



Araştırma Makalesi – Research Article

Geliş Tarihi / Received: 02/02/2025

Kabul Tarihi / Accepted: 29/07/2025

Yayın Tarihi / Published: 30/11/2025

Elektrikli Araçlar İçin Şarj İstasyonu Lokasyon Seçimi

Charging Station Location Selection for Electric Vehicles

Melis İzgi Erce¹, Berke Buğra Dönmez², Yusuf Bera Sanlı³, Emel Güven⁴, Tamer Eren⁵

¹Kırıkkale Üniversitesi/ Kırıkkale, Türkiye/ melisizgieee@gmail.com/ <https://orcid.org/0009-0002-6330-432x>

²Kırıkkale Üniversitesi/ Kırıkkale, Türkiye/ berkebugra06@outlook.com/ <https://orcid.org/0009-0003-4164-4718>

³Kırıkkale Üniversitesi/ Kırıkkale, Türkiye/ beraasanli@gmail.com/ <https://orcid.org/0009-0003-7577-6671>

⁴Kırıkkale Üniversitesi/ Kırıkkale, Türkiye/ emel-gvn@hotmail.com/ <https://orcid.org/0000-0001-6106-9720>

⁵Kırıkkale Üniversitesi/ Kırıkkale, Türkiye/ tamereren@gmail.com/ <https://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

Etik Beyan: Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

Yapay Zeka Etik Beyanı: Yazar bu makalenin hazırlanma sürecinin hiç bir aşamasında yapay zekadan faydalanılmadığını; bu konuda tüm sorumluluğun kendisine(kendilerine) ait olduğunu beyan etmektedir.

Çıkar Çatışması: Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Finansman: Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır.

Lisans: CC BY-NC 4.0

Ethical Statement: It is declared that scientific and ethical principles were followed during the preparation of this study and that all studies used are stated in the bibliography.

Artificial Intelligence Ethical Statement: The author declares that artificial intelligence was not utilized at any stage of the preparation process of this article and accepts full responsibility in this regard.

Conflicts of Interest: The author(s) has no conflict of interest to declare.

Grant Support: The author(s) acknowledge that they received no external funding to support this research.

License: CC BY-NC 4.0

Elektrikli Araçlar İçin Şarj İstasyonu Lokasyon Seçimi

ÖZ

Elektrikli araçlar, fosil yakıt yerine elektrikle çalışan çevre dostu ulaşım araçlarıdır. İlk kez 1835'te icat edilen bu araçlar, batarya teknolojisindeki gelişmelerle günümüzde yaygınlaşmıştır. Elektrikli araçların kullanımını artırmak için şarj altyapısının doğru planlanması kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının en uygun konumlarının belirlenmesi için Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmaktadır. Pisagor Bulanık TOPSIS ile trafik yoğunluğu, enerji altyapısı ve çevresel faktörler gibi kriterler değerlendirilerek, en uygun yerleşim noktaları belirlenmiştir. Yöntem, belirsizlikleri ve subjektif kararları daha esnek modelleyerek stratejik planlamaya katkı sağlamaktadır. Doğru konumlandırılan şarj istasyonları, erişilebilirliği artırarak menzil kaygısını azaltacak ve elektrikli araç kullanımını teşvik edecektir. Çalışmanın amacı, sürdürülebilir ve ekonomik bir şarj altyapısı planlaması yaparak, yerel yönetimler ve şehir planlamacılar için yol gösterici bir model sunmaktır.

Anahtar Kelimeler- Elektrikli Araçlar, Şarj İstasyonu, Yer Seçimi, Elektrikli Araç Altyapısı

Öne Çıkanlar

- Bu çalışma, elektrikli araç şarj istasyonu yer seçiminin optimize edilmesinde Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerinin etkili bir çözüm sunduğunu ileri sürmektedir.
- Kriter ağırlıklandırması sonucunda altyapı ve enerji kaynakları, şarj istasyonu yer seçimini en fazla etkileyen faktör olarak belirlenmiştir.
- Kırıkkale-Samsun güzergâhında yapılan analizler sonucunda Samsun OSB Yakını en uygun şarj istasyonu lokasyonu olarak tespit edilmiştir.
- Araştırma, belirsizlik içeren karar süreçlerinde çok kriterli değerlendirme yöntemlerinin güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.
- Çalışma, Türkiye'de sürdürülebilir ulaşım altyapısının geliştirilmesine yönelik uygulanabilir bir planlama modeli sunmaktadır.

