-world charging reports and smart meter data, *Energy and Buildings*, Volume 241.
- Birleştirici, Ahmet; Şalçı, M.Serdar; Dikkulak, Aydın; Güler, Ferit; Turhan, Efe.** “Elektrikli Araç Şarj İstasyonları”, Gersan Elektrik Tic. ve San. A.Ş. [https://www.emo.org.tr/ekler/e05712f50f36d7c\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/e05712f50f36d7c_ek.pdf) internet adresinden 02.07.2019 tarihinde edinilmiştir.
- Brans, J. -P., Mareschal, B., Figueira J., Greco S., Ehrogott M.**, (2005), Promethee Methods, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Sf.163-186.
- BloombergNEF**, (2020). Electric Vehicle Outlook. *Bloomberg NEF*.  
<https://www.statkraft.com/globalassets/0/.com/newsroom/2020/new-energy-outlook-2020.pdf> internet adresinden 10.11.2020 tarihinde edinilmiştir.
- Caruso, Massimo & Livreri, P. & Miceli, Rosario & Viola, Fabio & Martino, M.** (2017). Ev charging station at university campus. 615-623.
- Chen SJ., Hwang CL.** (1992) Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. In: Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol 375. *Springer*, Berlin, Heidelberg.
- Deng, J.**, (1982). Control problems of grey systems. *Systems and Control Letters*, 1, Sf. 288–294.
- Diemuodeke, E.O., Addo, A., Oko, C.O.C., Mulugetta, Y., Ojapah, M.M.**, (2018), Optimal Mapping Of Hybrid Renewable Energy Systems For Locations Using Multi-Criteria Decision-Making Algorithm, *Renewable Energy*, Sayı. 134, Sf. 461-477.
- D'Zurilla, T. J., Goldfried, M. R.**, (1971), Problem Solving and Behavior Modification, *Journal of Abnormal Psychology*, Cilt 78, sayı 1, Sf.107-126.
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E., Çetinkaya, C.**, (2017), Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations: A GIS-Based Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis, *Energy*, Sayı 163.

- Erol Genevois, M., Hatice, K.,** (2018), Locating Electric Vehicle Charging Stations In İstanbul With Ahp Based Mathematical Modelling, *International Journal of Transportation Systems*, Sayı. 3.
- Feng, C., Zhou, B., Lin, N., Li, Y., Xia, Y.,** (2012), Application of comprehensive evaluation method integrating Delphi and GAHP in optimal siting of electric vehicle charging station, *Electric Power Automation Equipment*. Cilt. 32, sayı 9, Sf. 25-29.
- Figueira, J. R., Greco, S., Ehrgott, M., José, Rui (Eds).,** (2005)., Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, *Springer*, Boston.
- Genel, V.,** (2020) Parking management in smart built environment: evaluation of METU Campus, *A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University*.
- Guo, S. , Zhao, H.,** (2015), Optimal Site Selection Of Electric Vehicle Charging Station By Using Fuzzy TOPSIS Based On Sustainability Perspective., *Applied Energy*, Cilt 158, Sf. 390-402.
- Hosseini, S., Sarder, MD,** (2019), Development Of A Bayesian Network Model For Optimal Site Selection Of Electric Vehicle Charging Station, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Sayı 105, Sf. 110-122.
- Hwang, C.L., Yoon, K. ,** (1981) , Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications., New York. *Springer-Verlag*.
- Janjic, A., Velimirovic, L., Stankovic, M., Dzunic, Z., Ranitovic, J.,** (2017), Multi-criteria decision methodology for the optimization of public electric vehicle charging infrastructure, The Sixth International Conference Transport and Logistics, Alexandria, Egypt, 19-21 Mart.
- Jia, L., Hu, Z., Song, Y., Luo, Z.,** (2012) Optimal siting and sizing of electric vehicle charging stations, *Electric Vehicle Conference (IEVC), IEEE International* , Greenville, SC, United States, 4-8 Mart.
- Kaya, Ö, Tortum, A., Alemdar, KD., Çodur, MY.,** (2020) Site selection for EVCS in İstanbul by GIS and multi-criteria decision-making, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, sayı 80.
- Kuo, Y., Taho, Y., Huang, G. W.,** (2008), The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems, *Computers & Industrial Engineering*, Cilt 55, sayı 1, Sf. 80–93.
- LeasePlan,** (2019). Mobilite Monitörü Elektrikli Araçlar ve Sürdürülebilirlik, <https://www.leaseplan.com/-/media/leaseplandigital/tr/images/mobility-monitor-2019/lp-mobility-monitor.pdf> internet adresinden 21.12.2019 tarihinde edinilmiştir.
- Lia, C., Negnevitskya, M., Wang X, Yueb, W. L., Zouc, X.,** (2019), Multi-Criteria Analysis Of Policies For Implementing Clean Energy Vehicles In China, *Energy Policy*, Cilt.129, Sf. 826-840.

**Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W. et al.** (2020), Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nat. Clim. Chang.* 10, 647–653.

**Liu, A., Zhao, Y., Meng, X., Zhang, Y.,** (2020), A three-phase fuzzy multi-criteria decision model for the charging station location of the sharing electric vehicle , *International Journal of Production Economics*, sayı 225(C).

**Liu, H. -C., Yang, M., Zhou, M. C., Tian, G.,** (2018), An Integrated Multi-Criteria Decision Making Approach to Location Planning of Electric Vehicle Charging Stations, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.* Cilt. 20, Sayı. 1, Sf. 362-373.

**Liu, J., Wei, Q.,** (2018), Risk Evaluation Of Electric Vehicle Charging Infrastructure Public-Private Partnership Projects In China Using Fuzzy TOPSIS, *Journal of Cleaner Production*, Cilt. 189, Sf. 211-222.

**Miguel F. Anjos, Bernard Gendron, Martim Joyce-Moniz,** (2020), Increasing electric vehicle adoption through the optimal deployment of fast-charging stations for local and long-distance travel, *European Journal of Operational Research*,, Volume 285, Issue 1, Pages 263-278,

**Naz, Mürşithan; Cihangir, Sedat,** (2019) “Dünya’da ve Türkiye’de Elektrikli Araçlar ve Şarj İstasyonları Üzerine Son Gelişmeler”, *Bitirme Tezi*, Gümüşhane Üniversitesi,

**ODTÜ** **2018-2022** **Stratejik** **Planı,**  
[http://sp.metu.edu.tr/system/files/odtu\\_sp\\_2018\\_2022\\_27112017.pdf](http://sp.metu.edu.tr/system/files/odtu_sp_2018_2022_27112017.pdf)  
internet adresinden 09.02.2019 tarihinde edinilmiştir.

**Opricovic, S., Tzeng, G.-H.,** (2004), Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research* , sayı 156 ,Sf. 445–455.

**Opricovic, S., Tzeng, G.-H.,** (2007), Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, Vol. 178(2), Sf. 514 – 529.

**Raposo, J., Rodrigues, A., Silva, C., Dentinho, T.,** (2015), A Multi-Criteria Decision Aid Methodology to Design Electric Vehicles Public Charging Networks, *AIP Advances*, Sayı 5.

**REN21,** (2021). Şehirlerde Yenilenebilirler, Küresel Durum Raporu,  
[https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REC\\_2021\\_full-report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REC_2021_full-report_en.pdf) internet adresinden 15.04.2021 tarihinde edinilmiştir.

**Rouyendegh (B. Erdebilli) Babak Daneshvar; Dogru, Cem Isik; Aybirdı, Canan Basak,** (2019) A Comparison of Different Multi-Criteria Analyses for Electric Vehicle Charging Station Deployment. *Communications in Mathematics and Applications*, Vol:10, p. 145 – 158.

**BD Rouyendegh (B. Erdebilli),** (2014), Developing an integrated AHP and intuitionistic fuzzy TOPSIS methodology, *Technical Gazette*, Volume 21, Pages 1313-1319.

