

Elektrikli Araçlar İçin Şarj İstasyonu Yer Seçimi: Bulanık Mantık İle Karar Verme

*Berke Buğra DÖNMEZ**, *Yusuf Bera SANLI***, *Emel GÜVEN****,

*Beyza Nisa ÖZTÜRK*****, *Tamer EREN******

Öz

Dünya genelinde petrol kaynaklarının tükenmesi ve çevresel sorunların artması, enerji sektörünü alternatif çözümler aramaya yöneltmiştir. Bu doğrultuda elektrikli araçlar, fosil yakıtlı araçlara göre daha çevreci ve ekonomik bir ulaşım seçeneği olarak ön plana çıkmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, bu araçların enerji ihtiyaçlarını karşılayacak şarj altyapısının doğru şekilde planlanması gereklilik haline gelmiştir. Bu çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi süreci ele alınmış, karar verme sürecinde Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Yer seçiminde yoğunluk ve lokasyon, şarj verimliliği, teknik altyapı ve çevresel faktörler gibi çeşitli kriterler dikkate alınmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla gerçekleştirilen mekânsal analizler sonucunda, Ankara ili Keçiören ilçesinde uygun görülen alanlar belirlenmiştir. Bu çalışma ile elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi sürecinde kullanılabilecek yöntemsel bir farklılık ortaya koymak ve karar verme sürecinde dikkate alınabilecek kriterlere yönelik yol gösterici bir çerçeve sunmak amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, karar vericilere sürdürülebilir ve çevreye duyarlı bir şarj istasyonu planlamasında yol gösterici nitelikte olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, şarj istasyonu, lokasyon seçimi, verimlilik.

JEL Kodları: C30, C60, C62.

* Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye. berkebugra06@outlook.com, ORCID ID: 0009-0003-4164-4718.

** Yüksek Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye. beraasanli@gmail.com, ORCID ID: 0009-0003-7577-6671.

*** Dr. Öğr. Üyesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye. emel-gvn@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6106-9720.

**** Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye. beyzanisaozturk@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-6415-1914

***** **Sorumlu Yazar.** Prof. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye. tamer.eren@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5282-3138.

Site Selection for Electric Vehicle Charging Stations: Decision Making Using Fuzzy Logic

Abstract

The depletion of oil resources worldwide and the increase in environmental problems have led the energy sector to seek alternative solutions. In this context, electric vehicles are emerging as a more environmentally friendly and economical transportation option compared to fossil fuel-powered vehicles. With the widespread adoption of electric vehicles, it has become essential to properly plan the charging infrastructure that will meet the energy needs of these vehicles. This study examines the site selection process for electric vehicle charging stations, utilizing the Pythagoras Fuzzy AHP and Pythagoras Fuzzy TOPSIS methods in the decision-making process. Various criteria such as density and location, charging efficiency, technical infrastructure, and environmental factors were considered in the location selection. As a result of spatial analyses conducted with the help of Geographic Information Systems (GIS), suitable areas were identified in the Keçiören district of Ankara province. This study aims to present a methodological difference that can be used in the location selection process for electric vehicle charging stations and to provide a guiding framework for criteria that can be considered in the decision-making process. The results obtained show that they can guide decision-makers in planning sustainable and environmentally friendly charging stations.

Keywords: Electric vehicles, charging station, location, efficiency

JEL Codes: C30, C60, C62.

1. GİRİŞ

Günümüzde elektrikli araçlara olan talebin hızla artması ve bu araçların gelişmekte olan bir pazar haline gelmesi, şarj altyapısının etkin biçimde planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde şarj altyapısının donanımsal yetersizliği, elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki temel engellerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, şarj istasyonlarının en düşük maliyetle en yüksek hizmeti sunacak şekilde konumlandırılması, sürdürülebilir ulaşım stratejileri açısından büyük önem taşımaktadır (Dörtköşe vd., 2022).

Küresel ölçekte artan nüfus ve teknolojik gelişmeler, enerji kaynaklarına olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Bu süreçte, fosil yakıtların sınırlı rezervleri, yüksek maliyetleri ve çevresel zararları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hız kazanmıştır. Fosil yakıtların en yaygın kullanım alanlarından biri olan içten yanmalı motorlu araçların yerine, elektrik motoru ile çalışan elektrikli araçlar çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilir bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Ancak menzil kısıtı ve batarya şarj süresi gibi teknik zorluklar, bu teknolojinin yaygınlaşmasını sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır (Kerem & Gürbak, 2020).

Fosil yakıtlı araçların neden olduğu hava kirliliği, sera gazı emisyonları ve gürültü kirliliği, kent yaşamını olumsuz etkilemekte; ayrıca halk sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu sorunlara çözüm olarak, şehirlerin sürdürülebilirliğini artırmaya yönelik

elektrikli araç geçiş stratejileri birçok ülke tarafından benimsenmiştir. Elektrikli araçlar, hava kalitesini artırmakta, karbon emisyonlarını azaltmakta ve şehirlerdeki gürültü kirliliğini önemli ölçüde düşürerek çevre ve insan sağlığına katkı sunmaktadır. Aynı zamanda küresel ısınmayla mücadelede de etkili bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, devlet destekli politikalarla elektrikli araçların sayısı dünya genelinde hızla artmaktadır (Bartolucci vd., 2021).

Bununla birlikte, elektrikli araçların yaygınlaşmasındaki en büyük engellerden biri olan şarj altyapısının eksikliği, bu araçların potansiyelinden tam olarak yararlanılmasını engellemektedir. Bu nedenle, şarj istasyonlarının stratejik olarak yerleştirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Şarj istasyonu yer seçimi; ekonomik, sosyal, çevresel ve kültürel birçok faktörü içeren karmaşık bir karar verme sürecidir. Geleneksel yöntemlerle bu sürecin yürütülmesi oldukça zaman alıcı ve güç olabilmektedir. Bu noktada, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri karar vericilere sistematik ve objektif bir değerlendirme imkânı sunmaktadır. Pisagor Bulanık AHP yöntemi kriterleri ağırlıklandırarak önceliklendirilmesini, Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi alternatiflerin sıralanmasını etkili biçimde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Literatürde, bu yöntemlerin elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi süreçlerinde başarıyla kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır (Hisoglu vd., 2023).

Türkiye'nin en kalabalık ilk beş ilçesi arasında yer alan ve Ankara'nın en kalabalık ikinci ilçesi konumundaki Keçiören, yüksek nüfus yoğunluğu, canlı ekonomik faaliyetleri ve ulaşım güzergâhlarındaki stratejik konumu ile dikkat çeken bir bölgedir. TC Ankara Valiliği verilerine göre Ankara ilinde yaklaşık 932.128 nüfusa sahip olan Keçiören, Yenişafak'ın 26.05.2025 tarihli haberinde ise Türkiye'nin en kalabalık ilçeleri arasında dördüncü sırada yer almaktadır. Artan nüfus ve buna bağlı olarak gelişen ulaşım ağları, enerji tüketimi ve çevresel etkiler açısından yeni ihtiyaçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ayrıca Keçiören'in doğu ve kuzeydoğusunda Pursaklar, kuzey ve kuzeydoğusunda Çubuk, kuzeybatısında ve batısında Kazan, güneybatısında Yenimahalle, güney ve güneydoğusunda ise Altındağ ilçeleriyle komşu olması, ilçeyi kentin önemli geçiş ve bağlantı noktalarından biri haline getirmektedir. Bu nedenle, hem yüksek nüfus yoğunluğu hem de çevresindeki ilçelerle kurduğu stratejik konum, Keçiören'in bu çalışmada seçilme gerekçesini oluşturmaktadır.

Özellikle elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bu bölgede şarj altyapısının planlanması kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu doğrultuda yapılacak çalışmalar yalnızca elektrikli araç kullanımını teşvik etmeyi değil, aynı zamanda emisyon değerlerini azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamayı da amaçlamaktadır. Ancak literatürde Keçiören özelinde yapılan çalışmaların sınırlı kalması, bu ilçeyi elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi ve altyapı planlaması açısından önemli bir araştırma alanı haline getirmektedir. Bu kapsamda Keçiören, hem mevcut talep ve potansiyelin analiz edilmesi hem de sürdürülebilir ulaşım hedeflerine katkı sağlayacak uygun çözüm önerilerinin geliştirilmesi bakımından dikkate değer bir çalışma alanı niteliği taşımaktadır.

Elektrikli araçların yaygınlaştırılabilmesi için şarj istasyonu ağlarının doğru biçimde planlanması büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemleri gibi çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin CBS ile kullanılması, karar süreçlerini daha etkin ve verimli kılmaktadır. Türkiye genelinde bu alanda yapılan çalışmaların büyük bölümü Ankara'nın en yoğun ilçesi olan Çankaya ilçesine odaklanmıştır. Ancak, nüfus bakımından benzer yoğunlukta olan Keçiören ilçesi için literatürde kapsamlı bir yer seçimi çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışma, Ankara ilinin Keçiören ilçesinde potansiyel elektrikli araç şarj istasyonu alanlarının belirlenmesine yönelik bilimsel bir metodoloji sunmakta; çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamayı ve elektrikli araç kullanıcılarının altyapı ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlamaktadır.