Charging Station Location Selection for Electric Vehicles

ABSTRACT

Electric vehicles are environmentally friendly transportation options that run on electricity instead of fossil fuels. First invented in 1835, these vehicles have become more widespread with advancements in battery technology. Proper planning of charging infrastructure is crucial to increasing the adoption of electric vehicles. This study employs the Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) to determine the optimal locations for electric vehicle charging stations. With Pythagorean Fuzzy TOPSIS; factors such as traffic density, energy infrastructure, and environmental considerations are evaluated to identify the most suitable locations. This method allows for a more flexible modelling of uncertainties and subjective decision-making, contributing to strategic planning. Well-placed charging stations will enhance accessibility, reduce range anxiety, and promote the use of electric vehicles. The goal of this study is to develop a sustainable and cost-effective charging infrastructure plan, providing a strategic model for local governments and urban planners.

Keywords- Electric Vehicles, Charging Station, Location Selection, Electric Vehicle Infrastructure

Highlights

- This study is an advanced application of the Pythagorean Fuzzy AHP and Pythagorean Fuzzy TOPSIS methods, an effective solution method, for optimizing electric vehicle charging station location selection.
 - As a result of criterion weighting, infrastructure and energy resources were identified as the factors influencing charging station location selection and further connectivity.
 - Analysis of the Kırıkkale–Samsun route identified the location near the Samsun Organized Industrial Zone as the most suitable charging station location.
 - The study demonstrates reliable results from multi-criteria evaluation methods in decision-making processes involving multiple components.
 - The study presents a viable planning model for the development of sustainable transportation in Türkiye.
-

I. GİRİŞ

Elektrikli araçlar, enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar yerine elektrik kullanan taşıma araçlarıdır. Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlara sahip geleneksel araçlardan farklı olarak, bataryalarına depoladıkları elektriği kullanarak hareket ederler. Bu araçlar, çevre dostu ve sürdürülebilir ulaşım çözümleri sunarak, fosil yakıtların yol açtığı çevresel sorunları azaltmayı hedefler.

Elektrikli araçların kullanımı, 19. yüzyılın sonlarına kadar uzanır, ancak bu teknolojinin gelişimi ve yaygınlaşması daha çok 21. yüzyılda ivme kazanmıştır. Elektrikli araçlar ilk kez 1830'lu yıllarda, bataryalar ve elektrik motorları hakkında yapılan ilk çalışmalara dayanmaktadır. 1835 yılında, İngiliz mühendis Robert Anderson, ilk elektrikli aracı icat etmiştir. Ancak bu ilk elektrikli araç, pratikte kullanılabilirlik açısından oldukça sınırlıydı ve batarya teknolojisinin yetersizliği nedeniyle çok kısa mesafelerde çalışabiliyordu. Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, bu araçların ihtiyaç duyduğu şarj altyapısının planlanması ve yönetimi kritik bir konu haline gelmiştir. Şarj istasyonları, elektrikli araçların bataryalarını doldurabileceği özel tesislerdir ve bu altyapının etkin bir şekilde kullanılması, elektrikli araç teknolojisinin sürdürülebilirliği için büyük önem taşır [1].

Şarj istasyonlarının yer seçimi, şehir içi ve şehirler arası ulaşım ağlarının verimliliği, enerji tüketimi ve çevresel etkiler açısından kritik rol oynar [2-4]. Şarj istasyonlarının kurulum yerleri belirlenirken, coğrafi, lojistik, ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alınmalıdır. Örneğin, şarj istasyonlarının ana yollara, ticaret merkezlerine ve konut bölgelerine yakın olması, kullanım oranlarını artırabilir [5,6]. Ek olarak, enerji kaynaklarına ve trafo merkezlerine olan uzaklık, elektrik altyapısının maliyet ve verimliliğine doğrudan etki eder [7].

