

## **Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması: Sakarya İli Örneği**

Location Selection of Electric Vehicle Charging Stations Using the Fuzzy AHP Method: The Case of Sakarya Province

Buse DEMİRALAY<sup>1</sup>, Enes Furkan ERKAN<sup>2\*</sup>

### **Öz**

Elektrikli araçların artan popülaritesi ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, şarj istasyonlarının stratejik yerleşimi önemli bir konu haline gelmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonları, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak çevre dostu ulaşımı destekleyen altyapının temel bileşenlerinden biridir. Elektrikli araç kullanımının artmasıyla birlikte bu istasyonlar, sürdürülebilir şehirler ve temiz enerji dönüşümü açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Bu çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması amacıyla bir uygunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu tür analizler, kullanıcıların şarj ihtiyaçlarını karşılayarak elektrikli araçların benimsenmesini teşvik etmekte ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Analiz sürecinde nüfus yoğunluğu, ana yollara yakınlık, arazi değeri, alışveriş merkezlerine yakınlık, ulaşım istasyonlarına yakınlık ve akaryakıt istasyonlarına yakınlık gibi kriterler dikkate alınmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, her bir faktörün göreceli önemini yansıtmak amacıyla Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen ağırlıklar, Coğrafi Bilgi Sistemleri aracılığıyla oluşturulan tematik haritalarla birleştirilerek bölgelerin uygunluk seviyelerini gösteren bir uygunluk haritası oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda Sakarya ilindeki farklı bölgelerin elektrikli araç şarj istasyonları açısından uygunluk düzeyleri belirlenmiştir. Özellikle Serdivan ilçesi, yüksek nüfus yoğunluğu ve ana yollara yakınlığı nedeniyle %98,2 uygunluk değeriyle en uygun bölge olarak öne çıkmıştır. Bulgular, şehir planlamasında veri temelli karar verme süreçlerinin önemini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık AHP, Elektrikli araç şarj istasyonu, QGIS.

### **Abstract**

With the increasing popularity of electric vehicles and the growing emphasis on environmental sustainability, the strategic placement of charging stations has become an important issue. Electric vehicle charging stations represent a key component of infrastructure that supports environmentally friendly transportation by reducing dependence on fossil fuels. As the use of electric vehicles expands, these stations play a critical role in developing sustainable cities and enabling the transition to clean energy. This study conducts a suitability analysis to identify appropriate locations for electric vehicle charging stations. Such analyses facilitate the adoption of electric vehicles by addressing users' charging needs and supporting the broader implementation of sustainable transportation solutions. In the analysis, several criteria were considered, including population density, proximity to main roads, land value, proximity to shopping centers, proximity to transportation hubs, and proximity to gas stations. The Fuzzy Analytic Hierarchy Process was applied to determine the weights of the criteria by reflecting the relative importance of each factor. The resulting weights were integrated with thematic maps generated through Geographic Information Systems to produce a suitability map representing the suitability levels of different regions. The results show that the Serdivan district in Sakarya province is the most suitable location, with a suitability score of 98.2%. These findings highlight the importance of data-driven decision-making in urban planning.

**Keywords:** Fuzzy AHP, Electric vehicle charging station, QGIS.

<sup>1,2</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: [eneserkan@sakarya.edu.tr](mailto:eneserkan@sakarya.edu.tr)

## 1. Giriş

Elektrikli otomobiller, 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarında piyasaya sürülmüş ve o dönemde olumlu bir ivme yakalamıştır. Ancak, ilerleyen süreçte içten yanmalı motor teknolojisindeki ilerlemeler, seri üretimin yaygınlaşması ve petrolün daha erişilebilir hale gelmesiyle birlikte elektrikli araçlara olan ilgi azalmıştır (Chan, 2013). 1970'li yılların başında ve sonrasında yaşanan enerji krizleri, elektrikli araçların geçici bir süreliğine yeniden gündeme gelmesine neden olmuştur. Elektrikli otomobiller, 2000'li yıllara kadar yalnızca sınırlı bir kullanıcı kitlesi tarafından tercih edilmiştir. 2008 yılından itibaren batarya teknolojisi ve diğer elektrikli araç bileşenlerinde yaşanan teknolojik ilerlemeler, bu araçların kitlesel pazara sunulmasının önünü açmıştır. 2014 yılından sonra ise satışlar hız kazanmaya başlamıştır. Küresel ölçekte elektrikli araç satışları, 2014 ile 2019 yılları arasında %46 ile %69 arasında değişen büyüme oranlarıyla dikkat çekmiştir. Avrupa'daki otomobil satışlarına bakıldığında, 2020 yılının ilk üç çeyreğinde toplam araç satışları bir önceki yılın aynı dönemine göre %29 düşerken, elektrikli araç satışları %65, şarj edilebilir hibrit araç satışları ise %179 artış göstermiştir. Bu durum, şarj edilebilir araç satışlarında toplamda %103'lük bir büyüme ile sonuçlanmıştır (International Energy Agency, 2020). Elektrikli araç satışlarındaki bu artışa paralel olarak, elektrikli otomobil sektörü de hızla büyümeye devam etmektedir (Nurmuhammed ve Karadağ, 2021).

Çin Elektrikli Araç Şarj Altyapısı Tanıtım İttifakı'nın verilerine göre, 2017 yılı sonunda ülke genelinde yaklaşık 450.000 şarj istasyonu bulunmaktadır. Şarj istasyonlarının stratejik ve uygun bir şekilde konumlandırılması, yatırım yapanlara maksimum fayda sağlamaktadır. Bu nedenle, elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi ve şarj ünitelerinin doğru bir şekilde dağıtılması hem şarj istasyonlarının yatırım maliyetlerini hem de işletme sürecindeki gelir düzeyini doğrudan etkilemektedir (Ren ve ark., 2019).

Elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşması, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Ancak, elektrikli araçların benimsenmesindeki en büyük engellerden biri, yeterli ve erişilebilir şarj altyapısının eksikliğidir. Bu durum, kullanıcıların menzil kaygısını arttırmakta ve elektrikli araçlara olan talebi sınırlamaktadır. Bu nedenle, elektrikli araç şarj istasyonlarının stratejik bir şekilde konumlandırılması hem kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak hem de bu teknolojinin benimsenmesini hızlandırmak için kritik bir gerekliliktir.

Bu bağlamda, Sakarya'da elektrikli araç şarj istasyonlarının doğru yerlere konumlandırılması hem kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak hem de ekonomik ve lojistik açıdan verimli bir altyapı oluşturmak için büyük bir gerekliliktir. Çalışmada, nüfus yoğunluğu, ulaşım istasyonlarına yakınlık, yollara yakınlık, arazi değeri ve mevcut akaryakıt istasyonlarına yakınlık gibi kriterler dikkate alınarak, çok kriterli karar verme yöntemleriyle en uygun yerlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması, çok sayıda ve çoğu zaman birbiriyle çelişen kriterlerin değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir karar verme problemidir. Bu tür belirsizliklerin ve öznel yargıların etkili bir şekilde ele alınabilmesi için, Bulanık AHP ve TOPSIS gibi çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin bir arada kullanılması literatürde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bulanık AHP yöntemi, karar vericilerin öznel yargılarını bulanık mantık çerçevesinde sayısal değerlere dönüştürerek, kriter ağırlıklarının daha gerçekçi ve esnek bir şekilde belirlenmesini sağlar. Özellikle belirsizlik içeren karar ortamlarında, bu yöntem karar vericilerin değerlendirmelerini daha etkin bir şekilde yansıtmaktadır. TOPSIS yöntemi ise, belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda alternatifleri ideal çözüme olan yakınlıklarına göre sıralayarak, en uygun alternatifin seçilmesine yardımcı olmaktadır (Aljanabi ve ark, 2024).

İkinci bölümde, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılmasına yönelik literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan veri seti, kriterler ve Bulanık AHP yöntemi detaylı biçimde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, analiz sonuçları sunulmuş; bulgular istatistiksel veriler ışığında tartışılmıştır. Beşinci ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Literatür Araştırması

Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması, sürdürülebilir ulaşım altyapısının geliştirilmesi açısından son yıllarda birçok araştırmanın odağında yer almıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda genellikle çok kriterli karar verme yöntemleri ve coğrafi bilgi sistemleri etkileşimli kullanılarak uygun lokasyonların belirlenmesi hedeflenmiştir. Literatürde, özellikle Bulanık AHP gibi belirsizlik içeren karar ortamlarını modelleyen yöntemlerin, karar verici görüşlerini daha etkin şekilde yansıttığı görülmektedir.

Soczowka ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada Gliwice'de elektrikli araç şarj istasyonları için en uygun yerin konumlarını belirlemek amacıyla, inşa edilmiş çevre nesnelere ve mekansal dağılım gereksinimlerini dikkate alan bir model geliştirmişlerdir. Model, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılmasında konut, toplu taşıma ve kamu hizmetleri gibi üç ana nesne grubunu analiz etmiş ve eşit erişim sağlamak için temel alanların mekansal dağılımını optimize etmiştir.

Ekmekçi ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada Kocaeli ilinde elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleşimini iyileştirmek için bir prototip model geliştirmişlerdir. Kullanıcı anketleri, veri analizi ve K-means algoritması kullanarak uygun noktaları belirlemiş, matematiksel modelle 50 aday nokta arasından kullanıcı sayısını maksimize edecek şekilde 9 noktaya şarj istasyonu kurulumunu planlamışlardır.