Yapılan çalışmanın planı şu şekildedir: çalışmanın birinci bölümünde elektrikli araçların kullanımında şarj istasyonlarının öneminden bahsedilmiştir. İkinci bölümde elektrikli araçlar için ve güzergah seçimi için detaylı literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde projede kullanılan çok kriterli karar verme yöntemine değinilmiş olup bunlardan Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerine ait bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde problemin uygulaması yapılmıştır. Beşinci bölümde sonuç ve tartışma yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Elektrikli Araçlar

Bu çalışma kapsamında, elektrikli araçlara ilişkin mevcut literatür incelenmiştir. Gusrialdi vd. (2014), elektrikli araçların şarj olma sürelerinin uzun sürmesi ve buna karşılık yeterli sayıda şarj istasyonunun en uygun yerlere kurulması analitik tasarım ve simülasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. He vd. (2023), elektrikli araçlarda şarj esnekliğini teşvik etmek ve istasyon kurulumunda konumu koordine etmek için planlama çerçevesi sunmaktadır. Yapılan çalışmada OD analizi, Floyd algoritması, Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Morro-Mello vd. (2019), Brezilya'nın orta büyüklükte bir şehrinde uygulanan metodoloji şarj sürelerini minimuma indiren ve en uygun konumu bulmayı amaçlanmıştır. Qiao vd. (2023), elektrikli araçlarda şarj verimliliğini arttırmak, hızlı şarjı desteklemek için en iyi konumu seçmeye yönelik yapılan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yöntem olarak MPEC modeli ve FCSP kullanılmıştır. Hajibabai vd. (2022), elektrikli araç kullanımını arttırmak için verimli şarj istasyonlarının en iyi konumlandırma ve düşük maliyetle sunabilme amaçlamaktadırlar. Çözüm tekniği olarak genelleştirilmiş Nash Dengesi ve Monte Carlo Ağaç Araması kullanılmıştır. Zhang vd. (2024), elektrikli araçlar için şarj verimliliğini arttırmaya ve optimize etmek için yapılan bir araştırma yapmışlardır. Yöntem olarak NUDGE temelli yaklaşım ve kullanıcı modeli tercih edilmiştir. Bilgilioğlu (2022), fosil yakıtlı araçların çevreye zarar verdiği ve sürdürülebilir bir gelecek için elektrikli araçların teşvik edilmesi gerektiği belirlenmiştir. Çalışmalar, şarj istasyonu yer seçiminde Bulanık AHP ve CBS'nin etkili olduğunu, altyapı gelişiminin ise benimsenmeyi artırmada kritik rol oynadığını göstermektedir. Krishankumar & Ecer (2024),

elektrikli araçlar ile ilgili tüketici araştırması ve satın alma niyeti üzerine çalışma yapmışlardır. Yöntem olarak DHHFLTS tabanlı CRADIS tercih edilmiştir. Kerem (2014), elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve bu teknolojinin geleceğe yönelik potansiyel etkilerini ele alan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Durmuş vd. (2020), elektrikli araçlar ile içten yanmalı motorlu araçlar arasında karşılaştırmalı bir analiz yaparak, elektrikli araç teknolojisinin teknik ve çevresel boyutlarına ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmuştur. Özbay vd. (2020) ise benzer şekilde, içten yanmalı motorlu araçlar ile elektrikli araçların performans, enerji verimliliği ve çevresel etkiler bakımından karşılaştırıldığı bir araştırma ortaya koymuştur. Gürbüz vd. (2016), elektrikli araçların hava kalitesini iyileştirme, karbondioksit emisyonlarını ve gürültü kirliliğini azaltma potansiyeline sahip olduğunu belirtmiş; ancak uzun şarj süreleri, sınırlı batarya kapasiteleri ve yetersiz şarj altyapısının bu araçların yaygınlaşmasının önündeki temel engeller olduğunu vurgulamıştır. Karapınar ve Daldaban (2022) ise elektrikli araçlarda şarj süresinin uzunluğu ve yavaşlığı sorunlarına odaklanarak, farklı tipteki şarj istasyonlarını teknik özellikleri ve performans açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir.

2.2. Güzergah Seçimi

Bu çalışma kapsamında, güzergah seçimine ilişkin mevcut literatür incelenmiştir. Aizpuru vd. (2020), elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılmasında güzergah seçiminde optimum konum belirleme, minimum kurulum maliyeti sağlama ve maksimum sayıda elektrikli araca hizmet sunabilme hedeflerini içeren bir optimizasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Vijayalakshmi vd. (2022), elektrikli araç şarj istasyonu tasarımı yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve maksimum verimliliğin sağlanmasına odaklanarak, optimum tasarım metodolojisi önermektedir. Mandacı & Tolga (2023), İstanbul özelinde çevresel ve ekonomik kriterleri ön planda tutarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar verme yöntemi ile bir metodoloji geliştirmiştir. Wang vd. (2019), Hindistan'ın Manaparai şehri örneğinde elektrikli araç şarj istasyonu kurulumunda hizmet kabiliyeti, ekolojik etki, arazi maliyeti ve trafik yoğunluğu gibi kriterlerin belirlenmesini ve optimal tasarım modelinin kullanımını içeren bir çalışma sunmuştur. Bartolucci vd. (2021), şarj istasyonu kurulumu sürecinde elektrik altyapısı ve enerji verimliliğinin önemine vurgu yaparak şarj altyapısı simülasyonları gerçekleştirmiştir. Kaya vd. (2022), uzun mesafeli elektrikli araç yolculuklarını desteklemek amacıyla istasyonların konum ve kapasitelerinin tasarlanmasına yönelik bir çalışma yürütmüş ve Bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Krishankumar & Ecer (2024), elektrikli araç şarj istasyonu kurulumunda yoğunluk, yenilenebilir enerji kullanımı, maliyet ve trafik yoğunluğu kriterlerini DHHFLTS tabanlı CRADIS yöntemi ile ağırlıklandırmış ve CBS ile entegrasyonunu gerçekleştirmiştir. Sikora vd. (2024), artan elektrikli araç sayısına paralel olarak yetersiz istasyon sayısını artırmayı hedefleyen projelerinde teknik, sosyal ve ekonomik kriterleri göz önünde bulundurmıştır. Mateus vd. (2024), elektrikli araç kullanımının önündeki en büyük engel olarak görülen yetersiz şarj istasyonu sayısını ele almış ve altyapı

kriterine odaklanmıştır. Herbst vd. (2019), şarj istasyonlarının kurulum süreci ve sonrasında sağlaması gereken şartlar ile ulusal standartlara ilişkin deneysel temelli bir değerlendirme sunmuştur. Dagteke & Unal (2024), turistik bölgelerde estetik açıdan olumsuz etkiler yaratmadan, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak elektrikli araç şarj istasyonu kurulumuna yönelik FC modeli tabanlı bir araştırma yürütmüştür. Jensanyayut vd. (2020) ise güneş enerjisi ile çalışan istasyonların kurulumu ve performans analizi üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir.

3. YÖNTEM

Çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi problemi, çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarından Pisagor Bulanık ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. İlk aşamada, karar sürecinde etkili olan kriterlerin önem düzeyleri, uzman görüşleri doğrultusunda Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. İkinci aşamada ise belirlenen kriter ağırlıkları dikkate alınarak alternatiflerin göreceli performansları Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi aracılığıyla değerlendirilmiş ve sıralama elde edilmiştir. Bu yaklaşım, hem kriterlerin ağırlıklarının hem de alternatiflerin ideal çözüme olan yakınlıklarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

Klasik AHP yöntemi, kriterlerin ağırlıklarını ikili karşılaştırmalar yoluyla belirlemekte ve tutarlılık analizine olanak sağlamaktadır. Ancak bu yöntem, karar vericilerin değerlendirmelerinin kesin sayısal ifadeler gerektirmesi nedeniyle, öznel yargılardaki belirsizlikleri yeterince yansıtamamaktadır. Pisagor Bulanık AHP ise, bulanık kümeler kuramını Pisagor üyelik fonksiyonu ile birleştirerek, karar vericilerin belirsizlik, güvensizlik ve tereddüt düzeylerini daha etkin şekilde modelleyebilmektedir. Bunun yanı sıra, Pisagor Bulanık AHP, klasik AHP'ye göre daha yüksek bir ifade gücü sunmakta; uzman değerlendirmelerindeki farklılıkları daha gerçekçi biçimde yansıtmakta ve kriter ağırlıklarının belirlenmesinde daha sağlam bir temellendirme sağlamaktadır. Klasik TOPSIS ve Bulanık TOPSIS, alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklarını dikkate alarak sıralama yapan çok ölçütlü karar verme yöntemleridir. Ancak bu yöntemler, karar vericilerin değerlendirmelerinde ortaya çıkan belirsizlikleri yalnızca sınırlı biçimde ele alabilmekte ve çoğu durumda kesin yargılara dayanmaktadır. Buna karşılık, Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi, karar vericilerin görüşlerindeki belirsizlik, kararsızlık ve tereddüt düzeylerini daha geniş bir aralıkta temsil edebilmekte; böylece alternatifler arasındaki göreceli farkları daha hassas biçimde ortaya koymaktadır. Ayrıca, Pisagor Bulanık TOPSIS' in üyelik, karşıtlık ve tereddüt derecelerini aynı anda değerlendirebilme özelliği, yöntemin klasik yaklaşımlara kıyasla daha esnek ve güvenilir sonuçlar üretmesini sağlamaktadır.