- BD Rouyendegh, A Yildizbasi, P Üstünyer,** (2019), Intuitionistic Fuzzy TOPSIS method for green supplier selection problem, *Soft Computing*, Pages 1-14.
- Rouyendegh (B. Erdebilli) Babak Daneshvar,** (2018), Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS in Site Selection of Wind Power Plants in Turkey, *Advances in Fuzzy Systems*, Volume 2018.
- Saaty, T.L.,** (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. *New York: McGraw* 28.
- Saaty, T.L.** (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T.L.,** (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.*, Cilt 1, sayı 1, Sf. 83–98.
- Shekhovtsov, Andrii; Sałabun, Wojciech,**(2020), A comparative case study of the VIKOR and TOPSIS rankings similarity, *Procedia Computer Science*, Volume 176, Pages 3730-3740,
- Shengyin Li, Yongxi Huang, and Scott J Mason,** (2016), A Multi-Period Optimization Model For The Deployment Of Public Electric Vehicle Charging Stations On Network, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Sayı 65, Sf. 128-143.
- SHURA,** (2019). Elektrikli Araçların Türkiye Dağıtım Şebekesine Etkileri, *SHURA*.  
<https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/10/Turkiye-ulaştırma-sektorunun-donusumu-Elektrikli-araclarin-Turkiye-dagitim-sebekesine-etkileri.pdf> internet adresinden 07.01.2020 tarihinde edinilmiştir.
- Subramanian, N., Ramanathan, R.,** (2012), A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management, *International Journal of Production Economics*, , Sayı 138, Sf.. 215-241.
- Şenlik, İrfan,** (2015), 19. Yüzyılda İcat Edilen Elektrikli Araçlar, 21.Yüzyıl'ın Taşıtı Olma Yolunda... Uyuyan Devrim: Elektrikli Araçlar, *Elektrik Mühendisliği*, sayı 455.
- Tzeng, G.-H., Lin C.-W., Opricovic S.,** Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*, Cilt 33, sayı 11, Sf. 1373 – 1383.
- U.S. Department of Energy,** (2019), Multi-Unit Dwelling Procurement Case Study: Green Rock Apartments, *Case Studies*.  
<https://afdc.energy.gov/case/3081> internet adresinden 15.09.2019 tarihinde edinilmiştir.

- Vaidya, O., Kumar, S.,** (2006), Analytic hierarchy process: An overview of Applications, *European Journal of operational research*. Sayı 169, Sf.1-29.
- Velasquez, M., Hester, P. T.,** (2013), An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods, *International Journal of Operations Research*, Cilt. 10, sayı. 2, Sf. 56–66.
- Yağcıtekin, B., Uzunoğlu, M., Karakaş, A.,** (2016), A new deployment method for electric vehicle charging infrastructure, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. Cilt 24, sayı 3, Sf. 1292-1305.
- Yunna Wu, Meng Yang, Haobo Zhang, Kaifeng Chen, and Yang Wang,** (2016), . Optimal Site Selection Of Electric Vehicle Charging Stations Based On A Cloud Model And The Promethee Method, *Energies*,, Cilt 9, sayı 3, Sf. 157.
- Zadeh, L.A.,** (2016), Stratification, target set reachability and incremental enlargement principle, *Inf. Sci.* 354 131–139.
- Zen, Irina & Subramaniam, Deivendran & Sulaiman, Hanizam & Saleh, Abd Latif & Omar, Wahid & Salim, Mohd.** (2016). Institutionalize waste minimization governance towards campus sustainability: A case study of Green Office initiatives in Universiti Teknologi Malaysia. *Journal of Cleaner Production*. 135.
- Zhang, L., Zhao, Z., Yang, M., Li, S.,** (2020), Multi-Criteria Decision Method For Performance Evaluation Of Public Charging Service Quality, *Energy*, Cilt.195.
- Zhoua, J., Wua, Y., Wua, C., Hea, F., Zhanga, B., Liua, F.,** (2020), A geographical information system based multi-criteria decision-making approach for location analysis and evaluation of urban photovoltaic charging station: case study in Beijing , *Energy Conversion and Management*, Cilt 205.
- 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*, Cilt 9, sayı 4, sayfa 270.
- Url-1**<<https://www.dunya.com/sirketler/esarj-istasyon-sayisi-500e-cikarilacak-haberi-615248>>, alındığı tarih:11.05.2021.
- Url-2**<<https://www.milliyet.com.tr/otomobil/sarj-altyapisi-icin-dev-isbirligine-gittiler-6152933>> alındığı tarih:08.06.2021.
- Url-3**<<https://www.ubitricity.com/shell-agrees-to-buy-ubitricity/>>, alındığı tarih:03.02.2021.
- Url-4**< <https://www.haberler.com/turkiye-de-elektrikli-araclar-ne-kadar-yaygin-kac-12832872-haberi/>>, alındığı tarih:04..03.2020.
- Url-5**< <https://zes.net/sarj-noktalari.html>>, alındığı tarih:04..03.2020.

**Url-6**<<https://www.advancedsciencenews.com/would-a-fossil-fuel-free-industrial-revolution-have-been-possible/>>, alındığı tarih:22..01.2020.