Efthymiou ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada Genetik Algoritma verilerine dayalı olarak optimum elektrikli araç şarj altyapısı dağıtımı için çözüm önermişlerdir. Selanik'te yapmış oldukları çalışmada, beklenen talebin %80'ini karşılamak için 15 şarj istasyonuna ihtiyaç olduğunu göstermişlerdir. Önerilen algoritmayı, geliştirilmiş bir araçta uygulamış ve düşük elektrikli araç kullanım oranları nedeniyle bu yaklaşımın diğer şehirlerde de uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Topal (2025), yaptığı çalışmada elektrikli araç kullanıcılarını mevcut şarj istasyonlarıyla eşleştiren ve dinamik fiyatlandırma ile şarj maliyetlerini optimize eden yenilikçi bir dijital platform önermiştir.

Gaydou ve ark. (2013) kentsel alanlarda akülü elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması için şarj ihtiyaçları ve kapsam analizine dayalı yenilikçi bir kademeli maksimum kapsama modeli önermişlerdir. Modeli, gerçek dünya senaryolarında test etmiş ve klasik modellerle karşılaştırıldığında daha yüksek şarj kapsamı ve nüfus kapsama oranı sağladığını göstermişlerdir.

Gong ve ark. (2019) paylaşımlı elektrikli araç (PUEV) şarj istasyonlarının konumlandırılmasıyla ilgili bir optimizasyon problemi tanımlamış ve talep noktası önceliği, kilometre, PUEV dağılımı ve talep noktası dağılımı gibi içsel değişkenlere odaklanmışlardır. Şarj frekanslarını ve paylaşımlı şarj seviyesini analiz etmek için bir NP modeli ve ajan tabanlı model geliştirmiş, Pekin'deki bir vaka çalışmasıyla modeli beş farklı senaryoda test etmişlerdir.

He ve ark. (2018) elektrikli araçlar için şarj istasyonlarının konumunu optimize etmek amacıyla iki seviyeli bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Üst seviye ile şarj istasyonlarının hizmet akışını maksimize ederken, alt seviye ile sürücülerin rota seçim davranışlarını modellemiştir. Modeli, tek seviyeli bir programa dönüştürerek etkinliği sayısal örneklerle doğrulamışlardır.

Zhou ve ark. (2022) İrlanda'da elektrikli araç şarj istasyonlarının optimum dağılımını belirlemek için toplam sosyal maliyet modeline dayalı bir genetik algoritma geliştirmiş ve 670 şarj istasyonunun en uygun yerlerini simüle etmişlerdir. Çalışmada, şarj istasyonu dağılımını etkileyen faktörleri analiz ederek, şarj talebine dayalı daha gerçekçi ve etkili bir altyapı planlaması için teorik bir temel sağlamışlardır.

Erbaş ve ark. (2018) elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması için çok kriterli bir karar verme yaklaşımı kullanmışlardır. Çevresel, ekonomik ve kentsel faktörleri içeren kriterler önce CBS ortamında analiz edilmiş, ardından kriter ağırlıkları Bulanık AHP ile belirlenmiş ve potansiyel alanlar TOPSIS yöntemiyle sıralanmıştır. Ankara verileriyle yapılan uygulama, yöntemin uygun şarj istasyonu bölgelerini belirlemede etkili olduğunu göstermiştir.

Bilgilioğlu (2022), Ankara'da yeni elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması için CBS ve BAHP yöntemlerini birlikte kullanarak uygun yerler belirlemiştir. Uzman görüşleriyle seçilen dokuz kriteri BAHP ile ağırlıklandırmış ve "ana yollara yakınlık" kriterini en önemli kriter olarak bulmuştur. Kriterlerin birleştirilmesiyle oluşturduğu uygunluk haritası, en uygun bölgelerin

merkez ilçelerde yoğunlaştığını göstermiştir. Bu haritaya göre yeni şarj istasyonu yerleri önermiş olup, çalışma sürdürülebilir kent planlaması açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

Güler ve ark. (2020), elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi için GIS teknikleri ile çok kriterli karar verme yöntemlerini entegre ederek uygun alanları belirlemişlerdir. Kriter ağırlıklarının yer seçimi sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği göstermiş ve TOPSIS ile alternatif istasyon alanları sıralamışlardır. Çalışma, GIS'in bu tür kentsel planlama kararlarında etkili bir karar destek aracı olduğunu ortaya koymuştur.

Karaşan ve ark. (2020), elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimini çok kriterli bir karar problemi olarak ele almış ve bu süreci yönetmek için sezgisel bulanık kümelere dayalı bir karar verme modeli (DEMATEL–AHP–TOPSIS) önermişlerdir. Önerilen modeli İstanbul için uygulayarak en uygun şarj istasyonu konumlarını belirlemişlerdir.

Bitencourt ve ark. (2021) elektrikli araç şarj istasyonlarının optimum konumlarını belirlemek için elektrik kayıplarını ve şarj bölgesi merkez sapmasını en aza indiren çok amaçlı bir metodoloji geliştirmişlerdir. Hiyerarşik kümeleme, EV penetrasyonu ve çok amaçlı optimizasyon tekniklerini kullanarak orta ve uzun vadeli planlama için en uygun şarj istasyonu yerleşimlerini analiz etmiş ve Pareto sınırları aracılığıyla çözümler sunmuşlardır.

Asnaz ve Özdemir. (2021) Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesini model olarak elektrikli araç şarj istasyonlarının optimal yerleşimi için FAHP, PROMETHEE ve SMART yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Anket verileriyle belirlenen şarj istasyonu ihtiyacı doğrultusunda, FAHP yöntemiyle daha dengeli, PROMETHEE ve SMART yöntemleriyle ise daha tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir.

Çıkan ve Çıkan. (2024), yaptıkları çalışmada elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) 200 baralı bir dağıtım hattına optimum şekilde konumlandırılması için üç farklı senaryo ve çeşitli yaklaşımlar kullanmışlardır. DTBO optimizasyon algoritması ile yapılan analiz sonucunda, EAŞİ'lerin optimal yerleşimiyle hattaki aktif güç kayıplarının %32 oranında azaldığı ve rastgele yerleşime kıyasla ekonomik ve elektriksel açıdan daha avantajlı sonuçlar elde edildiğini göstermişlerdir.

Dörtköşe ve ark. (2022) Sakarya ilinde elektrikli araç kullanımını desteklemek amacıyla şarj istasyonlarının optimum konumlandırılması ve yeterli sayıda istasyon belirlenmesi için çok amaçlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Trafik akışını maksimize edip kurulum maliyetlerini minimize eden model, dört şarj istasyonunun Adapazarı, Ferizli, Kaynarca ve Söğütlü ilçelerine kurulmasının en uygun çözüm olduğunu göstermiştir.

Önceki araştırmalar, elektrikli araç kullanıcılarının, şarj istasyonlarının varlığı sayesinde daha fazla güven duyduğunu, çünkü sınırlı menzile sahip bir araçla hedeflerine ulaşma konusunda daha az endişe yaşadıklarını ortaya koymuştur. Psikolojik açıdan bakıldığında, şarj istasyonlarının yüksek

görünürlüğe sahip alanlara yerleştirilmesi önemlidir. Ancak, bu tür alanlar her zaman şarj altyapısı sağlayıcıları için en kârlı bölgelerle örtüşmeyebilir ve bu nedenle genellikle göz ardı edilmektedir. Kullanıcı tercihlerini şarj istasyonlarının yerleşim planlamasına entegre etmeye yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Uygun bir şarj altyapısı, potansiyel elektrikli araç kullanıcılarının güvenini arttırarak, elektrikli araçların benimsenme oranını ve dolayısıyla şarj istasyonlarının kârlılığını olumlu yönde etkilemektedir (Eisel ve ark., 2015).

### 3. Materyal ve Metot

Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde belirsizlikleri dikkate alan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık AHP yöntemi tercih edilmiştir. Belirlenen kriterlere göre alternatiflerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi ise TOPSIS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Bulanık AHP

AHP yöntemi, karar vericilerin yargılarına dayanarak kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, kriterlerin çiftler halinde karşılaştırılmasını temel almaktadır ve hem nitel hem de nicel kriterlerin değerlendirilmesine imkan tanımaktadır. Belirsizliklerin yönetilmesi amacıyla, klasik AHP yöntemi bulanık kümeler teorisiyle geliştirilerek bulanık AHP yöntemi literatüre kazandırılmıştır (Bakır ve Atalık, 2021).  $M_g^1, M_g^2, \dots, M_g^m$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) için her bir  $M_g^j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ) üçgen bulanık sayı olup  $l, m, u$  parametrelerine sahiptir. Bu parametreler üyelik fonksiyonunda sırasıyla minimum olası değer, en olası değer ve maksimum olası değeri temsil eder. Yöntemin adımları aşağıdaki gibi verilmiştir (Chang, 1992):

Bulanık AHP yönteminde belirlenen kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılan bulanık ölçek Tablo 1’de verilmiştir. Kriterlere ait genel ikili karşılaştırma matrisi Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Değerlendirme Ölçütleri.