3.1. Pisagor Bulanık AHP

Pisagor Bulanık AHP, geleneksel AHP yönteminin, belirsizlik ve öznel değerlendirmelerin daha gerçekçi biçimde modellenebilmesi amacıyla Pisagor bulanık mantıkla geliştirilmiş bir versiyonudur. Geleneksel AHP, karar problemlerini hiyerarşik bir yapıya ayırarak ikili karşılaştırma matrisleri aracılığıyla kriterlerin göreceli önemlerini belirler. Ancak bu yöntem, özellikle niteliksel verilerin ve sezgisel yargıların ağırlıklı olduğu karar problemlerinde yetersiz kalabilmektedir. Pisagor bulanık mantık, bir elemanın belirli bir öznel değere ait olma (μ) ve olmama (ν) derecelerinin karelerinin toplamının birden küçük ya da eşit olması ($\mu^2 + \nu^2 \leq 1$) esasına dayanır. Bu sayede karar vericilerin değerlendirmeleri daha hassas ve sayısal biçimde analiz edilebilir hale gelmektedir (Hisoglu vd., 2023).

Yöntemin uygulanması sürecinde, karar vericilerin tercihlerini ifade ederken kullandıkları dilsel değerlendirmeler, Pisagor bulanık kümeler aracılığıyla nicel değerlere dönüştürülmüştür.

Karar matrisi oluşturulurken, uzman görüşlerine dayalı olarak kullanılan dilsel değişkenler ve bu değişkenlerin karşılık geldiği Pisagor bulanık sayılar Tablo 2'de sunulmuştur. Bu yaklaşım, değerlendirme sürecinde belirsizlik ve öznellik içeren durumların daha doğru bir biçimde analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece, şarj istasyonlarının konumlandırılmasında daha tutarlı, sistematik ve güvenilir sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Tablo 1' de Pisagor Bulanık sayı ölçeği ve dilsel değişkenler tablosu verilmiştir.

Tablo 1: Dilsel değişkenler

Dilsel Değişkenler	Pisagor Bulanık Sayılar			
	En Düşük Üye Olma Derecesi (μ_L)	En Yüksek Üye Olma Derecesi (μ_U)	En Düşük Üye Olmama Derecesi (ν_L)	En Yüksek Üye Olmama Derecesi (ν_U)
Kesinlikle Düşük (KD)	0,000	0,000	0,900	1,000
Çok Düşük (ÇD)	0,100	0,200	0,800	0,900
Düşük (D)	0,200	0,350	0,650	0,800
Ortalamanın Altı (OA)	0,350	0,450	0,550	0,650
Eşit (E)	0,197	0,197	0,197	0,197
Ortalama (O)	0,450	0,550	0,450	0,550
Ortalamanın Üstü (OÜ)	0,550	0,650	0,350	0,450
Yüksek (Y)	0,650	0,800	0,200	0,350
Çok Yüksek (ÇY)	0,800	0,900	0,100	0,200
Kesinlikle Yüksek (KY)	0,900	1,000	0,000	0,000

Kaynak: Ilbahar vd., 2018.

Pisagor Bulanık AHP yöntemi aşağıdaki adımlarla uygulanır:

Adım 1: Pisagor bulanık ikili karşılaştırma matrisi oluşturulması.

Karar kriterleri, dilsel değişkenlere dayalı olarak karar vericiler tarafından ikili biçimde karşılaştırılır ve buna göre Pisagor bulanık sayılarla tanımlanan ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$R = (r_{ij})_{m \times m} \quad (1)$$

Adım 2: Farklar matrisinin oluşturulması

Her bir ikili karşılaştırma için farklar matrisi $D = (d_{ij})_{m \times m}$ hesaplanır. Burada fark değeri, üyelik (M) ve karşıtlık (V) derecelerinin Pisagor bulanık uzaydaki farkları ile elde edilir:

$$d_{ijL} = \mu_{ijL}^2 - v_{ijU}^2 \quad d_{ijU} = \mu_{ijU}^2 - v_{ijL}^2 \quad (2)$$

Adım 3: Çarpımsal matrisin hesaplanması

Çarpımsal matris $S = (s_{ij})_{m \times m}$, elde edilen farklara göre aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$s_{ijL} = \sqrt{1000^{d_{ijL}}} \quad s_{ijU} = \sqrt{1000^{d_{ijU}}} \quad (3)$$

Adım 4: Tereddüt derecelerinin belirlenmesi

Tereddüt dereceleri matrisi $H = (h_{ij})_{m \times m}$, üyelik ve karşıtlık derecelerinin farklarına göre şu şekilde hesaplanır:

$$h_{ij} = 1 - (\mu_{ijU}^2 - \mu_{ijL}^2) - (v_{ijU}^2 - v_{ijL}^2) \quad (4)$$

Adım 5: Normalize edilmemiş ağırlıkların hesaplanması

$T = (t_{ij})_{m \times m}$ olmak üzere, normalize edilmemiş ağırlıklar aşağıdaki formülle elde edilir:

$$t_{ij} = \left(\frac{s_{ijL} + s_{ijU}}{2} \right) * h_{ij} \quad (5)$$

Adım 6: Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Her bir kriterin ağırlığı w_i , aşağıdaki normalize formülle belirlenir:

$$w_i = \left(\frac{\sum_{j=1}^m t_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{ij}} \right) * h_{ij} \quad (6)$$

Adım 7: Sonuçların yorumlanması ve karar verilmesi

Tüm kriter ağırlıkları ve alternatif değerlendirmeleri bir araya getirilerek, her alternatif için toplam puan hesaplanır. En yüksek toplam puana sahip olan alternatif, karar verici açısından en uygun çözüm olarak seçilir. Bu süreç, karar vericinin hedef ve önceliklerine en uygun sonucu belirlemesine olanak tanır.

3.2. Pisagor Bulanık TOPSIS

Pisagor Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralaması (TOPSIS), klasik TOPSIS yönteminin belirsizlik ve bulanıklık içeren durumlara uyarlanmış bir türevidir. Klasik TOPSIS, alternatifleri pozitif ideal çözüme olan yakınlığı ve negatif ideal çözüme olan uzaklığına göre sıralamayı esas alır. Ancak, gerçek hayattaki karar problemleri çoğunlukla belirsizlik, eksik bilgi ve öznel yargılar içerdiğinden, klasik TOPSIS yöntemi bu koşullarda yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, Pisagor bulanık küme teorisinin klasik TOPSIS yapısına entegre edilmesiyle daha esnek, duyarlı ve gerçekçi bir karar destek modeli geliştirilmiştir (Tezcan, 2024).

Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi, alternatiflerin değerlendirilmesini ve ideal çözüme olan uzaklıkların hesaplanmasını Pisagor Teoremi temelinde, bulanık sayılar yardımıyla gerçekleştirmektedir. Böylece öznel ve sezgisel veriler sayısal forma dönüştürülerek ÇKKV süreçlerine dahil edilebilmektedir.

Klasik TOPSIS ve Bulanık TOPSIS, alternatifleri ideal çözüme göre sıralarken belirsizliği sınırlı ölçüde dikkate almaktadır. Pisagor Bulanık TOPSIS, belirsizlikleri daha kapsamlı şekilde hesaba katarak diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerine göre alternatiflerin göreceli yakınlığını daha güvenilir bir şekilde hesaplamaktadır. Yöntem uygulaması için kullanılacak dilsel değişkenler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2: Pisagor Bulanık TOPSIS Yönteminde Kullanılan Dilsel Değişkenler

Dilsel Değişken ve Bulanık Sayı (PBS)	u	v
Aşırı Düşük (AD)	0,1	0,99
Çok Az (ÇA)	0,1	0,97
Küçük (K)	0,25	0,92
Orta Küçük (OK)	0,4	0,87
Orta (O)	0,5	0,8
Orta Yüksek (OY)	0,6	0,71
Yüksek (Y)	0,7	0,6
Çok Yüksek (ÇY)	0,8	0,44
Son Derece Yüksek (SDY)	0,1	0

Yöntemin temel adımları aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

Adım 1: Karar vericiler tarafından değerlendirmelerin yapılması

İlgili kriterler ve alternatifler, karar vericiler tarafından dilsel değişkenler ya da bulanık değerlendirme ölçekleri kullanılarak değerlendirilir.