**Url-7**<<https://ev.hedefilo.com/elektrikli-arac-tarihcesi>>, alındığı tarih:17.06.2020.

**Url-8**<<https://www.fleeteurope.com/en/new-energies/europe/analysis/1300-street-lights-converted-ev-chargers-london?a=JMA06&t%5B0%5D=Siemens&t%5B1%5D=Ubitricity&t%5B2%5D=electric%20vehicle&t%5B3%5D=charging%20infrastructure&t%5B4%5D=London&curl=1>> alındığı tarih:17.06.2020.

**Url-9**<<https://www.nsenergybusiness.com/features/electric-vehicle-charging-innovations/>>, alındığı tarih:17.06.2021.

**Url-10**<<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/03/20210325-12.htm>>, alındığı tarih:08.04.2021.

**Url-11**< <https://www.statista.com/study/11578/electric-vehicles-statista-dossier/>>, alındığı tarih:08.09.2020.

**Url-12**< <https://www.tehad.org/2021/01/16/2020-yili-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-belli-oldu/>>, alındığı tarih:08.03.2021.

**Url-13**< **Url-12**< <https://www.ntv.com.tr/otomobil/bakan-varank-elektrikli-araclar-icin-sarj-altyapisi-yol-haritasi-hazirladik,pzGGPhsXIki93fyChbNiJQ>>, alındığı tarih:22.06.2021.



## EK.2: Anket Soruları

Soru 1.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Erişilebilirlik (C2) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak D5 hücresine giriniz.																			
Soru 2.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Trafik Durumu (C3) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak E5 hücresine giriniz.																			
Soru 3.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Kurulum Maliyeti (C4) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak F5 hücresine giriniz.																			
Soru 4.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti (C5) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak G5 hücresine giriniz.																			
Soru 5.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Araç Yoğunluğu (C6) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak H5 hücresine giriniz.																			
Soru 6.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Stiker İhlal Oranı (C7) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak I5 hücresine giriniz.																			
Soru 7.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak J5 hücresine giriniz.																			
Soru 8.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Ekipman Teknoloji Seviyesi (C9) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak K5 hücresine giriniz.																			
Soru 9.Lütfen Park Kapasitesi (C1) kriterini Talep Yanıtlama Yeteneği (C10) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak L5 hücresine giriniz.																			
Soru 10.Lütfen Erişilebilirlik (C2) kriterini Trafik Durumu (C3) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak E6 hücresine giriniz.																			
Soru 11.Lütfen Erişilebilirlik (C2) kriterini Kurulum Maliyeti (C4) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak F6 hücresine giriniz.																			





Soru 23.Lütfen Trafik Durumu (C3) kriterini Ekipman Teknoloji Seviyesi (C9) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak K7 hücresine giriniz.																							
Soru 24.Lütfen Trafik Durumu (C3) kriterini Talep Yanıtımlama Yeteneği (C10) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak L7 hücresine giriniz.																							
Soru 25.Kurulum Maliyeti (C4) kriterini Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti (C5) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak G8 hücresine giriniz.																							
Soru 26.Lütfen Kurulum Maliyeti (C4) kriterini Araç Yoğunluğu (C6) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak H8 hücresine giriniz.																							
Soru 27.Lütfen Kurulum Maliyeti (C4) kriterini Stiker İhlal Oranı (C7) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak I8 hücresine giriniz.																							
Soru 28.Lütfen Kurulum Maliyeti (C4) Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak J8 hücresine giriniz.																							
Soru 29.Lütfen Kurulum Maliyeti (C4) kriterini Ekipman Teknoloji Seviyesi (C9) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak K8 hücresine giriniz.																							
Soru 30.Lütfen Kurulum Maliyeti (C4) kriterini Talep Yanıtımlama Yeteneği (C10) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak L8 hücresine giriniz.																							
Soru 31.Lütfen Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti (C5) kriterini Araç Yoğunluğu (C6) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak H9 hücresine giriniz.																							
Soru 27.Lütfen Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti (C5) kriterini Stiker İhlal Oranı (C7) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak I9 hücresine giriniz.																							
Soru 28.Lütfen Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti (C5) Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak J9 hücresine giriniz.																							