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar	Tersi
Eşit	(1,1,1)	(1,1,1)
Daha Önemli	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)
Çok Daha Önemli	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok Fazla Önemli	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Kesin Önemli	(7,9,11)	(1/11,1/9,1/7)

**Tablo 2.** Genel İkili Karşılaştırma Matrisi (Uluskan ve ark., 2022).

	Kriter 1	Kriter 2	...	Kriter k
Kriter 1	1	$x_1/x_2$	...	$x_1/x_k$
Kriter 2	$x_2/x_1$	1	...	$x_2/x_k$
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
Kriter n	$x_n/x_1$	$x_n/x_2$	...	1

1. Adım: Verilen bir  $K_i$  kriteri için bulanık sentetik derecenin değeri  $S_i$  Denklem (1)'deki gibi ifade edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \tag{1}$$

2.Adım:  $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$  ve  $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$  olmak üzere, iki üçgensel bulanık sayı verildiğinde,  $\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1$  eşitsizliğinin gerçekleşme derecesi Denklem (2)'de verilmiştir.

$$V = (\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) =_{y \geq x} \sup[\min(\mu_{\tilde{M}_1}(x), \mu_{\tilde{M}_2}(y))] \tag{2}$$

Daha ayrıntılı bir şekilde, iki bulanık sayının kıyaslanması Denklem (3) kullanılarak gerçekleştirilir.  $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$  ve  $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$  bulanık sayılar iken;

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \text{yükseklik}(\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, \text{ eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0, \text{ eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3}$$

3.Adım: Konveks bir bulanık sayının  $M_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ), olmak üzere  $k$  adet bulanık sayıdan daha büyük olma olasılığı Denklem (4)'te gösterilmiştir.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \tag{4}$$

Bu durumda  $S_j$ 'ler için aşağıdaki varsayımlar öne sürülmüştür.

$$k=1, 2, \dots, n: k \neq j \text{ için } d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \tag{5}$$

Sonrasında ağırlık vektörü  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  $n$  adet elemandan oluşacak şekilde Denklem (6)'deki gibi tanımlanır.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (6)$$

4.Adım: Normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen normalize edilmiş vektör  $W'$ 'nin bulanık bir sayı olmadığı ifade edilmektedir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \text{ ifade ile gösterilir} \quad (7)$$

Burada  $W$ , bulanık olmayan bir sayıyı temsil etmektedir (Ertuğrul ve Karakaşoğlu.,2010).

### 3.2. TOPSIS Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında yer alan TOPSIS yöntemi, Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir. TOPSIS yöntemi, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatifi belirlemeye dayanmaktadır (Hajiaghahi-Keshteli ve ark., 2023).

1. Adım: Hedefler saptanır ve değerlendirme ölçütleri belirlenir.

2. Adım: Karar matrisi Denklem (8)'deki gibi oluşturulur. Karar matrisinde, alternatifler dikey olarak sıralanır ve her alternatifin ilgili kriterlere göre sahip olduğu özellikler karşılığında listelenir.

$$D = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nk} \end{bmatrix} \quad (8)$$

3. Adım: Normalleştirilmiş karar matrisi hazırlanır. Karar matrisindeki kriterlere ait puanların karelerinin toplamının karekökü alınarak matris normalize edilir. Normalleştirme işlemi için Denklem (9) kullanılır. Normalizasyon işlemi sonucunda Denklem (10)'da gösterilen matris elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,k \quad (9)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nk} \end{bmatrix} \quad (10)$$

4. Adım: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulur. R matrisinde bulunan her eleman ilgili ağırlık ile çarpılarak Denklem (11)'da gösterilen matris elde edilir.

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1k} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{n1} & V_{n2} & \dots & V_{nk} \end{bmatrix} \quad (11)$$

5. Adım: Pozitif İdeal ( $A^*$ ) ve Negatif ideal ( $A^-$ ) çözümleri bulunur. Pozitif ideal çözüm, ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisindeki en yüksek performans değerlerinden oluşurken, negatif ideal çözüm en düşük performans değerlerinden meydana gelir. İdeal çözümler Denklem (12) ve (13) yardımıyla hesaplanır.  $I$  maksimizasyon  $J$  ise minimizasyon değerini ifade etmektedir.

$$A^- = \{(\min V_{ij} | j \in I), (\max V_{ij} | j \in J)\} \quad (12)$$

$$A^* = \{(\max V_{ij} | j \in I), (\min V_{ij} | j \in J)\} \quad (13)$$

6. Adım: Alternatifler arasındaki uzaklık hesaplanır. Her bir alternatifin pozitif ideal ve negatif ideal çözümden olan uzaklığı, Denklem (14) ve (15)'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (15)$$

7. Adım: İdeal çözüme göreli yakınlık belirlenir. Denklem (16) kullanılarak ideal çözüme olan göreli yakınlık yani  $C_i^*$  değeri hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (16)$$

8. Adım: Alternatifler  $C_i^*$  değerine göre sıralanır.  $C_i^*$  değeri büyük olan değer en iyi alternatif olarak kabul edilir (Oğuz, 2018).

#### 4. CBS Verileri ve Mekânsal Analiz

Bu çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması amacıyla gerçekleştirilen uygunluk analizi, QGIS 3.40.12 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Analizde kullanılan haritalar QGIS uygulamasındaki “OpenStreetMap” sekmesi üzerinden oluşturulmuştur. Çalışmada; nüfus yoğunluğu, ana yollara yakınlık, alışveriş merkezlerine yakınlık, ulaşım istasyonlarına yakınlık, arazi değeri ve yakıt istasyonlarına yakınlık kriterleri dikkate alınmıştır.

Veriler, farklı kurumsal ve açık kaynaklardan temin edilmiş olup, tüm veriler WGS84 (EPSG:4326) koordinat sistemine dönüştürülmüş ve aynı mekânsal çözünürlükte (yaklaşık 30 metre) raster formata getirilmiştir. Raster çözünürlüğü, QGIS ortamında yapılan rasterleştirme ve yeniden örnekleme işlemleri sırasında belirlenmiş olup, analizde tüm kriter katmanları eşit piksel boyutuna sahip olacak şekilde hizalanmıştır.

Yakınlık analizleri, her kriterin mekânsal etkisini ortaya koymak amacıyla öklidyen uzaklık yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemle, belirli bir nesneye (örneğin ana yol, AVM, ulaşım veya yakıt istasyonu) olan doğrusal mesafeler hesaplanmıştır.

Tüm kriter rasterları, ortak ölçek oluşturmak amacıyla Min–Max normalizasyon yöntemi kullanılarak 0–1 aralığına dönüştürülmüştür. Normalizasyon işlemi Denklem (17)’de verilen formül yardımıyla gerçekleştirilmiştir:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (17)$$

Elde edilen normalleştirilmiş kriterler, Bulanık AHP yöntemiyle belirlenen ağırlık değerleri ile çarpılarak QGIS ortamında Raster Calculator aracı kullanılarak birleştirilmiştir. Böylece her pikselin uygunluk düzeyini gösteren nihai uygunluk haritası oluşturulmuştur.

#### 5. Bulgular ve Tartışma

Elektrikli araç kullanımının hızla artmasıyla birlikte, bu araçların şarj altyapısının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde planlanması büyük önem kazanmıştır. Bu doğrultuda yürütülen bu çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının optimum konumlandırılmasına yönelik kapsamlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, literatürde yer alan güncel araştırmaların ve alanında uzman kişilerin görüşlerinin sistematik bir şekilde incelenmesiyle, konumlandırma kararlarını etkileyen temel kriterler belirlenmiştir. Elde edilen kriterler hem kullanıcı ihtiyaçlarını hem de şehir planlama ve altyapı gereksinimlerini dikkate alacak şekilde yapılandırılmış ve uygulama

modeline entegre edilmiştir. Bu kriterler ve her biri için açıklayıcı bilgiler Tablo 3'te verilmektedir. Bu aşama, modelin karar verme sürecine bir temel oluşturmuştur.

**Tablo 3.** Şarj İstasyonlarının Konumlandırılmasında Etkili Olan Kriterler.

Kriter	Açıklama
Nüfus Yoğunluğu (K1)	Elektrikli araç kullanıcılarının sayısı, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde artış gösterir, bu da şarj istasyonlarına olan ihtiyacın yükselmesine neden olur (Soczówka ve ark, 2024).
Ana Yollara Yakınlık (K2)	Ana yollara yakın şarj istasyonları, acil durumlarda kullanıcılara hızlı erişim ve enerji sağlar (Charly ve ark, 2023).
Alışveriş Merkezlerine Yakınlık (K3)	Alışveriş merkezlerindeki şarj istasyonları, kullanıcıların alışveriş sırasında araçlarını kolayca şarj etmelerini sağlar (Calvo-Jurado, 2024).
Ulaşım İstasyonlarına Yakınlık (K4)	Ulaşım istasyonları, yoğun ve erişilebilir alanlar olduğundan şarj istasyonlarının daha çok kullanıcıya hizmet vermesini sağlar (Charly ve ark, 2023).
Arazi Değeri (K5)	Arazi değeri, elektrikli araç şarj istasyonu yer seçiminde maliyetleri doğrudan etkiler (Liang ve ark, 2023).
Yakıt istasyonu (K6)	Mevcut benzin istasyonları, trafik ağına uygun konumları nedeniyle elektrikli araç şarj istasyonları için ideal yerler olabilir (Zhang ve ark, 2020).