Adım 2: Karar matrisi oluşturulması

Pisagor bulanık sayılardan oluşan karar matrisi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$R = (C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{pmatrix} P(U_{11}, V_{11}), P(U_{12}, V_{12}), \dots & P(U_{1n}, V_{1n}), \\ P(U_{21}, V_{21}), P(U_{22}, V_{22}), \dots & P(U_{2n}, V_{2n}), \\ \vdots & \vdots \\ P(U_{m1}, V_{m1}), P(U_{m2}, V_{m2}), \dots & P(U_{mn}, V_{mn}) \end{pmatrix} \quad (7)$$

Adım 3: Pisagor bulanık ideal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

Pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözüm (NIS) her bir kriter için maksimum ve minimum değerlere göre belirlenir:

$$x^+ = \{C_j, \max(s_j(C_j(x_i))) \mid j=1, 2, \dots, n\} = \{(C_1, P(U_1^+, V_1^+)), (C_2, P(U_2^+, V_2^+)), \dots, (C_n, P(U_n^+, V_n^+))\} \quad (8)$$

$$x^- = \{C_j, \min(s_j(C_j(x_i))) \mid j=1, 2, \dots, n\} = \{(C_1, P(U_1^-, V_1^-)), (C_2, P(U_2^-, V_2^-)), \dots, (C_n, P(U_n^-, V_n^-))\} \quad (9)$$

Adım 4: Alternatiflerin ideal ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklarının hesaplanması

Her alternatif için ideal ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$D(x_i, x^+) = \sum_{j=1}^n w_j d\left((C_j(x_i), C_j(x^+))\right) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(|u_{ij}^2 - u_j^+|^2 + |v_{ij}^2 - v_j^+|^2 + |\pi_{ij}^2 - \pi_j^+|^2 \right) \quad (10)$$

$$D(x_i, x^-) = \sum_{j=1}^n w_j d\left((C_j(x_i), C_j(x^-))\right) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(|u_{ij}^2 - u_j^-|^2 + |v_{ij}^2 - v_j^-|^2 + |\pi_{ij}^2 - \pi_j^-|^2 \right) \quad (11)$$

Adım 5: Göreli yakınlık indekslerinin hesaplanması

Her bir alternatif için göreli yakınlık indeksi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

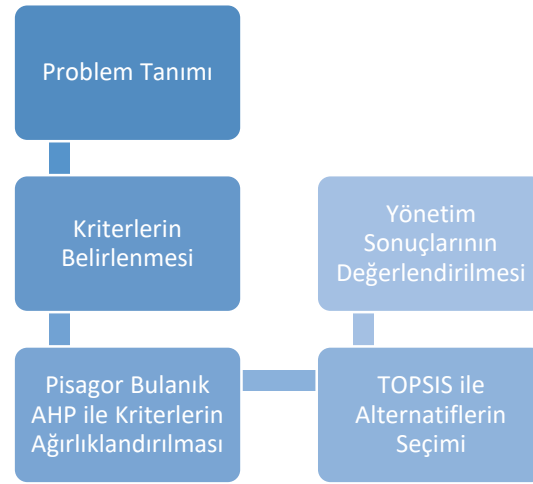
$$\xi(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{(D_{\max}(x_i, x^-))} - \frac{D(x_i, x^+)}{(D_{\min}(x_i, x^+))} \quad (12)$$

Adım 6: Alternatiflerin sıralanması

Elde edilen göreli yakınlık indekslerine göre alternatifler sıralanır. En yüksek değere sahip olan alternatif, ideal çözüme en yakın ve en uygun seçenek olarak belirlenir.

4. UYGULAMA

Yapılan çalışmalar, Şekil 1'de sıra ile ilk olarak, araştırma kapsamında çözülmesi gereken problem tanımlanmış; ardından bu probleme ilişkin gerekli veriler toplanmıştır. Üçüncü aşamada, literatür incelemesi ve uzman görüşleri doğrultusunda karar sürecinde dikkate alınacak kriterler belirlenmiştir. Dördüncü aşamada, belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması amacıyla Pisagor Bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır.



Şekil 1: Elektrikli araçların şarj istasyonlarını belirleme akış şeması

Beşinci adımda, değerlendirmeye alınacak alternatifler tanımlanarak karar modeli oluşturulmuştur. Altıncı aşamada ise, elde edilen kriter ağırlıkları doğrultusunda alternatiflerin sıralanması ve en uygun seçeneğin belirlenmesi amacıyla Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Son olarak, yöntem sonucunda elde edilen bulgular analiz edilmiş ve değerlendirme sonuçları kapsamlı bir şekilde yorumlanmıştır.

4.1. Problem Tanımlanması

Bu çalışmada, elektrikli araçlar için en verimli şarj istasyonu kurulumuna yönelik kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı olarak Ankara ilinin Keçiören ilçesi tercih edilmiştir. Keçiören'in seçilmesinin temel nedenleri arasında, ilçenin Ankara'nın en kalabalık yerleşim alanlarından biri olması, elektrikli araç kullanımını arttırmak için mevcut şarj alt yapısını geliştirmeye gitmek, bölgeden geçen çok sayıda ana arter ve ulaşım güzergâhının bulunması ile bu alanda yapılmış önceki çalışmaların yetersizliği yer almaktadır. Bu durum, Keçiören'i potansiyel bir şarj altyapısı geliştirme merkezi hâline getirmektedir.

Projenin temel amacı; fosil yakıt kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği destekleyen elektrikli araçların yaygın kullanımını teşvik etmek, kullanıcıların erişimini kolaylaştırmak ve şarj sürelerini minimuma indirerek enerji verimliliğini artırmaktır. Bu kapsamda, hem teknik hem de demografik veriler dikkate alınarak şarj istasyonlarının en uygun konumlara yerleştirilmesi hedeflenmiştir. Böylece, hem mevcut kullanıcıların ihtiyaçlarının karşılanması hem de potansiyel kullanıcıların teşvik edilmesiyle birlikte, kentsel mobilitenin daha sürdürülebilir ve verimli bir hâle getirilmesi amaçlanmaktadır.

4.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi sürecinde dikkate alınması gereken kriterler, daha önce yapılmış benzer literatür taramaları doğrultusunda belirlenmiştir. Bu çalışmada

alternatif konumlar, belirlenen güzergâh üzerindeki kriterlere en uygun alanlar arasından seçilmiştir. Uygun alanlar belirlenirken, özellikle elektrik altyapısına sahip bölgeler, ana ulaşım akslarına yakınlık, nüfus yoğunluğu, ticari faaliyetlerin yoğun olduğu bölgeler gibi çeşitli faktörler değerlendirilmiştir. Ayrıca, halihazırda faaliyet gösteren şarj istasyonlarının dağılımını analiz etmek amacıyla Google Haritalar üzerinden E-şarj gibi mevcut şarj ağı sağlayıcılarının konumları incelenmiştir. Bu yöntem sayesinde, hem kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verebilecek hem de teknik açıdan uygulanabilir alanların belirlenmesi hedeflenmiştir. Böylece, şarj altyapısının planlanmasında hem teorik hem de pratik verilerden yararlanılarak daha gerçekçi ve sürdürülebilir çözümler sunulması amaçlanmıştır (Bilgiliöğlu, 2022).

Çalışmada kullanılan kriterlerin belirlenmesinde hem literatür taramasına hem de çalışmanın özgün amacına dayalı bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu kapsamda, kriterlerin bir bölümü elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi üzerine gerçekleştirilmiş çalışmalardan atıf verilerek seçilmiştir. Böylece literatürde kabul görmüş değerlendirme unsurlarının modele entegrasyonu sağlanmıştır. Bununla birlikte, mevcut çalışmaların sınırlılıklarını gidermek ve bölgesel koşulları dikkate almak amacıyla bazı kriterler özgünlük açısından uygun görülmüş ve araştırma kapsamında yeni olarak eklenmiştir. Kriterlerin isimleri ve tanımlanmaları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Kriterler ve açıklamaları

Kriter Numarası	Kriterler	Açıklamalar
K1	Yoğunluk ve lokasyon (Bilgiliöğlu, 2022)	Şarj istasyonunun, bulunduğu bölgedeki nüfus yoğunluğu ve araç trafiği dikkate alınarak stratejik açıdan uygun bir konumda konumlandırılması gerekmektedir. Bu sayede istasyonun erişilebilirliği artırılarak kullanıcı talebine etkin biçimde yanıt verilmesi amaçlanmaktadır.
K2	Şarj Verimliliği (Aizpuru vd., 2020)	Şarj istasyonlarında enerji aktarım hızının yüksek düzeyde olması, kullanıcıların bekleme süresinin azaltılmasını sağlamaktadır.
K3	Kullanılabilirlik	Şarj istasyonlarının tasarım sürecinde, aynı anda daha fazla sayıda aracın hizmet alabilmesini sağlayacak bir kapasite planlamasının gerçekleştirilmesi beklenmektedir.
K4	Elektrik Altyapısı (Aizpuru vd., 2020)	Şarj istasyonunun kurulacağı bölgede yeterli elektrik hattı, güç kapasitesi ve enerji sürekliliğinin bulunması gerekmektedir.
K5	Teknik Yeterlilik	Şarj istasyonunda kullanılan teknolojik donanımın, performans, güvenilirlik ve bakım kolaylığı açısından yeterli standartlara uygunluk göstermesi beklenmektedir.
K6	Güvenlik ve Önlemler	Şarj istasyonlarının, kullanıcı güvenliğini temin etmek amacıyla gerekli koruma önlemleriyle donatılması gerekmektedir.
K7	Maliyet (Hajibabai vd., 2022)	Şarj istasyonunun kurulum, işletim ve bakım maliyetlerinin, ekonomik sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda optimize edilmesi gerekmektedir.
K8	Çevresel Faktörler (Bilgiliöğlu, 2022)	Gürültü duyarlılığı, afet riski ve arazi kullanımı gibi unsurların dikkate alınmasıyla çevresel etkilerin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.
K9	Uluslararası Standartlara Uygunluk	Şarj altyapısının IEC 61851, ISO 15118 gibi uluslararası standartlara uygun biçimde tasarlanması zorunludur. Bu standartlara uyum, sistem güvenliği, birlikte çalışabilirlik ve hizmet kalitesinin güvence altına alınmasını sağlamaktadır.
K10	Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Şarj istasyonunun enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada oluşturulan hiyerarşik yapı, yalnızca amaca bağlı olarak düzenlenmiş; kriterler arasında herhangi bir yatay ilişki, geri besleme veya etkileşim tanımlanmamıştır. Belirlenen kriterler kavramsal olarak farklı boyutları temsil etmektedir. Örneğin “Yoğunluk ve Lokasyon” mekânsal uygunluğu, “Elektrik Altyapısı” teknik yeterliliği, “Çevresel Faktörler” ise çevresel sürdürülebilirliği ifade etmektedir. Bu yönüyle kriterler farklı değerlendirme eksenlerine ait olup, aralarında doğrudan bir nedensel bağımlılık bulunmamaktadır. Ayrıca uzman görüşleri doğrultusunda yapılan ön değerlendirmelerde, kriterlerin bağımsız olarak değerlendirilebileceği konusunda fikir birliği sağlanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen tutarlılık oranının kabul edilebilir düzeyde olması ($CR=0,0285 < 0.10$), kriterlerin bağımsız olarak ele alınmasının yöntem ve sonuçlara uygun olduğunu göstermektedir. Bu nedenlerle, çalışmada kullanılan kriterlerin birbirinden bağımsız olduğu kabulü hem yöntemsel hem de kavramsal açıdan geçerlidir.