Soru 30.Lütfen Yıllık Operasyon ve Bakım Maliyeti (C5) kriterini Talep Yanıtlama Yeteneği (C10) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak L9 hücresine giriniz.													
Soru 31.Lütfen Araç Yoğunluğu (C6) kriterini Stiker İhlal Oranı (C7) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak I10 hücresine giriniz.													
Soru 32.Lütfen Yıllık Araç Yoğunluğu (C6) Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak J10 hücresine giriniz.													
Soru 33.Lütfen Araç Yoğunluğu (C6) kriterini Ekipman Teknoloji Seviyesi (C9) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak K10 hücresine giriniz.													
Soru 34.Lütfen Araç Yoğunluğu (C6) kriterini Talep Yanıtlama Yeteneği (C10) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak L10 hücresine giriniz.													
Soru 35.Lütfen Yıllık Stiker İhlal Oranı (C7) kriterini Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak J11 hücresine giriniz.													
Soru 36.Lütfen Stiker İhlal Oranı (C7) kriterini Ekipman Teknoloji Seviyesi (C9) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak K11 hücresine giriniz.													
Soru 37.Lütfen Stiker İhlal Oranı (C7) kriterini Talep Yanıtlama Yeteneği (C10) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak L11 hücresine giriniz.													
Soru 38.Lütfen Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8) kriterini Ekipman Teknoloji Seviyesi (C9) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak K12 hücresine giriniz.													
Soru 39.Park Yapılmaz İhlal Oranı (C8) kriterini Talep Yanıtlama Yeteneği (C10) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak L12 hücresine giriniz.													
Soru 40.Ekipman Teknoloji Seviyesi (C9) kriterini Talep Yanıtlama Yeteneği (C10) kriterine kıyasla ne kadar önemli bulunduğunuzu belirtin. Cevabınızı önem dereceleri tablosunu dikkate alarak L13 hücresine giriniz.													

## EK.2.: ANKET VERİLERİ

**Goal of the interview:** We aim to determine the importance levels of obtained criteria to select the best location for EV Charging Stations in METU Campus. We kindly request you to make the pairwise comparisons by following the below mentioned instructions. (All answers will be used for academic purposes only.)

	Parking Space	Accessibility	Traffic	Installation Cost	Operation and Maintenance Cost	Parking Occupancy	Sticker Violation	No-Parking Violations	Technological Readiness Level	Demand Response Capability
Parking Space	1									
Accessibility	1/2	1								
Traffic	1/2	1	1							
Installation Cost	2	2	2	1						
Operation and Maintenance Cost	2	2	2	1	1					
Parking Occupancy	2	2	2	2	2	1				
Sticker Violation	3	3	3	3	3	3	1			
No-Parking Violations	2	2	2	2	2	2	1/4	1		
Technological Readiness Level	1	1	1	1/2	1/3	1/3	1/2	1	1	
Demand Response Capability	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1

For each comparison, decide which is the more important and select the appropriate weighting:



Note: You only need to complete half the matrix; the second half (reciprocal) of the matrix is automatically completed.

Please mark the best fitted answer for you.

1. How do you related with the METU Campus?  
 Academic Staff   
 Student   
 Administrative Staff   
 Other

2. Do you own a registered car in the METU Campus?  
 Yes  No

3. Do you planning to buy an EV in near future?  
 Yes  No

04.07.2021

**Goal of the interview:** We aim to determine the importance levels of obtained criteria to select the best location for EV Charging Stations in METU Campus. We kindly request you to make the pairwise comparisons by following the below mentioned instructions. (All answers will be used for academic purposes only.)

	Parking Space	Accessibility	Traffic	Installation Cost	Operation and Maintenance Cost	Parking Occupancy	Sticker Violation	No-Parking Violations	Technological Readiness Level	Demand Response Capability
Parking Space	1	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-6-	-9-	-7-
Accessibility		1	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-9-	-3-
Traffic			1	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-5-	-3-
Installation Cost				1	-3-	-6-	-2-	-2-	-4-	-5-
Operation and Maintenance Cost					1	-3-	-2-	-2-	-3-	-4-
Parking Occupancy						1	-4-	-1-	-3-	-3-
Sticker Violation							1	-3-	-2-	-2-
No-Parking Violations								1	-2-	-2-
Technological Readiness Level									1	-1-
Demand Response Capability										1

For each comparison, decide which is the more important and select the appropriate weighting.



Note: You only need to complete half the matrix; the second half (reciprocal) of the matrix is automatically completed

13.05.2011

Please mark the best fitted answer for you.