Kriterlerin değerlendirilmesi amacıyla beş kişiden oluşan bir uzman karar verici grubu oluşturulmuştur. Bu grubun üç üyesi otomotiv sektöründe görev yapan mühendislerden, iki üyesi ise konuya ilişkin akademik çalışmaları bulunan araştırmacılardan oluşmaktadır. Belirlenen kriterler, Tablo 1'de verilen dilsel ölçek doğrultusunda değerlendirilmiştir. Tablo 4,5,6,7 ve 8'de 5 karar vericiye ait değerlendirmelerin bulanık sayılarla ifade edildiği karar matrisi sunulmuştur. Tablo 9'da ise beş karar vericinin değerlendirmelerinin ortalaması alınarak oluşturulan ortalama karşılaştırma matrisi yer almaktadır.

**Tablo 4.** Birinci Uzman Görüşleri.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	(1,1,1)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,1,1)
K2	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
K3	(1/9,1/7,1/5)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
K4	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1/5,1/3,1)
K5	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(3,5,7)
K6	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)

**Tablo 5.** İkinci Uzman Görüşleri.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	(1,1,1)	(3,5,7)	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,7,9)	(3,5,7)
K2	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,1,1)	(7,9,11)	(5,7,9)
K3	(1,1,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(7,9,11)	(5,7,9)
K4	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,5,7)	(3,5,7)
K5	(1/9,1/7,1/5)	(1/11,1/9,1/7)	(1/11,1/9,1/7)	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)	(1,3,5)
K6	(1/7,1/5,1/3)	(1/9,1/7,1/5)	(1/9,1/7,1/5)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)

**Tablo 6.** Üçüncü Uzman Görüşleri.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1,1,1)	(3,5,7)	(5,7,9)
K2	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,1,1)	(7,9,11)	(3,5,7)
K3	(1,3,5)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,7,9)	(3,5,7)
K4	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)
K5	(1/7,1/5,1/3)	(1/11,1/9,1/7)	(1/9,1/7,1/5)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
K6	(1/9,1/7,1/5)	(1/7,1/5,1/3)	(1/7,1/5,1/3)	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)

**Tablo 7.** Dördüncü Uzman Görüşleri.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,1,1)
K2	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(7,9,11)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,3,5)
K3	(1,3,5)	(1/11,1/9,1/7)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)
K4	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,7,9)	(3,5,7)
K5	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(3,5,7)
K6	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1/7,1/5,1/3)	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)

**Tablo 8.** Beşinci Uzman Görüşleri.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,7,9)	(5,7,9)
K2	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(7,9,11)	(1,3,5)	(5,7,9)	(5,7,9)
K3	(1,1,1)	(1/11,1/9,1/7)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,5,7)	(3,5,7)
K4	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(5,7,9)
K5	(1/9,1/7,1/5)	(1/9,1/7,1/5)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1,3,5)
K6	(1/9,1/7,1/5)	(1/9,1/7,1/5)	(1/7,1/5,1/3)	(1/9,1/7,1/5)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)

**Tablo 9.** Beş Karar Verici için Ortalama Karşılaştırma Matrisi.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	(1,1,1)	(21/5,31/5,41/5)	(9/5,3,21/5)	(9/5,13/5,17/5)	(17/5,27/5,37/5)	(3,21/5,27/5)
K2	(1/8,1/6,1/4)	(1,1,1)	(29/5,39/5,49/5)	(1,9/5,13/5)	(21/5,27/5,33/5)	(3,23/5,31/5)
K3	(5/6,13/8,22/9)	(1/9,1/8,1/6)	(1,1,1)	(1,1,1)	(17/5,5,33/5)	(3,23/5,31/5)
K4	(5/6,5/6,7/8)	(2/3,3/4,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(17/5,9/2,31/5)	(17/6,9/2,31/5)
K5	(1/7,1/5,2/5)	(1/2,1/2,1/2)	(1/3,1/3,1/2)	(1/7,2/9,5/9)	(1,1,1)	(9/5,17/5,5)
K6	(1/2,1/2,5/9)	(1/3,3/8,5/9)	(1/3,1/3,4/9)	(1/7,2/9,4/9)	(1/3,2/5,3/4)	(1,1,1)

Elde edilen karşılaştırma matrisi üzerinden Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yönteminin adımları sistematik bir şekilde uygulanmıştır. Bu kapsamda, öncelikle Denklem 1 kullanılarak Tablo 9’da bulunan her bir satırdaki  $l, m$  ve  $u$  değerleri toplanarak Tablo 10 elde edilir. Daha sonra Tablo 10’da her sütünde bulunan elemanlar toplanır ve Tablo 11 elde edilir. Ardından her bir  $l$  değeri  $u$ ’ların toplamına, her bir  $m$  değeri  $m$ ’lerin toplamına ve her bir  $u$  değeri ise  $l$ ’lerin toplamına bölünür ve Tablo 12 elde edilmiş olur. Sonuç olarak, her bir kriterin göreceli ağırlıkları belirlenmiş ve nihai ağırlık değerleri Tablo 14’te verilmiştir.

**Tablo 10.** l, m ve u Değerleri.

Kriter	l	m	u
K1	76/5	112/5	148/5
K2	121/5	83/4	238/9
K3	28/5	40/3	122/7
K4	46/5	25/2	65/5
K5	27/5	17/3	8
K6	18/7	17/6	26/7

**Tablo 11.** Sütunların Toplamı.

l	m	u
387/7	155/2	710/7

**Tablo 12.** l, m ve u Değerleri.

Kriter	l	m	u
K1	0,15	0,29	0,54
K2	0,15	0,27	0,48
K3	0,09	0,17	0,32
K4	0,09	0,16	0,29
K5	0,04	0,07	0,14
K6	0,03	0,04	0,07

Ardından Denklem 3 kullanılarak bulanık sayılar karşılaştırılmış ve Tablo 13 elde edilmiştir.

**Tablo 13.** Karşılaştırılmış Bulanık Sayılar.

Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1		1	1	1	1	1
K2	1		1	1	1	1
K3	3/5	5/8		1	1	1
K4	1/2	4/7	1		1	1
K5	0	0	1/3	3/8		1
K6	0	0	0	0	4/9	

Her bir satırdaki minimum değerlerin toplamı her bir elemana bölünerek Tablo 14 elde edilmiştir.

**Tablo 14.** Kriter Ağırlıkları.

Kriter	Ağırlık
K1	0,33
K2	0,31
K3	0,19
K4	0,17
K5	0,00
K6	0,00

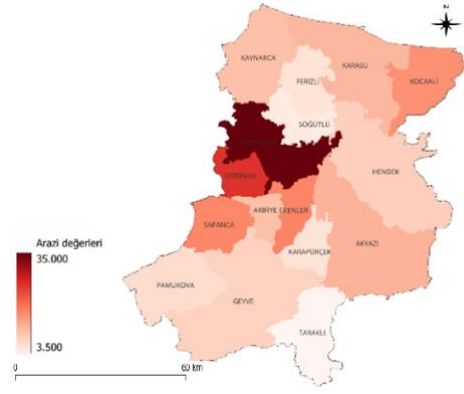
Çalışmada ilk hesaplanan ağırlık değerlerinde K5 (Arazi Değeri) ve K6 (Yakıt İstasyonu Yakınlığı) kriterlerinin ağırlıkları sıfır olarak elde edilmiştir. Bu durum, söz konusu iki kriterin karar vericiler tarafından diğer kriterlere kıyasla ihmal edilebilir düzeyde etkili görüldüğünü, yani değerlendirme sürecinde karar farklılığını belirleyecek bir katkı yapmadığını göstermektedir. Bunun olası nedenleri; (i) verilerin ilçeler arasında çok benzer varyans göstermesi ve kriterin ayırıştırıcı gücünün düşük kalması, (ii) karar vericilerin problem bağlamında bu kriterleri daha az önemli görmesi, (iii) ölçekte yer alan diğer kriterlerin (örneğin K1, K2, K3) karara daha baskın etki etmesi olarak değerlendirilebilir. Literatürde sıfır ağırlık değerlerinin model denge yapısını bozabileceği ifade edildiğinden (Wang ve ark., 2008), çalışmada bu durum düzeltilmiş ve K5 ve K6 kriterlerine Denklem (18) uygulanmıştır. Minimum katkıyı temsil eden 0,01 taban değeri atanarak normalizasyon işlemi tekrar gerçekleştirilmiştir. Böylece kriter seti korunmuş, ancak hiçbir kriterin karar sürecinden tamamen dışlanmaması sağlanmıştır. Bu işlemin ardından elde edilen güncellenmiş kriter ağırlıkları Tablo 15’de sunulmaktadır.

$$W_i^{\text{norm}} = \frac{\begin{cases} 0,01 \text{ eğer } w_i=0 \\ w_i \text{ aksi halde} \end{cases}}{\sum_{j=1}^n \begin{cases} 0,01 \text{ eğer } w_j=0 \\ w_j \text{ aksi halde} \end{cases}} \quad (18)$$