4.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

Bu bölümde, araştırma kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda önerilen çözüm yolları değerlendirilmiştir. Alternatif yaklaşımlar, uygulama açısından sağladıkları avantaj ve dezavantajlarla birlikte ele alınmıştır. Alternatifler ve tanımlamaları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Alternatifler ve açıklamaları

Alternatif Numarası	Alternatifler	Tanımlamalar
A1	Antares AVM	Bölgedeki ana güzergahlar üzerinde konumlanmakta ve güçlü altyapı ile desteklenmektedir.
A2	Ihlamur Vadisi	Yüksek yerel yoğunluk, elverişli çevresel koşullar ve yenilenebilir enerji potansiyeli göstermektedir.
A3	Vega Subayevleri AVM	Orta düzey talep, yeterli altyapı kapasitesi ve stratejik konum avantajı sunmaktadır.
A4	Altınpark	Bölge merkezi konumda yer almakta, yüksek yoğunluk barındırmakta ve yenilenebilir enerji kaynakları açısından uygundur.
A5	FTZ AVM	Ana çıkış yoluna yakın konumda olup çevresel koşullar uygun ve altyapısı güçlüdür.
A6	Hasköy-Havalimanı Yolu	Kritik güzergah üzerinde yer almakta, güçlü altyapıya sahip ve yenilenebilir enerji açısından elverişlidir.

Lokasyon seçimi olarak Keçiören ilçesinde bulunan Antares AVM, Endeksa’dan alınan verilere göre bölgede bulunan yüksek nüfus yoğunluğu (38.525 kişi), araç sayısının fazla olması (15.739 otomobil) ve gelişmiş ticari altyapısı (1.169 işyeri, 16.423 konut, 35 ATM) dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca ulaşım ağlarının kesişim noktasında bulunması, alanın gün boyunca yoğun insan trafiğine sahip olmasını sağlamaktadır. Bu göstergeler, şarj istasyonu için talep potansiyelinin yüksek olduğunu ve yer seçiminin demografik, ekonomik ve erişilebilirlik temelli rasyonel bir yaklaşıma dayandığını göstermektedir.

FTZ AVM, Endeksa'dan alınan verilere göre yoğun nüfusu (14.828 kişi), yüksek araç sayısı (4.460 otomobil) ve merkezi konumu nedeniyle şarj istasyonu kurulumu için uygun görülmüştür. Bölgedeki 4.963 konut ve 395 işyeri, istasyonun sürekli kullanıcı potansiyelini desteklemekte; %51,7 oranındaki orta yaş grubunun ağırlığı da aktif araç kullanıcısı profilini yansıtmaktadır. Kalaba merkezinde yer alan bu nokta, ticaret ve ulaşım ağlarının kesişiminde bulunduğundan kullanıcı trafiği açısından avantaj sağlamaktadır. Bu nedenlerle söz konusu lokasyon, talep yoğunluğu ve sürdürülebilir hizmet kapasitesi bakımından uygun bir tercih olarak değerlendirilmiştir.

Vega Subayevleri AVM, Endeksa'dan alınan verilere göre yoğun yerleşim dokusu ve mevcut araç kullanımı ile elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu için uygun bir alan olarak değerlendirilmiştir. Bölgede 28.185 kişilik nüfus, 11.321 konut ve 474 işyeri bulunmakta; bu durum hem konut hem ticari kullanıma yönelik sürekli bir enerji talebini göstermektedir. 6.859 otomobil ve toplam 2.536 araç sayısı, istasyonun kullanım sıklığının yüksek olacağını işaret etmektedir. Nüfusun yarısından fazlasını oluşturan orta yaş grubunun (yaklaşık %51) aktif sürücü profiline sahip olması da kullanıcı potansiyelini güçlendirmektedir. Ayrıca bölge, ana ulaşım hatları ve ticaret merkezlerine yakın konumu sayesinde erişilebilirlik avantajı sağlamaktadır. Tüm bu göstergeler, seçilen lokasyonun sürdürülebilir hizmet sunumu ve talep yoğunluğu açısından uygun bir tercih olduğunu ortaya koymaktadır.

Altınpark bölgesi, Endeksa'dan alınan verilere göre hem yoğun nüfus yapısı hem de yüksek sayılabilecek araç sahipliği oranı nedeniyle elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu için uygun bir konumdur. Bölgede 28.185 kişi yaşamaktadır ve nüfus yoğunluğu 6.422 kişidir. Toplam 11.321 konut ve 474 işyerinin varlığı, sürekli bir enerji talebinin bulunduğunu göstermektedir. 6.859 otomobil ve 2.536 toplam araç sayısı, bölgedeki ulaşım trafiğinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Nüfusun yarıdan fazlasını oluşturan orta yaş grubu (%51,6), aktif sürücü profilini temsil etmektedir. Ayrıca Altınpark'ın merkezinde yer alan bu alan, yoğun ziyaretçi çeken rekreasyon, fuar ve etkinlik merkezlerine yakınlığıyla da kullanıcı çeşitliliğini artırmaktadır. Bu göstergeler ışığında, seçilen lokasyon sürdürülebilir kullanım potansiyeli açısından stratejik bir tercih olarak değerlendirilmiştir.

Ihlamur Vadisi, Endeksa'dan alınan verilere göre bölgedeki nüfus yoğunluğu ve araç sayısı dikkate alındığında elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu için uygun bir alandır. Bölgede 28.185 kişilik nüfus bulunmakta, 11.321 konut ve 474 işyeri yer almaktadır. 6.859 otomobil ve toplam 2.536 araç sayısı, bölgedeki ulaşım trafiğinin yüksekliğini göstermektedir. Nüfusun yarısından fazlasının orta yaş grubunda olması, aktif araç kullanıcılarının yoğunluğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca park çevresinde bulunan ticari işletmeler, rekreasyon alanları ve yaya trafiği, istasyonun sürekli kullanılabilirliğini desteklemektedir. Bu nedenlerle seçilen konum, erişim kolaylığı ve talep potansiyeli bakımından rasyonel bir tercih olarak değerlendirilmiştir.

Hasköy-Havalimanı yolunda olan bu bölge, Endeksa'dan alınan verilere göre 29.599 kişilik nüfusuyla elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu için uygun bir konumdur. Bölgede 12.550 konut ve 801 işyeri bulunmakta; bu da hem konut hem ticaret kaynaklı sürekli bir sirkülasyona işaret etmektedir. 7.830 otomobil ve toplam 2.895 araç sayısı, bölgede araç trafiğinin yoğun olduğunu göstermektedir. Nüfusun yarıdan fazlasını oluşturan orta yaş grubu (%53,7), aktif sürücü kitlesini temsil etmektedir. Ayrıca bölgenin ana ulaşım aksı üzerinde yer alması ve çevresinde ticari işletmelerin yoğunluğu, istasyonun hem erişilebilirliğini hem de kullanım potansiyelini artırmaktadır. Bu nedenlerle seçilen lokasyon, talep yoğunluğu, erişim ve sürdürülebilir hizmet kapasitesi bakımından uygun bir tercihtir.

4.4. Pisagor Bulanık AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Bu çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılmasında dikkate alınması gereken kriterler, kapsamlı bir literatür taraması sonucunda belirlenmiş ve toplamda 10 ana kriter oluşturulmuştur. Söz konusu kriterlerin değerlendirilmesinde karar vericilerin öznel yargılarını daha esnek ve gerçekçi bir şekilde modelleyebilmek amacıyla Pisagor Bulanık AHP tercih edilmiştir.

Yöntemin uygulanması sürecinde, karar matrisi oluşturulurken kullanılan dilsel değişkenler, Tablo 1'de sunulan karşılık gelen Pisagor bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Bu sayede, uzman değerlendirmelerinde yer alan dilsel ifadeler, matematiksel olarak analiz edilebilir hâle getirilmiştir. Bu harflendirme, modelin uygulanabilirliğini artırmak ve karar vericilerin tercihlerini daha sade ve sistematik bir şekilde ifade etmelerine olanak sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, karar sürecinde kullanılan Pisagor bulanık sayılara karşılık gelen harflendirme sistemi ise Tablo 3'te detaylı şekilde gösterilmiştir.