1. How do you related with the METU Campus?  
 Academic Staff  
 Student  
 Administrative Staff  
 Other

2. Do you own a registered car in the METU Campus?  
 Yes  
 No

3. Do you planning to buy an EV in near future?  
 Yes  
 No

**Goal of the interview:** We aim to determine the importance levels of obtained criteria to select the best location for EV Charging Stations in METU Campus. We kindly request you to make the pairwise comparisons by following the below mentioned instructions. (All answers will be used for academic purposes only.)

	Parking Space	Accessibility	Traffic	Installation Cost	Operation and Maintenance Cost	Parking Occupancy	Sticker Violation	No-Parking Violations	Technological Readiness Level	Demand Response Capability
Parking Space	1									
Accessibility	1/2	1								
Traffic	1/2	1/2	1							
Installation Cost	1/2	1/2	1/2	1						
Operation and Maintenance Cost	1/3	1/3	1/3	1/3	1					
Parking	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2	1				
Occupancy	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1			
Sticker Violation	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1			
No-Parking Violations	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1		
Technological Readiness Level	1/6	1/6	1/6	1/6	1/5	1/5	1/5	1/2	1	
Demand Response Capability	1/8	1/8	1/8	1/8	1/5	1/5	1/5	1/5	1/2	1

**For each comparison, decide which is the more important and select the appropriate weighting:**



Note: You only need to complete half the matrix, the second half (reciprocal) of the matrix is automatically completed

**Please mark the best fitted answer for you.**

1. How do you related with the METU Campus?  
 Academic Staff   
 Student   
 Administrative Staff   
 Other

2. Do you own a registered car in the METU Campus?  
 Yes  No

3. Do you planning to buy an EV in near future?  
 Yes  No

18.06.2021

**Goal of the interview:** We aim to determine the importance levels of obtained criteria to select the best location for EV Charging Stations in METU Campus. We kindly request you to make the pairwise comparisons by following the below mentioned instructions. (All answers will be used for academic purposes only.)

	Parking Space	Accessibility	Traffic	Installation Cost	Operation and Maintenance Cost	Parking Occupancy	Sticker Violation	No-Parking Violations	Technological Readiness Level	Demand Response Capability
Parking Space	1									
Accessibility	1/2	1								
Traffic	1/2	1/2	1							
Installation Cost	1/3	1/3	1/3	1						
Operation and Maintenance Cost	1/3	1/3	1/3	1/3	1					
Parking Occupancy	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1				
Sticker Violation	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1			
No-Parking Violations	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1		
Technological Readiness Level	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	
Demand Response Capability	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1

For each comparison, decide which is the more important and select the appropriate weighting.



Note: You only need to complete half the matrix; the second half (reciprocal) of the matrix is automatically completed

0810512021

Please mark the best fitted answer for you.  
 1. How do you related with the METU Campus?  
 Academic Staff  
 Student  
 Administrative Staff  
 Other

2. Do you own a registered car in the METU Campus?  
 Yes  
 No

3. Do you planning to buy an EV in near future?  
 Yes  
 No

**Goal of the interview:** We aim to determine the importance levels of obtained criteria to select the best location for EV Charging Stations in METU Campus. We kindly request you to make the pairwise comparisons by following the below mentioned instructions. (All answers will be used for academic purposes only.)

	Parking Space	Accessibility	Traffic	Installation Cost	Operation and Maintenance Cost	Parking Occupancy	Sticker Violation	No-Parking Violations	Technological Readiness Level	Demand Response Capability
Parking Space	1	1/4	1/3	2	2	3	4	6	7	9
Accessibility	4	1	1/3	1	2	2	4	3	7	9
Traffic	3	3	1	1	1	3	2	3	4	5
Installation Cost				1	1	4	1	2	4	5
Operation and Maintenance Cost					1	1	1/2	2	2	4
Parking Occupancy						1	1	1	2	3
Sticker Violation							1	1	2	2
No-Parking Violations								1	1	2
Technological Readiness Level									1	1
Demand Response Capability										1

For each comparison, decide which is the more important and select the appropriate weighting:



Note: You only need to complete half the matrix, the second half (reciprocal) of the matrix is automatically completed

02.07.2021

**Please mark the best fitted answer for you.**  
 1. How do you related with the METU Campus?  
 Academic Staff  
 Student  
 Administrative Staff  
 Other

2. Do you own a registered car in the METU Campus?  
 Yes  
 No

3. Do you planning to buy an EV in near future?  
 Yes  
 No