**Tablo 15.** Güncel Ağırlıklar.

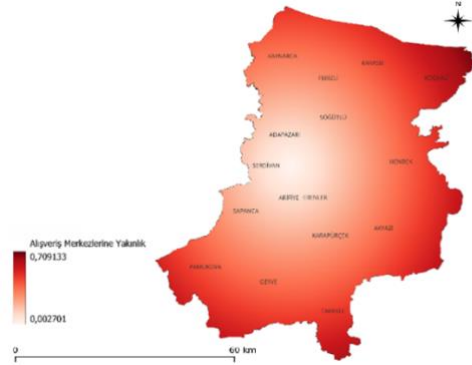
Kriter	Ağırlık
Nüfus Yoğunluğu (K1)	0,32
Ana Yollara Yakınlık (K2)	0,30
Alışveriş Merkezlerine Yakınlık (K3)	0,19
Ulaşım İstasyonlarına Yakınlık (K4)	0,17
Arazi Değeri (K5)	0,01
Yakıt istasyonu (K6)	0,01

Kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra, her bir kriter için coğrafi veriler kullanılarak mekânsal analiz gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan QGIS kullanılmıştır. Öncelikle, kriterlere ilişkin ham veriler raster formatında QGIS ortamına aktarılmıştır. Ardından, her bir kriterin ağırlıkları dikkate alınarak normalize edilmiş değerler üzerinden mekânsal katmanlar oluşturulmuştur. Bu süreçte, uygun yeniden sınıflandırma ve ağırlıklandırma işlemleri uygulanmış, böylece kriterlerin mekânsal dağılımları görselleştirilmiştir. Sonuç olarak, her bir kriterle ait ayrı ayrı tematik haritalar elde edilmiştir. Bu haritalar, karar destek sürecine görsel bilgi sağlamanın yanı sıra, alternatiflerin coğrafi uygunluklarının da değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Elde edilen sonuçlar Şekil 1, 2, 3, 4 ve 5’te verilmektedir.



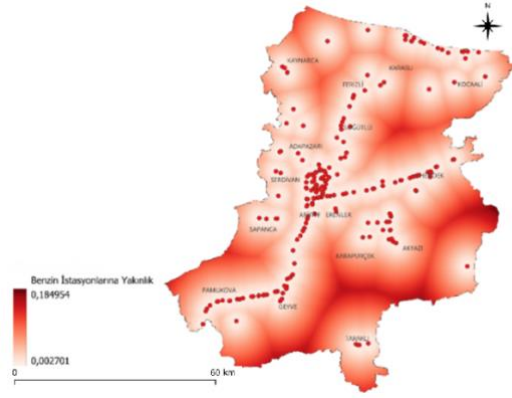
Şekil 1. Arazi Değerleri Haritası

Şekil 1’de gösterilen haritaya göre Adapazarı, Serdivan ve Arifiye gibi şehir merkezine yakın ve ticari faaliyetlerin yoğun olduğu ilçeler, yüksek arazi değerine sahiptir. Bu bölgelerdeki ticari canlılık, arazi değerlerini arttıran önemli bir faktördür. Öte yandan, Sapanca, Hendek ve Akyazı gibi sanayi ve turizm potansiyeline sahip ilçeler ise orta düzeyde arazi değerine sahiptir. Bu ilçeler hem sanayi hem de turizm faaliyetleri ile ekonomik bir dinamizm sunmaktadır.



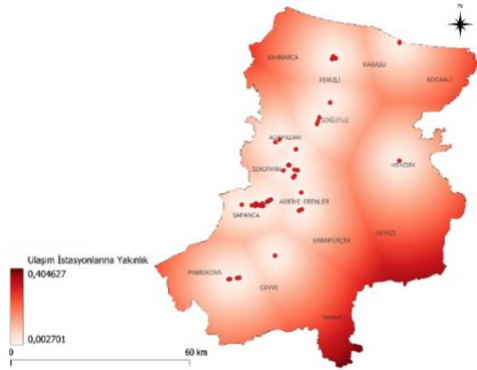
Şekil 2. Alışveriş Merkezlerine Yakınlık Haritası

Şekil 2’de verilen haritaya göre Adapazarı, Serdivan, Arifiye ve Erenler gibi şehir merkezine yakın ilçeler, alışveriş merkezlerine erişim açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu bölgeler hem ulaşım kolaylığı hem de ticari çeşitlilik açısından kullanıcılar için cazip hale gelmektedir. Öte yandan, Taraklı, Geyve, Pamukova, Kocaali ve Karasu gibi kırsal ve şehir merkezine uzak ilçeler, AVM'lere erişim açısından dezavantajlı durumdadır. Bu ilçelerdeki uzaklık, alışveriş olanaklarının sınırlı olmasına ve bölge sakinlerinin AVM'lere ulaşımında zorluklar yaşamasına neden olmaktadır.



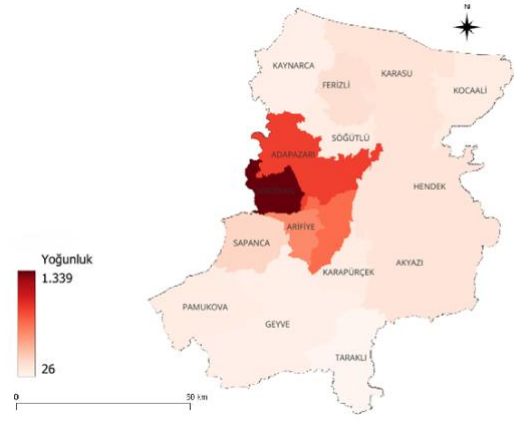
Şekil 3. Benzin İstasyonlarına Yakınlık Haritası

Şekil 3'te verilen haritaya göre Adapazarı, Serdivan, Arifiye ve Erenler gibi şehir merkezine yakın bölgeler, benzin istasyonlarına erişim açısından avantajlıdır. Bu bölgelerdeki yoğun nüfus ve ulaşım kolaylığı, istasyonların kolayca ulaşılabilir olmasını sağlamaktadır. Öte yandan, Taraklı, Kocaali ve Karasu gibi kırsal ve şehir merkezine uzak bölgeler, benzin istasyonlarına erişim açısından dezavantajlıdır. Benzin istasyonları genellikle ana yollar ve şehirlerarası ulaşım arterleri boyunca konumlandığı için bu durum stratejik bir yerleşim göstermektedir.



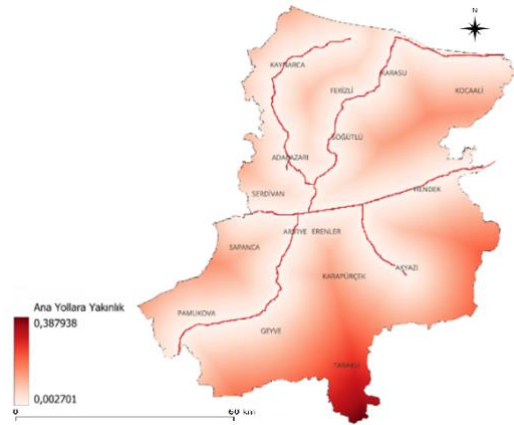
Şekil 4. Ulaşım İstasyonlarına Yakınlık Haritası

Şekil 4'te verilen haritaya göre Adapazarı, Serdivan, Arifiye ve Sapanca gibi şehir merkezine yakın bölgeler, ulaşım istasyonlarına erişim açısından avantajlıdır. Bu bölgelerdeki yoğun nüfus ve ekonomik canlılık, ulaşım istasyonlarına kolay erişim sağlamaktadır. Öte yandan, Taraklı, Geyve, Pamukova, Kocaali ve Karasu gibi kırsal ve şehir merkezine uzak bölgeler, ulaşım istasyonlarına erişim açısından dezavantajlıdır. Bu durum, bu bölgelerdeki düşük nüfus yoğunluğu ve sınırlı ekonomik faaliyetlerle ilişkilidir.



Şekil 5. Yoğunluk Haritası

Şekil 5'te gösterilen haritaya göre Adapazarı, Serdivan ve Arifiye gibi şehir merkezine yakın ilçelerde nüfus yoğunluğu yüksektir. Bu, ticari faaliyetlerin, sosyal yaşamın ve kamu hizmetlerinin yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır. Sapanca, Hendek ve Akyazı gibi ilçelerde ise nüfus yoğunluğu orta düzeydedir ve bu bölgeler sanayi, tarım ve turizm faaliyetlerinin dengeli dağılımıyla öne çıkmaktadır. Taraklı, Geyve, Pamukova, Kocaali ve Karasu gibi kırsal ilçelerde ise nüfus yoğunluğu düşüktür; bu durum, ekonomik faaliyetlerin sınırlı olması ve kırsal yaşamın baskın olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. Ana Yollara Yakınlık Haritası

Şekil 6'da verilen haritaya göre Adapazarı, Serdivan, Arifiye ve Hendek gibi şehir merkezine yakın ilçeler, ana yollara erişim açısından avantajlıdır. Bu bölgelerdeki ulaşım kolaylığı, ticari ve sosyal faaliyetlerin artmasına katkı sağlamaktadır. Öte yandan, Taraklı, Kocaali ve Karasu gibi kırsal ve şehir merkezine uzak ilçeler, ana yollara erişim açısından dezavantajlıdır. Bu durum, bu bölgelerdeki düşük nüfus yoğunluğu ve sınırlı ekonomik faaliyetlerle ilişkilidir.

Her bir kriter için haritalar oluşturulduktan sonra kriterler Denklem (19) kullanılarak normalize edilmiştir. Bu işlem, her bir kriterin farklı aralıktaki değerlerini ortak bir standart aralığa çekerek karşılaştırılabilir hale getirmeyi amaçlamaktadır.