Bu değerler, hem teknik hem de saha verilerine dayalı olarak mühendislik ölçümleri, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzman görüşleri aracılığıyla belirlenmiştir. Süreçte, endüstri mühendisliği bölümü profesör doktoru, endüstri mühendisliği bölümü doçent doktorunun içlerinde yer aldığı 5 uzman ile görüşmeler yapılmıştır. Uzmanlar alanlarında yetkin, çeşitli konular ve yöntemler üzerine çalışmaları olan kişilerden seçilmiştir. Karar vericiler, şarj istasyonlarının konumlandırılmasında dikkate alınması gereken kriterleri ayrı ayrı değerlendirmiş, ardından grup karar verme yöntemiyle görüş birliği sağlanmıştır. Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerinin doğası gereği belirsizlikleri belirli ölçüde dengeleyebilme kabiliyeti, uzman sayısının az olmasından kaynaklanabilecek önyargı etkilerini kısmen azaltmaktadır. Bununla birlikte, gelecekteki çalışmalarda uzman sayısının artırılması, farklı uzmanlık alanlarından katılımcıların dahil edilmesi ve karşılaştırmalı analizlerin yapılmasıyla sonuçların güvenilirlik ve geçerlilik düzeylerinin güçlendirilmesi önerilmektedir.

Değerlerin nihai hâline ulaşılmasında, hem teknik ölçümler hem de uzmanların saha deneyimleri birleştirilerek nesnel ve uygulanabilir bir çerçeve oluşturulmuştur. Tablo 5' te dilsel değişkenler ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir.

Tablo 5: Dilsel değişkenler ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Yoğunluk ve Lokasyon	Şarj Verimliliği	Kullanılabilirlik	Elektrik Altyapısı	Teknik Yeterlilik	Güvenlik ve Önlemler	Maliyet	Çevresel Faktörler	Uluslararası Standartlar	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Yoğunluk Ve Lokasyon	E	O	O	OÜ	OÜ	Y	Y	ÇY	ÇY	KY
Şarj Verimliliği	O	E	O	OÜ	OÜ	Y	Y	ÇY	ÇY	KY
Kullanılabilirlik	O	O	E	O	OÜ	OÜ	Y	Y	ÇY	ÇY
Elektrik Altyapısı	OA	OA	O	E	O	OÜ	OÜ	Y	Y	ÇY
Teknik Yeterlilik	OA	OA	OA	O	E	O	OÜ	OÜ	Y	Y
Güvenlik Ve Önlemler	D	D	OA	OA	O	E	O	OÜ	OÜ	Y
Maliyet	D	D	D	OA	OA	O	E	O	OÜ	OÜ
Çevresel Faktörler	ÇD	ÇD	D	D	OA	OA	O	E	O	OÜ
Uluslararası Standartlar	ÇD	ÇD	ÇD	D	D	OA	OA	O	E	O
Yenilenebilir Enerji Kaynakları	KD	KD	ÇD	ÇD	D	D	OA	OA	O	E

Uzmanlar tarafından verilen nitel yargılar, Pisagor bulanık sayılarla uyumlu olacak şekilde sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Bu kapsamda, her bir kriter için belirlenen önem düzeyleri (örneğin “çok önemli”, “önemsiz” vb.) karşılık gelen Pisagor bulanık üyelik değerlerine atanarak analize dâhil edilmiştir. Böylece, öznel değerlendirmelerin sayısal forma dönüştürülmesiyle, karar verme sürecinin tutarlılığı ve şeffaflığı sağlanmıştır.

Karar matrisinin oluşturulmasının ardından, Pisagor Bulanık AHP yöntemi uygulanarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen normalize edilmiş ağırlık değerleri Tablo 6’te sunulmuştur.

Tablo 6: Pisagor Bulanık AHP ile elde edilen normalize ağırlıkları

Kriterler	Normalize Ağırlıklar
Yoğunluk Ve Lokasyon	0,2377
Şarj Verimliliği	0,2335
Kullanılabilirlik	0,1593
Elektrik Altyapısı	0,1164
Teknik Yeterlilik	0,0776

Güvenlik Ve Önlemler	0,0577
Maliyet	0,0402
Çevresel Faktörler	0,0322
Uluslararası Standartlar	0,0250
Yenilenebilir Enerji Kaynakları	0,0204

Yapılan analizler sonucunda en yüksek kriter önemi olarak yoğunluk ve lokasyon bulunmuştur. İkinci sırada şarj verimliliği üçüncü sırada kullanılabilirlik olarak saptanmıştır. Son sırada yenilenebilir enerji kaynakları yer aldığı tespit edilmiştir. Tablo 7’ te Pisagor Bulanık AHP tutarlılık oranı verilmiştir.

Tablo 7: Pisagor Bulanık AHP Tutarlılık Oranı

CR	Kriterler 0,0285
----	---------------------

Pisagor Bulanık AHP sonucunda bulunan sonuçlar için tutarlılık oranı hesaplandığında kriterler için yaklaşık 0,0285 olarak CR değeri bulunmuştur. CR değeri, 0,10’ dan küçük olduğundan sonuçların tutarlı olduğu anlaşılmaktadır.

4.5. Pisagor Bulanık TOPSIS ile Alternatiflerin Seçimi

Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi kapsamında kullanılan dilsel değişkenler, ilgili alanlarda uzmanlık sahibi kişilerin bir araya gelerek yürüttükleri kapsamlı değerlendirme ve müzakere süreci sonucunda, ortak bir görüş ve uzlaşısı çerçevesinde belirlenmiştir.

Tablo 8: Pisagor Bulanık TOPSIS Dilsel Değişkenler ile Oluşturulan Karar Matrisi

Karar Matrisi	Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Elektrik Altyapısı	Şarj Verimliliği	Uluslararası Standartlara Uygunluk	Güvenlik ve Önlemler	Maliyet	Kullanılabilirlik	Çevresel faktörler	Teknik Yeterlilik	Yoğunluk ve Lokasyon
Antares AVM	AD	OY	O	ÇY	SDY	ÇY	SDY	Y	Y	SDY
Ihlamur Vadisi	Y	O	Y	Y	OY	Y	ÇY	ÇY	K	Y
Vega Subayevleri AVM	ÇA	O	O	ÇY	SDY	ÇY	SDY	Y	OY	ÇY
Altınpark	SDY	OK	OK	Y	OY	OY	ÇY	SDY	OK	ÇY
FTZ AVM	ÇA	ÇY	ÇY	ÇY	SDY	Y	Y	Y	Y	OY
Hasköy-Havalimanı Yolu	ÇA	O	OY	SDY	ÇY	ÇY	OY	ÇY	ÇY	O

Çalışma kapsamında kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, altı farklı lokasyon alternatifinin önceliklendirilmesi ve en uygun seçeneğin belirlenmesi amacıyla Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Bu çok kriterli karar verme yönteminde, uzman görüşlerine dayalı olarak tanımlanan dilsel değişkenler kullanılarak oluşturulan karar matrisi Tablo 8’de ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

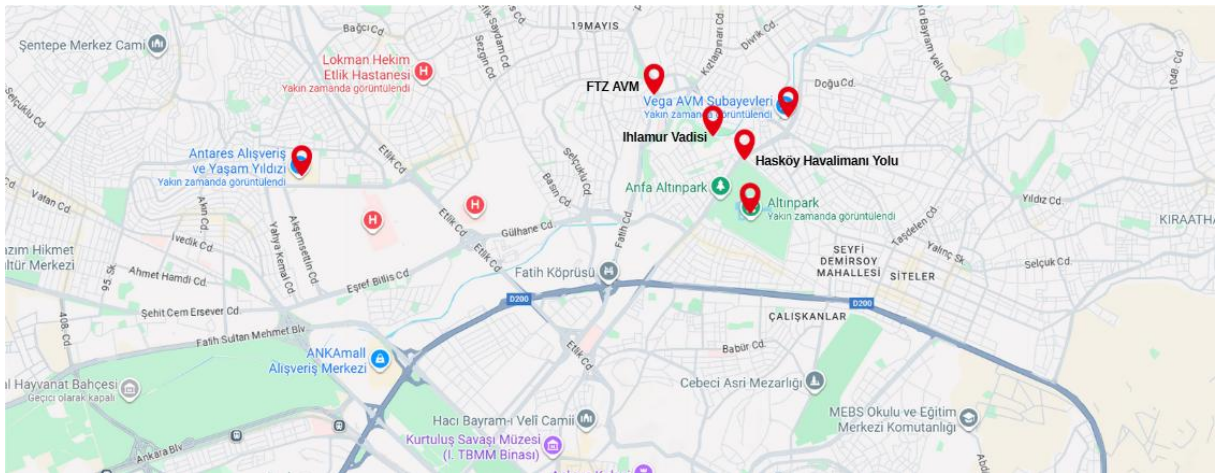
Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi doğrultusunda elde edilen pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri ile bu değerlere göre hesaplanan alternatiflerin yakınlık indeksleri Tablo 9’de gösterilmiştir.

Tablo 9: Alternatif Lokasyonların Sıralanması

Alternatifler	Yakınlık İndeksi
Vega Subayevleri AVM	-0,3095
Hasköy-Havalimanı Yolu	-0,3184
Antares AVM	-0,3381
Altınpark	-0,4043
İhlamur Vadisi	-0,4052
FTZ AVM	-0,4482

Tablo 9’de elde edilen sonuçlara göre, elektrikli şarj istasyonlarının konumlandırılması açısından lokasyonlar uygunluk düzeyine göre büyükten küçüğe sıralandığında; birinci sırada Vega Subayevleri AVM (A3), ikinci sırada Hasköy-Havalimanı Yolu (A6), üçüncü sırada Antares AVM (A1), dördüncü sırada Altınpark (A4), beşinci sırada İhlamur Vadisi (A2) ve son sırada ise FTZ AVM (A5) yer almaktadır.

Şekil 2’ de Alternatiflerin konumlarının harita üzerinde gösterimi verilmiştir.



Şekil 2: Alternatiflerin konumlarının harita üzerinde gösterimi

Analiz sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları, yoğunluk ve lokasyon, şarj verimliliği ve kullanılabilirlik kriterlerinin karar sürecinde en belirleyici unsurlar olduğunu göstermektedir. Bu durum, elektrikli araç kullanıcılarının şarj istasyonu seçiminde erişilebilirlik, verimlilik ve kullanım kolaylığına öncelik verdiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Vega Subayevleri AVM alternatifinin ilk sırada yer alması; bölgenin yüksek nüfus yoğunluğu, merkezi konumu, güçlü elektrik altyapısı ve kullanıcı erişimine uygun lokasyon özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, alışveriş merkezinde yer alması nedeniyle kullanılabilirlik ve güvenlik kriterleri açısından avantaj sağlamaktadır. Hasköy–Havalimanı Yolu ikinci sırada yer almış olup şehir dışı ve ulaşım akslarına yakın konumu sayesinde uluslararası standartlara uygunluk kriteri, çevresel faktörler, teknik yeterlilik ve şarj verimliliği açısından yüksek performans göstermektedir. Bu bölge, özellikle uzun mesafe kullanıcıları için erişim kolaylığı ve enerji verimliliği açısından avantajlıdır. Antares ve Altınpark alternatifleri, kullanılabilirlik, çevresel faktörler, güvenlik ve önlemler kriterleri bakımından dengeli performans sergilemiştir. İhlamur Vadisi ve FTZ AVM ise kullanılabilirlik, lokasyon erişimi ve uluslararası standartlara uygunluk açısından daha düşük değerlere sahiptir. Bu nedenle toplam performans puanları diğer alternatiflerin altında kalmış, sıralamanın son iki basamağında yer almışlardır.

Sonuç olarak, alternatiflerin sıralaması büyük ölçüde erişilebilirlik (lokasyon), teknik altyapı ve şarj verimliliği kriterlerinin ağırlığından etkilenmiş; çevresel ve maliyet odaklı kriterler sıralama üzerinde ikincil düzeyde belirleyici olmuştur. Bu durum, seçilen yöntemin ağırlıklandırma mantığıyla uyumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir.

4.6. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi kapsamında, Pisagor bulanık AHP yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları ile Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi sonucunda oluşan alternatif sıralamaları değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde, kriterler arasındaki ikili yer değiştirmelerin mevcut alternatif sıralamaları üzerindeki etkisi incelenerek modelin kararlılığı ve duyarlılığı test edilmiştir. Bu kapsamda, kriter ağırlıklarındaki değişimlerin alternatiflerin sıralama yapısını nasıl etkilediği gözlemlenmiş ve modelin istikrarı ortaya konmuştur. İlgili bulgular sunulmuştur. Tablo 10’ de gerçekleştirilen duyarlılık analizi verilmiştir.

Tablo 10: Duyarlılık Analizi

Mevcut Sıralama		A3	A6	A1	A4	A2	A5
Senaryo No	Kriterler	Sıralama					
		1	2	3	4	5	6
1	K1-K2	A3	A6	A1	A4	A2	A5
2	K1-K3	A3	A4	A6	A1	A2	A5
3	K1-K4	A4	A3	A2	A1	A6	A5
4	K1-K5	A4	A2	A6	A3	A1	A5

5	K1-K6	A4	A2	A3	A6	A1	A5
6	K1-K7	A4	A6	A2	A3	A1	A5
7	K1-K8	A4	A3	A2	A1	A6	A5
8	K1-K9	A4	A2	A3	A1	A6	A5
9	K1-K10	A4	A6	A2	A3	A1	A5
10	K2-K3	A3	A1	A6	A4	A2	A5
11	K2-K4	A3	A1	A6	A2	A4	A5
12	K2-K5	A6	A3	A1	A2	A4	A5
13	K2-K6	A3	A1	A6	A5	A4	A2
14	K2-K7	A6	A5	A3	A1	A2	A4
15	K2-K8	A3	A1	A6	A5	A2	A4
16	K2-K9	A3	A2	A1	A4	A6	A5
17	K2-K10	A6	A5	A3	A1	A2	A4
18	K3-K4	A3	A6	A1	A2	A4	A5
19	K3-K5	A6	A3	A1	A2	A4	A5
20	K3-K6	A6	A3	A1	A2	A4	A5
21	K3-K7	A6	A3	A1	A2	A5	A4
22	K3-K8	A3	A6	A1	A2	A5	A4
23	K3-K9	A3	A2	A6	A1	A4	A5
24	K3-K10	A6	A3	A2	A5	A1	A4
25	K4-K5	A6	A3	A1	A4	A2	A5
26	K4-K6	A3	A6	A1	A4	A2	A5
27	K4-K7	A6	A3	A1	A4	A2	A5
28	K4-K8	A3	A6	A1	A2	A4	A5
29	K4-K9	A3	A6	A1	A2	A4	A5
30	K4-K10	A6	A3	A1	A2	A4	A5
31	K5-K6	A3	A6	A1	A4	A2	A5
32	K5-K7	A3	A6	A1	A4	A2	A5
33	K5-K8	A3	A6	A1	A2	A4	A5
34	K5-K9	A3	A1	A6	A2	A4	A5
35	K5-K10	A6	A3	A1	A2	A4	A5
36	K6-K7	A3	A6	A1	A2	A4	A5
37	K6-K8	A3	A6	A1	A2	A4	A5
38	K6-K9	A3	A6	A1	A2	A4	A5
39	K6-K10	A6	A3	A1	A2	A4	A5
40	K7-K8	A3	A6	A1	A4	A2	A5
41	K7-K9	A3	A6	A1	A2	A4	A5
42	K7-K10	A3	A6	A1	A2	A4	A5
43	K8-K9	A3	A6	A1	A4	A2	A5
44	K8-K10	A3	A6	A1	A4	A2	A5
45	K9-K10	A3	A6	A1	A4	A2	A5

Analiz sonuçları, her iki yöntemin benzer sıralama çıktıları ürettiğini göstermekte olup, bu durum karar vericilerin değerlendirmelerinin tutarlılığını ve yöntemlerin birbirini destekleyici sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Kriter ağırlıklarında yapılan ufak

değişikliklerin nihai sıralamada anlamlı bir farklılık yaratmaması, modelin düşük duyarlılığa sahip olduğunu ve karar alma sürecinin istikrarlı bir yapıda gerçekleştiğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüzde elektrikli araçların kullanımının hızla artmasıyla şarj istasyonlarının en verimli şekilde konumlandırılması büyük önem arz etmektedir. Karar verme süreci çok sayıda faktörün bir arada değerlendirilmesini gerektirdiğinden, bilimsel temellere dayanan yöntemlerin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu kapsamda, Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerinin entegrasyonu ile etkin bir karar destek yaklaşımı ortaya konmuştur. Bulanık mantığın belirsizliği ve insan düşüncesine yakın modelleme yeteneği, Pisagor Bulanık küme yapısının sunduğu genişletilmiş belirsizlik toleransı ile birleşerek karar süreçleri için esnek ve güçlü bir çerçeve sunmuştur. Pisagor Bulanık AHP yöntemi, karar kriterlerinin göreceli önemlerini belirlemek üzere bir değerlendirme aracı olarak kullanılmış ve verilerdeki belirsizliklere rağmen dengeli bir önceliklendirme sağlamıştır. Çalışma kapsamında on farklı değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Bu kriterler: yenilenebilir enerji kaynağı, elektrik altyapısı, şarj verimliliği, uluslararası standartlara uygunluk, güvenlik ve önlemler, maliyet, kullanılabilirlik, çevresel faktörler, teknik yeterlilik, yoğunluk ve lokasyon olarak tanımlanmıştır. Söz konusu kriterler, Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlıklar doğrultusunda, kriterlerin önceliklendirme sıralaması şu şekilde gerçekleşmiştir: birinci sırada yoğunluk ve lokasyon (K1), ikinci sırada şarj verimliliği (K2), üçüncü sırada kullanılabilirlik (K3), dördüncü sırada elektrik altyapısı (K4), beşinci sırada teknik yeterlilik (K5), altıncı sırada güvenlik ve önlemler (K6), yedinci sırada maliyet (K7), sekizinci sırada çevresel faktörler (K8), dokuzuncu sırada uluslararası standartlar (K9) ve sonuncu sırada yenilenebilir enerji kaynaklar (K10) yer almıştır. Bu kriter ağırlıkları temel alınarak Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi ile alternatif lokasyonlar değerlendirilmiş ve uygunluk düzeylerine göre sıralanmıştır. Buna göre; birinci sırada Vega Subayevleri AVM (A3), ikinci sırada Hasköy Hava Limanı Yolu (A6), üçüncü sırada Antares (A1), dördüncü sırada Altınpark (A4), beşinci sırada İhlamur Vadisi (A2) ve son olarak altıncı sırada FTZ AVM (A5) yer almaktadır.