**Tablo 16.** Karar Matrisi

	Nüfus Yoğunluğu (K1)	Ana Yollara Yakınlık (K2)	AVM'lere Yakınlık (K3)	Ulaşım İstasyonlarına Yakınlık (K4)	Arazi Değeri (K5)	Yakıt İstasyonlarına Yakınlık (K6)
Adapazarı	4,800	4,200	4,200	4,600	4,600	4,800
Serdivan	4,800	4,800	4,800	4,400	5,000	4,800
Akyazı	3,200	3,600	2,800	3,400	2,800	4,200
Hendek	2,800	3,400	3,800	3,200	2,800	3,800
Erenler	4,000	4,000	4,200	2,600	4,000	3,600
Karasu	2,800	3,200	3,800	3,400	2,800	3,600
Arifiye	2,000	4,000	2,800	4,200	4,200	3,600
Geyve	2,400	2,000	2,200	2,600	2,000	1,800
Sapanca	4,000	3,200	3,600	3,600	4,200	3,800
Ferizli	2,000	1,800	3,000	2,600	3,200	4,200
Pamukova	2,000	3,200	3,200	3,000	3,400	3,200
Kaynarca	1,600	1,800	1,800	1,600	1,400	2,600
Kocaali	1,400	3,400	2,400	1,400	2,800	3,200
Söğütlü	1,400	1,600	1,800	1,800	1,800	1,600
Karapürçek	1,200	2,400	1,400	2,000	2,200	1,200
Taraklı	1,000	1,00	1,000	1,200	1,200	1,200

Denklem (9) yardımıyla normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur ve Tablo 17'de gösterilmiştir.

**Tablo 17.** Normalleştirilmiş Karar Matrisi

	Nüfus Yoğunluğu (K1)	Ana Yollara Yakınlık (K2)	AVM'lere Yakınlık (K3)	Ulaşım İstasyonlarına Yakınlık (K4)	Arazi Değeri (K5)	Yakıt İstasyonlarına Yakınlık (K6)
Adapazarı	0,420	0,333	0,337	0,379	0,357	0,353
Serdivan	0,420	0,380	0,385	0,363	0,388	0,353
Akyazı	0,280	0,285	0,225	0,280	0,217	0,309
Hendek	0,245	0,269	0,305	0,264	0,217	0,279
Erenler	0,350	0,317	0,337	0,214	0,310	0,265
Karasu	0,245	0,254	0,305	0,280	0,217	0,265
Arifiye	0,175	0,317	0,225	0,346	0,326	0,265
Geyve	0,210	0,158	0,177	0,214	0,155	0,132
Sapanca	0,350	0,254	0,289	0,297	0,326	0,279
Ferizli	0,175	0,143	0,241	0,214	0,248	0,309
Pamukova	0,175	0,254	0,257	0,247	0,264	0,235
Kaynarca	0,140	0,143	0,145	0,132	0,109	0,191
Kocaali	0,122	0,269	0,193	0,115	0,217	0,235
Söğütlü	0,122	0,127	0,145	0,148	0,140	0,118
Karapürçek	0,105	0,190	0,112	0,165	0,171	0,088
Taraklı	0,087	0,079	0,080	0,099	0,093	0,088

Normalleştirilmiş karar matrisi, Tablo 15'de sunulan kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Bu işlem, kriterlerin karar sürecindeki görece önemini dikkate almak amacıyla gerçekleştirilmiş olup, böylece daha önemli kriterlerin alternatiflerin değerlendirilmesine daha fazla katkıda bulunması sağlanmıştır. Oluşturulan ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi Tablo 17'de gösterilmektedir.

**Tablo 14.** Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisi

	Nüfus Yoğunluğu (K1)	Ana Yollara Yakınlık (K2)	Avm'lere Yakınlık (K3)	Ulaşım İstasyonlarına Yakınlık (K4)	Arazı Değeri (K5)	Yakıt İstasyonlarına Yakınlık (K6)
Adapazarı	0,134	0,100	0,064	0,065	0,004	0,004
Serdivan	0,134	0,114	0,073	0,062	0,004	0,004
Akyazı	0,090	0,086	0,043	0,048	0,002	0,003
Hendek	0,078	0,081	0,058	0,045	0,002	0,003
Erenler	0,112	0,095	0,064	0,036	0,003	0,003
Karasu	0,078	0,076	0,058	0,048	0,002	0,003
Arifiye	0,056	0,095	0,043	0,059	0,003	0,003
Geyve	0,067	0,048	0,034	0,036	0,002	0,001
Sapanca	0,112	0,076	0,055	0,050	0,003	0,003
Ferizli	0,056	0,043	0,046	0,036	0,002	0,003
Pamukova	0,056	0,076	0,049	0,042	0,003	0,002
Kaynarca	0,045	0,043	0,027	0,022	0,001	0,002
Kocaali	0,039	0,081	0,037	0,020	0,002	0,002
Söğütü	0,039	0,038	0,027	0,025	0,001	0,001
Karapürçek	0,034	0,057	0,021	0,028	0,002	0,001
Taraklı	0,028	0,024	0,015	0,017	0,001	0,001

Denklem (12) ve (13) yardımıyla pozitif ve negatif ideal çözümler bulunmuştur ve Tablo 18'de gösterilmiştir.

**Tablo 15.** Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A <sup>+</sup>	0,1344	0,1141	0,0732	0,0645	0,0039	0,0035
A <sup>-</sup>	0,0280	0,0238	0,0153	0,0168	0,0009	0,0009

Elde edilen pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri incelendiğinde, K1 ve K2 kriterlerinin alternatiflerin farklılaşmasında daha belirleyici olduğu, buna karşılık K5 ve K6 kriterlerinin katkısının oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu durum, karar sürecinde kriter ağırlıkları ve kriter değerleri arasındaki dengenin sıralama üzerinde farklı düzeyde etkiler yarattığını göstermektedir.

Denklem (14) ve (15) kullanılarak  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerleri hesaplanmıştır ve Tablo 19'da gösterilmiştir. Aşağıda Adapazarı ilçesi için örnek  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerleri hesaplanmıştır.

$$S_i^+ = \sqrt{(0,134 - 0,1344)^2 + (0,100 - 0,1141)^2 + (0,064 - 0,0732)^2 + (0,065 - 0,0645)^2 + (0,004 - 0,0039)^2 + (0,004 - 0,0035)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{(0,134 - 0,0280)^2 + (0,100 - 0,0238)^2 + (0,064 - 0,0153)^2 + (0,065 - 0,0168)^2 + (0,004 - 0,0009)^2 + (0,004 - 0,0009)^2}$$

**Tablo 16.**  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  Değerleri

İlçeler	$S_i^+$	$S_i^-$
Adapazarı	0,01695	0,147552
Serdivan	0,002805	0,157684
Akyazı	0,063536	0,096563
Hendek	0,069739	0,091705
Erenler	0,041652	0,122123
Karasu	0,071418	0,089748
Arifiye	0,086421	0,091659
Geyve	0,106365	0,053123
Sapanca	0,049807	0,111813
Ferizli	0,113011	0,049687
Pamukova	0,093231	0,072712
Kaynarca	0,130323	0,028726
Kocaali	0,116294	0,06203
Söğütlü	0,135987	0,023427
Karapürçek	0,132066	0,03609
Taraklı	0,158505	0,00000

Tablo 19 incelendiğinde Serdivan, Adapazarı ve Erenler ilçeleri en yüksek tercih edilebilirlik düzeyine sahip alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Bu ilçelerde pozitif ideal çözüme olan uzaklık düşük, negatif ideal çözüme olan uzaklık ise yüksektir. Buna karşılık Kaynarca, Söğütlü, Karapürçek ve özellikle Taraklı ilçeleri, yüksek  $S_i^+$  ve düşük  $S_i^-$  değerleri ile en düşük tercih edilebilirlik düzeyine sahip alternatifler olarak değerlendirilmiştir. Bu bulgular, karar sürecinde ilçeler arasındaki farklılıkları açıkça ortaya koymaktadır ve yer seçimi sürecinde dikkate alınması gereken önemli sonuçlar sunmaktadır.

Denklem (16) kullanılarak  $C_i^*$  değerleri hesaplanmıştır.  $C_i^*$  değerleri Tablo 20’de verilmiştir. Adapazarı ilçesi için  $C_i^*$  değeri aşağıda hesaplanmıştır.

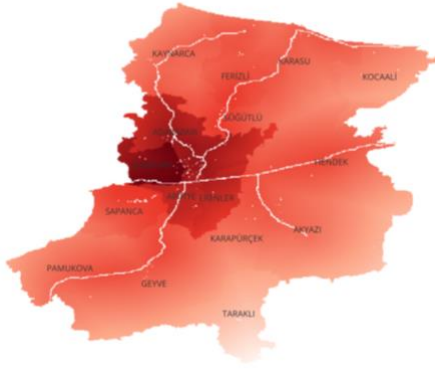
$$C_i^* = \frac{0,147552}{0,147552 + 0,01695} = 0,897$$

**Tablo 17.** Sıralanmış Alternatifler.

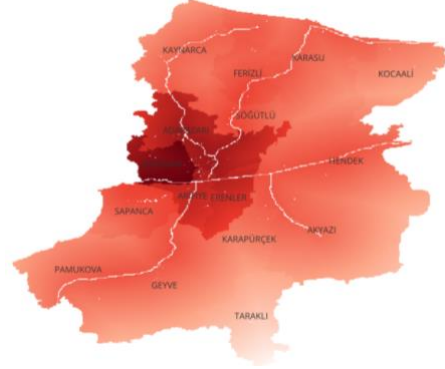
İlçeler	$C_i^*$
Serdivan	0,982
Adapazarı	0,897
Erenler	0,745
Sapanca	0,691
Akyazı	0,603
Hendek	0,568
Karasu	0,556
Arifiye	0,514
Pamukova	0,438
Kocaali	0,347
Geyve	0,333
Ferizli	0,305
Karapürçek	0,214
Kaynarca	0,180
Söğütlü	0,147
Taraklı	0,000

TOPSIS yöntemiyle elde edilen  $C_i^*$  skorları, alternatif ilçelerin belirlenen kriterler doğrultusunda ideal çözüme yakınlık derecelerini ortaya koymaktadır. Bu skorlar 0 ile 1 arasında değişmekte olup, değer 1'e yaklaşması, ilgili ilçenin optimal çözüme daha yakın olduğunu göstermektedir. Taraklı ilçesi için  $C_i^* = 0$  değerinin görülmesinin nedeni, ilçenin ağırlıklandırılmış normalize değerlerinin negatif ideal çözüm değerleri ile örtüşmesidir. Bu durumda negatif ideal uzaklık  $S_i^- = 0$  olmakta ve yakınlık katsayısı formülü gereği  $C_i^*$  değeri 0 olarak hesaplanmaktadır. Bir başka ifadeyle, Taraklı TOPSIS değerlendirmesinde tüm kriterler açısından görece olarak en düşük performansa sahip alternatif konumundadır. Analiz sonuçlarına göre Serdivan ve Adapazarı, yüksek  $C_i^*$  değerleriyle karar kriterleri açısından en avantajlı ilçeler olarak öne çıkmaktadır. Erenler ve Sapanca gibi ilçeler orta-üst düzeyde bir performans sergilerken; Geyve, Kaynarca, Söğütlü ve özellikle Taraklı gibi ilçeler düşük skorlarıyla dikkat çekmekte ve ideal çözüme uzak alternatifler olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, kaynak planlaması ve stratejik önceliklendirme süreçlerinde ilçeler arası farklılıkların dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

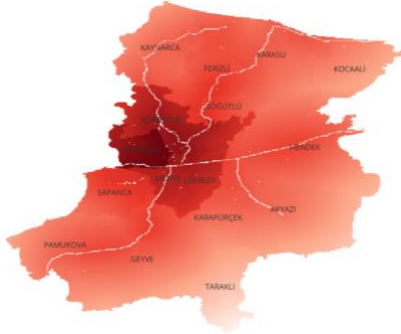
Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Bulanık AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analiziyle kriterlerin ağırlıklarındaki değişimin elektrikli araç şarj istasyonu konumlandırılmasında ne gibi farklılıklar oluşturacağını ortaya koymak amaçlanmıştır. Kriterlerin duyarlılık analizinde, elektrikli araçların konumlandırılmasını etkileyen faktörlerin önem derecelerini daha iyi anlamak amacıyla, kriterler ikili gruplar halinde ele alınmıştır. Bu kapsamda, her seferinde iki kriterin ağırlıkları %50 oranında arttırılarak, diğer kriterlerin ağırlıkları bu değişime göre yeniden hesaplanmıştır. Böylece, belirli kriter çiftlerinin etkisi detaylı şekilde incelenmiş ve ağırlık değişimlerinin sonuçlar üzerindeki etkileri analiz edilmiştir ve Şekil 8'de gösterilmiştir.



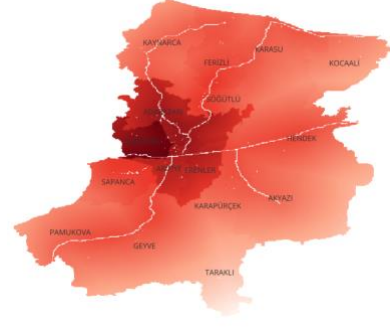
a. Başlangıç Haritası



b. K1 ve K2 Ağırlıklarının Değiştirilmesi Sonucu



c. K3 ve K4 Ağırlıklarının Değiştirilmesi Sonucu



d. K5 ve K6 Ağırlıklarının Değiştirilmesi Sonucu

Şekil 8. Duyarlılık Analizi Haritaları

Şekil 8.a'da gösterilen harita Şekil 8.b'de gösterilen başlangıç haritasıyla karşılaştırıldığında K1 ve K2 kriterlerinin ağırlıklarının artması ile bu kriterlerin etkili olduğu bölgelerde yoğunlaşma ve öncelik artışı görülmektedir.

Şekil 8.c'de gösterilen harita başlangıç haritası ile karşılaştırıldığında K3 ve K4 kriterlerinin ağırlıklarının artması harita üzerindeki orta öncelikli bölgelerde ve bu kriterlerin etkili olduğu alanlarda değişikliklere yol açmıştır. K3 ve K4 ağırlıklarının artması, bu kriterlerin önemini artırarak harita üzerindeki bazı bölgelerin değerlerinin yükselmesine sebep olmuştur.

Şekil 8.d'de gösterilen harita, başlangıç haritası ile karşılaştırıldığında, K5 ve K6 kriterlerinin ağırlıklarının artırılmasının harita üzerindeki daha düşük ağırlıklı ve daha az etkili bölgelerde değişikliklere neden olduğu görülmektedir. Başlangıçta K5 ve K6 kriterleri en düşük ağırlıklara sahip olduğundan, bu kriterlerin ağırlıklarındaki artışın harita üzerindeki etkisi sınırlı ve lokal düzeyde kalmaktadır.

Sonuç olarak, K1 ve K2 ağırlıkları en yüksek ağırlıklara sahip olduğu için K1 ve K2 kriterlerinin artırılması harita üzerinde en belirgin ve geniş kapsamlı değişikliklere neden olurken, K3 ve K4 kriterlerinin artışı orta düzeyde, K5 ve K6 artışı ise daha sınırlı ve lokal etkiler yaratmaktadır.

Yapılan duyarlılık analizi sonucunda parametrelerde yapılan değişiklikler sonucu değiştirmiyorsa model sağlam kabul edilmektedir (Demir ve ark., 2024). Dolayısıyla yapılan analiz

sonucunda modelin sonucunun ağırlık değişikliklerine karşı değişmemesi, modelin karar mekanizmasının bu parametrelere karşı dayanıklı ve kararlı olduğunu göstermektedir.

## 6. Sınırlılıklar

Bu çalışmada gerçekleştirilen uygunluk analizi belirli varsayımlar ve veri kısıtları çerçevesinde yürütülmüştür. Öncelikle, analizde kullanılan veriler farklı açık veri kaynaklarından (TÜİK, OpenStreetMap, vb.) elde edilmiştir. Bu durum, verilerin güncelliği, mekânsal doğruluğu ve detay seviyesi açısından bazı sınırlılıklar getirebilmektedir. Özellikle arazi değeri ve ulaşım istasyonları gibi katmanlarda verilerin erişilebilirliği kısıtlı olduğundan, bazı bölgelerde genelleştirilmiş değerler kullanılmıştır.

Kriterlerin belirlenmesinde literatür ve uzman görüşlerinden yararlanılmış olmakla birlikte, ölçüt seçimi subjektif unsurlar içermektedir. Seçilen kriterlerin kapsamı, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılmasına etki eden tüm çevresel ve sosyoekonomik faktörleri tam olarak yansıtmayabilir.

Mekânsal analizlerde kullanılan öklidyen yakınlık yöntemi, düzlemsel mesafe varsayımına dayanmaktadır. Bu yöntem yol ağı, topografya veya ulaşım kısıtlarını dikkate almadığından, gerçek ulaşım mesafelerinden farklı sonuçlar doğurabilir.

Ayrıca, çalışma alanı olarak yalnızca Sakarya ili ele alınmıştır. Dolayısıyla elde edilen bulgular, farklı coğrafi, sosyoekonomik ve yasal özelliklere sahip illere doğrudan genellenememektedir. Elektrik altyapısı, imar durumu ve mevzuat izinleri gibi şebeke ve yasal kısıtlar da değerlendirme kapsamı dışında tutulmuştur.

Sonuç olarak, çalışma mekânsal veri kısıtları, yöntemsel varsayımlar ve ölçek bağımlılığı çerçevesinde yorumlanmalıdır. Bu sınırlılıklara rağmen, elde edilen bulgular karar vericilere önemli bir yol gösterici niteliği taşımaktadır.

## 7. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması için uygun alanların belirlenmesine yönelik kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Kullanılan kriterler arasında nüfus yoğunluğu, ulaşım altyapısı, çevresel faktörler ve arazi kullanımı gibi unsurlar yer almaktadır. Analiz sürecinde, bu kriterlerin ağırlıkları kullanılarak farklı senaryolar altında uygunluk haritaları oluşturulmuştur.