Alternatiflerin değerlendirilmesi sonucunda, A3 numaralı lokasyonun en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu belirlenmiş ve bu lokasyon birinci öncelikli yatırım alanı olarak önerilmiştir. Bu durum, A3 lokasyonunun hem mevcut altyapı koşulları hem de kullanıcı erişilebilirliği açısından avantajlı bir konumda bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca duyarlılık analizinde kriter ağırlıklarında yapılan değişikliklerin alternatiflerin sıralamasını önemli ölçüde etkilemediği gözlemlenmiş; bu da modelin karar verme sürecinde istikrarlı ve güvenilir sonuçlar ürettiğini desteklemektedir. Bu yönüyle Pisagor bulanık mantığının, belirsizliğin yüksek olduğu kentsel planlama uygulamalarında etkili bir karar destek aracı olabileceği söylenebilir.

Literatürde, elektrik arabaların şarj istasyonları için yer seçimi üzerine çalışmalara rastlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalarda baz alınmayan uluslararası standartlara uygunluk, yenilenebilir enerji kaynakları, güvenlik ve önlemler gibi kriterlere yer verilmediği tespit edilmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalarda baz alınmayan kriterlere yer verilerek ve seçilen alternatiflerin alanında farklılık yaratılarak çalışma özgünleştirilmiş ve literatüre katkı sağlaması planlanmıştır.

Bu çalışma, gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalar için yöntem seçimi ve uygulama açısından rehber niteliğinde açıklamalar sunmaktadır. Mevcut analiz, değerlendirilen elektrikli araç şarj istasyonu sayısının artırılmasıyla daha kapsamlı hale getirilebilir. Ayrıca, elektrikli araç şarj istasyonlarının performans değerlendirmesinde farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması, karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmesini sağlayarak literatüre önemli katkılar sunabilir. Gelecek çalışmalarda, şarj altyapısının coğrafi dağılımı, talep yoğunluğu ve enerji verimliliği gibi ek kriterlerin dikkate alınması, modelin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini artırarak sektörel planlamaya yönelik daha sağlam öneriler geliştirilmesine imkan tanıyacağı ön görülmektedir.

Bu çalışmanın kapsamı Keçiören bölgesiyle sınırlıdır. Bu durum, elde edilen bulguların genellenebilirliğini belirli ölçüde kısıtlamaktadır. Keçiören, demografik, coğrafi ve altyapısal özellikleri bakımından kendine özgü bir yapıya sahip olduğundan, sonuçların farklı şehir veya bölgelerde benzer şekilde tekrarlanacağı varsayımı yapılmamaktadır. Bu nedenle, çalışmanın bu yönü temel bir sınırlılık olarak kabul edilmiştir. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, önerilen yöntemin farklı bölgelerde veya şehir ölçeğinde uygulanması, modelin genellenebilirliğini test etmek ve karşılaştırmalı sonuçlar elde etmek açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Aizpuru, I., Arruti, A., Anzola, J., Iraola, U., Mazuela, M., & Rujaş, A. (2020). Universal electric vehicle charging infrastructure analysis tool. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2020(1), 1–5.

Ankara Valiliği. (2025). İlçelerimiz. <https://www.ankara.gov.tr/ilcelerimiz>

Ankara Valiliği. (2025). Keçiören. Retrieved October 24, 2025, from <http://www.ankara.gov.tr/kecioren#:~:text=1950%20y%C4%B1l%C4%B1ndan%20sonra%20bu%20y%C5%9Fil,meteoroloji%20istasyonlar%C4%B1ndan%20birisi%20yer%20al%C4%B1r>

Bartolucci, L., Cordiner, S., Mulone, V., Santarelli, M., Ortenzi, F., & Pasquali, M. (2021). Optimal integration of renewables and second-life batteries to improve the environmental sustainability of electric vehicle fleets. *IEEE International Conference on Environment and Electrical*

Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (IEEEIC/I&CPS Europe), 2021(1), 1–6.

Bilgilioglu, S. S. (2022). Coğrafi bilgi sistemleri ve bulanık analitik hiyerarşi süreci ile elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 165-174.

Dagteke, S. E., & Unal, S. (2024). Design of an electric vehicle charging system consisting of PV and fuel cell for historical and tourist regions. *World Electric Vehicle Journal*, 15(7), 288.

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.

Durmuş, F. S., & Kaymaz, H. (2020). Elektrikli araç şarj yöntemleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 123-139.

Endeksa. (2025). Atlas. Retrieved October 24, 2025, from <https://www.endeksa.com/tr/atlas>

Gürbüz, Y., & Kulaksız, A. A. (2016). Elektrikli araçlar ile klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 117-125

Hajibabai, L., & Mirheli, A. (2022). A game-theoretic approach for dynamic service scheduling at charging facilities. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(12), 23919–23932.

He, K., Jia, H., Mu, Y., Yu, X., Dong, X., & Deng, Y. (2023). Coordinated planning of fixed and mobile charging facilities for electric vehicles on highways. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(9), 10087-10098.

Herbst, D., Schuerhuber, R., & Schmutzner, E. (2019). A contribution to protective measures against electric shock at DC charging stations. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 2019(1), 1–5.

Hisoglu, S., Tuominen, A., & Huovila, A. (2023). An approach for selecting optimal locations for electric vehicle solar charging stations. *IET Smart cities*, 5(2), 123-134.

Ilbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S., & Kahraman, C. (2018). A Novel Approach To Risk Assessment For Occupational Health And Safety Using Pythagorean Fuzzy AHP & Fuzzy Inference System. *Safety science*, 103, 124-136.

Jensanyayut, T., Phongtrakul, T., Yenchamchalit, K., Kongjeen, Y., Bhumkittipich, K., & Nadarajah, M. (2020). Design of solar-powered charging station for electric vehicles in power distribution system. *International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, 2020(1), 1–4.

Karapınar, F., & Daldaban, F. (2022). Elektrikli araçların şarj yöntemleri ve şarj istasyon tipleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(3), 549-556.

Kaya, Ö., Alemdar, K. D., Atalay, A., Çodur, M. Y., & Tortum, A. (2022). Electric car sharing stations site selection from the perspective of sustainability: A GIS-based multi criteria decision making approach. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102026.

Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.

Kerem, A., & Gürbak, H. (2020). Elektrikli araçlar için hızlı şarj istasyonu teknolojileri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 8(3), 644-661.

Krishankumar, R., & Ecer, F. (2024). A multi-criteria framework for electric vehicle charging location selection using double hierarchy preferences and unknown weights. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133, 108251.

Mandacı, S., & Tolga, A. Ç. (2023, August). Site selection of solar-powered electric vehicle smart charging station: Istanbul case. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 676-683). Springer Nature Switzerland.

Mateus, B. R., Brustolini, P., Neivaldo Filho, I. M., de Souza, F. S., Rocha Filho, G. P., Meneguette, R. I., & Guidoni, D. L. (2024). Strategies for locating electric vehicle charging stations in smart cities. *International Conference on Distributed Computing in Smart Systems and the Internet of Things (DCOSS-IoT)*, 2024(1), 693–699. Morro-Mello, I., Padilha-Feltrin, A., Melo, J. D., & Calviño, A. (2019). Fast charging stations placement methodology for electric taxis in urban zones. *Energy*, 188, 116032.

Özbay, H., Közkurt, C., Dalcalı, A., & Tektaş, M. (2020). Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34-50.

Qiao, D., Wang, G., & Xu, M. (2023). Fast-charging station location problem: A two-phase approach with mathematical program with equilibrium constraints considering charging choice behaviour. *Sustainable Cities and Society*, 96, 104678.

Sikora, R., Krajewski, Ł., Popena, A., & Korzeniewska, E. (2024). Feasibility of Electric Vehicle Charging Stations from MV/LV Stations in Small Cities. *Energies*, 17(24), 6357.

Tezcan, M. C. (2024). Pisagor Bulanık Kümelere Entegre AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Uçak Tipi Seçiminin Optimizasyonu: Havayolu İşlemeleri İçin Model Önerisi. *Journal of Aviation Research*, 6(1), 1-24.

Vijayalakshmi, V. J., Arumugam, P., Ananthi Christy, A., & Brindha, R. (2022). Simultaneous allocation of EV charging stations and renewable energy sources: An Elite RERNN-m2MPA approach. *International Journal of Energy Research*, 46(7), 9020-9040.

Wang, C., He, F., Lin, X., Shen, Z. J. M., & Li, M. (2019). Designing locations and capacities for charging stations to support intercity travel of electric vehicles: An expanded network approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 102, 210-232.

Yeni Şafak. (24 Ekim 2025). TÜİK açıkladı: Hangi şehirde kaç kişi yaşıyor? En kalabalık ilçe hangisi? <https://www.yenisafak.com/foto-galeri/ozgun/tuik-acikladi-hangi-sehirde-kac-kisi-yasiyor-en-kalabalik-ilce-hangisi-4711150/10>

Zhang, Z., Chen, Z., Gümrükcü, E., Ji, Z., Ponci, F., & Monti, A. (2024). Advancing urban electric vehicle charging stations: AI-driven day-ahead optimization of pricing and Nudge strategies utilizing multi-agent deep reinforcement learning. *eTransportation*, 22, 100352.