Elde edilen bulgular, şehir merkezlerinde ve ana ulaşım yollarının yakınında yüksek uygunluk alanlarının belirlendiğini göstermektedir. Bu bölgeler, elektrikli araç kullanıcılarının ihtiyaçlarını

karşılmak için stratejik olarak önemlidir. Özellikle nüfus yoğunluğu yüksek bölgelerde, şarj istasyonlarının konumlandırılması, kullanıcı erişimini kolaylaştırmakta ve elektrikli araçların benimsenmesini teşvik etmektedir. Bu bulgular, Bilgilioğlu (2022) tarafından yapılan çalışmayla benzerlik göstermektedir; her iki çalışmada da merkezi bölgelerde yüksek uygunluk alanları belirlenmiş ve ana yollar ile nüfus yoğunluğu önemli belirleyiciler olarak öne çıkmıştır.

Kırsal alanlarda uygunluk değerlerinin düşük kalması, bu bölgelerin altyapı eksiklikleri ve düşük nüfus yoğunluğu gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu durum, kırsal bölgelerde elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleştirilmesi için ek stratejilerin ve teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmanın saha uygulaması, belirlenen uygun alanlarda elektrikli araç şarj istasyonlarının etkin ve verimli bir şekilde konumlandırılmasını sağlamaktadır. Bu sayede yatırım planlamasında kaynakların doğru yönlendirilmesi ve maliyet etkinliğinin artırılması mümkün olmaktadır. Politika ve uygulama önerileri açısından, şehir merkezlerinde kısa vadede kamu-özel iş birliği ile şarj istasyonlarının kurulması; kırsal alanlarda ise uzun vadede altyapı güçlendirme ve teşvik mekanizmalarının devreye alınması önerilmektedir. Etaplama açısından, ilk aşamada yüksek uygunluk bölgelerinde uygulama yapılması, ikinci aşamada altyapı hazırlıkları tamamlanan alanlara geçilmesi stratejik bir yaklaşım olarak sunulmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılmasında veri odaklı bir yaklaşımın önemini vurgulamaktadır. Elde edilen bulgular, şehir planlamacıları ve politika yapıcılar için değerli bilgiler sunmakta ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Gelecek çalışmalar, bu analizlerin daha derinleştirilmesi ve yerel ihtiyaçlara göre özelleştirilmesi ile daha etkili ve genellenebilir sonuçlar elde etmeyi hedeflemelidir.

### **Yazarların Katkısı**

Veri toplama, analizlerin gerçekleştirilmesi ve uygulama sürecinin yürütülmesi birinci yazar tarafından; kavramsal çerçevesinin oluşturulması, metodolojik yönlendirme, metnin gözden geçirilmesi süreçleri ise ikinci yazar tarafından yürütülmüştür.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Aljanabi M.A., Al-Bayati A.A., Al-Bayati S.A., Al-Bayati A.A. (2024) An ideal location selection of electric vehicle charging stations, *Sustainable Cities and Society*, 105, 105626.
- Asnaz, M. S. K., Özdemir, B. (2021). Elektrikli araç şarj istasyonlarının çok kriterli karar verme yöntemleri ile optimal konumlandırılması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 4(2), 175-187.
- Bakır, M., & Atalık, Ö. (2021). Application of fuzzy AHP and fuzzy MARCOS approach for the evaluation of e-service quality in the airline industry. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 4(1), 127-152.
- Bilgilioğlu, S. S. (2022). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 165-174. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1013244>
- Bitencourt, L., Abud, T. P., Dias, B. H., Borba, B. S., Maciel, R. S., & Quirós-Tortós, J. (2021). Optimal location of EV charging stations in a neighborhood considering a multi-objective approach. *Electric Power Systems Research*, 199, 107391.
- Calvo-Jurado, C., Ceballos-Martínez, J. M., & García Merino, J. C. (2024). Optimal location of electric vehicle charging stations using proximity diagrams. *Sustainable Cities and Society*, 113, 105719.
- Chan, C. C. (2013). The Rise & Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned [Scanning Our Past]. *Proceedings of the IEEE*, 101(1), 206-212.
- Chang, D. Y. (1992). Extent analysis and synthetic decision. *Optimization techniques and applications*, 1(1), 352-355.
- Charly, A., Thomas, N. J., Foley, A., & Caulfield, B. (2023). Identifying Optimal Locations for Community Electric Vehicle Charging. *Sustainable Cities and Society*, 94, 104573.
- Çıkan, M., & Çıkan, N. N. (2024). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Enerji Dağıtım Hatlarına Optimum Şekilde Konumlandırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(2), 340-363.
- Demir, G., Chatterjee, P., & Pamucar, D. (2024). Sensitivity analysis in multi-criteria decision making: A state-of-the-art research perspective using bibliometric analysis. *Expert Systems with Applications*, 237, 121660.
- Dörtköşe, S., Yazgan, H. R., & Cömert, S. E. (2022). Elektrikli araç şarj istasyon yerlerinin akış yakıt ikmal yer modeli kullanılarak belirlenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(2), 371-382.
- Efthymiou, D., Chrysostomou, K., Morfoulaki, M., & Aifantopoulou, G. (2017). Electric vehicles charging infrastructure location: a genetic algorithm approach. *European Transport Research Review*, 9, 1-9.
- Eisel, M., Schmidt, J., & Kolbe, L. M. (2014, December). Finding suitable locations for charging stations. In *2014 IEEE international electric vehicle conference (IEVC)* (pp. 1-8). IEEE.
- Ekmekçi, Y. C., Demirörs, D., Rassad, N. A., Polat, Z. A., Akkaya, E. B., Baytürk, E., & Pehlivan, M. (2024, October). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Verimli Konumlandırılması için Kümeleme ve Matematiksel Optimizasyon Yaklaşımı ile Yer Tespiti, Clustering and Mathematical Optimization Approaches for Efficient Estimation of Electric Vehicles.
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E. ve Çetinkaya, C. (2018). Optimal siting of electric vehicle charging stations: a gis-based fuzzy multi-criteria decision analysis. *Energy*, 163, 1017-1031.
- Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2010). ELECTRE ve Bulanık AHP yöntemleri ile bir işletme için bilgisayar seçimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(2), 23-45.
- Giménez-Gaydou, D. A., Ribeiro, A. S., Gutiérrez, J., & Antunes, A. P. (2016). Optimal location of battery electric vehicle charging stations in urban areas: A new approach. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(5), 393-405.
- Gong, D., Tang, M., Buchmeister, B., & Zhang, H. (2019). Solving location problem for electric vehicle charging Stations—A sharing charging model. *IEEE access*, 7, 138391-138402.

- Guler, D. ve Yomralioglu, T. (2020). CBS kullanılarak AHP ve bulanık AHP yöntemleriyle elektrikli araç hızlı şarj istasyonu için uygun yer seçimi. *Annals of GIS*, 26 (2), 169–189. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1737226>
- Hajiaghayi-Keshteli, M., Cenk, Z., Erdebilli, B., Özdemir, Y. S., & Gholian-Jouybari, F. (2023). Pythagorean fuzzy TOPSIS method for green supplier selection in the food industry. *Expert Systems with Applications*, 224, 120036.
- He, J., Yang, H., Tang, T. Q., & Huang, H. J. (2018). An optimal charging station location model with the consideration of electric vehicle's driving range. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 86, 641-654.
- International Energy Agency, *Global EV Outlook 2020: Entering the decade of electric drive?*, Paris: IEA, 2020. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- Karaşan, A., Kaya, İ., & Erdoğan, M. (2020). Location selection of electric vehicles charging stations by using a fuzzy MCDM method: a case study in Turkey. *Neural Computing and Applications*, 32(9), 4553–4574.
- Liang, J., Qiu, Y., Liu, P., He, P., & Mauzerall, D. L. (2023). Effects of expanding electric vehicle charging stations in California on the housing market. *Nature Sustainability*, 6, 549–558.
- Nurmuhammed, M., & Karadağ, T. (2021). Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması ve enerji şebekesi üzerine etkisi konulu derleme çalışması. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(2), 218-233.
- Oğuz, M. A. (2018). AHP ve TOPSIS yöntemi ile tedarikçi seçimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(34), 69-89.
- Ren, X., Zhang, H., Hu, R., & Qiu, Y. (2019). Location of electric vehicle charging stations: A perspective using the grey decision-making model. *Energy*, 173, 548-553.
- Soczówka, P., Lasota, M., Franke, P., & Żochowska, R. (2024). Method of determining new locations for electric vehicle charging stations using GIS tools. *Energies*, 17(18), 4546.
- Topal, O. (2025). Elektrikli araç şarj gereksinimlerine yönelik yenilikçi bir yaklaşım: Şarj servis hizmeti işletme modeli.
- Uluskan, M., Topuz, D., & Çimen, C. (2022). AHP, Bulanık AHP, LBWA ve COPRAS Yöntemleri ile Tedarikçi Değerlendirme: Demiryolu Sektöründe Bir Uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(3), 412-430.
- Wang, Ying Ming, Luo, Ying & Hua, Zhongsheng (2008). On the extend analysis method for fuzzy AHP and it's applications. *European Journal Of Operational Research*, 186 (2), 735-747.
- Zhang, Y., Wang, H., & Li, X. (2020). Optimal location of electric vehicle charging stations considering gas station proximity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 102390.
- Zhou, G., Zhu, Z., & Luo, S. (2022). Location optimization of electric vehicle charging stations: Based on cost model and genetic algorithm. *Energy*, 247, 123437.