Bu noktada, Pisagor Bulanık AHP, Pisagor Bulanık TOPSIS gibi çok kriterli karar verme yöntemleri, e-şarj istasyonu lokasyonlarının belirlenmesinde güçlü araçlar olarak öne çıkmaktadır. Pisagor Bulanık AHP karar verme sürecinde bir hiyerarşi oluşturularak kriterlerin ağırlıklandırılmasına dayanır. Bu yöntemde, bulanık mantık teorisi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları daha esnek ve belirsizliklere uyumlu bir şekilde hesaplanır [8-10]. Bu yaklaşım, şarj istasyonu yer seçimi gibi çok kriterli karar problemlerinde, kriterlerin göreceli önemini daha kesin bir şekilde belirlemek için uygundur. Pisagor Bulanık AHP ile elde edilen ağırlıklar, Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi ile birleştirilir. Pisagor Bulanık TOPSIS, alternatiflerin ideal (en iyi) ve anti-ideal (en kötü) çözümlere olan uzaklıklarını hesaplayarak bir sıralama yapar [11-13]. Bu yöntem, alternatif şarj istasyonu lokasyonlarının performansını değerlendirmek için kullanılır. İdeal çözüme en yakın alternatif, en uygun lokasyon olarak seçilir [14].

Çalışmada elektrikli araçların hızla yaygınlaşan ulaşım alternatifi olarak, bu araçların şarj ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla şarj istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi sürecinde Pisagor Bulanık AHP yöntemini kullanarak, en uygun ve verimli lokasyonları tespit etmektir. Elektrikli araçların çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir ulaşım alternatifleri olarak öne çıkmasıyla birlikte, bu araçların verimli bir şekilde kullanılabilmesi için güçlü bir şarj altyapısına duyulan ihtiyaç da giderek artmaktadır. Bu bağlamda, araştırma, elektrikli araç kullanıcılarının şarj istasyonlarına kolay erişimini sağlamak, şarj istasyonlarının kullanım verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla, çeşitli değerlendirme kriterlerinin bulanık mantıkla entegrasyonunu sağlayarak, en uygun şarj istasyonu yerlerini belirlemeyi hedeflemektedir. Günümüzde elektrikli araçların kullanımının arttığı ve şehirlerarası yolculukların daha fazla tercih edildiği bir ortamda, şarj altyapısının etkin bir şekilde planlanması kritik bir önem taşımaktadır. Bu çerçevede, araştırma, kullanıcıların güvenli, hızlı ve rahat bir şekilde araçlarını şarj edebileceği istasyonları tespit etmeyi amaçlamaktadır. Özellikle, Kırıkkale-Samsun

güzergahında, elektrikli araç kullanıcılarının uzun yolculuklarda yaşadığı şarj istasyonu eksikliklerini gidermek ve bu güzergah üzerinde şarj istasyonlarının stratejik noktalarda kurulmasını sağlamak hem kullanıcı memnuniyetini artıracak hem de elektrikli araç kullanımını teşvik edecektir.

Çalışmanın bir diğer önemli amacı, elektrikli araç kullanıcılarının seyahat konforunu artırmak ve onların şarj altyapısına olan güvenini pekiştirmektir. Kırıkkale-Samsun güzergahında kurulacak şarj istasyonları, bölgedeki elektrikli araç kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılayarak, genel memnuniyeti ve kullanım oranlarını artırmayı hedeflemektedir. Bu sayede, yalnızca Kırıkkale ve Samsun arasında seyahat eden elektrikli araç sahipleri değil, bölgedeki diğer illerden de gelen sürücüler, güvenli ve sürdürülebilir ulaşım çözümleri ile daha rahat yol alabileceklerdir. Çalışma aynı zamanda Türkiye genelinde elektrikli araçların şarj altyapısının gelişimine yönelik bir model oluşturulmasına katkı sağlayacak ve ülke çapındaki şarj istasyonu yerleşim planlamalarına örnek teşkil edecektir. Proje sonunda, şarj istasyonlarının doğru konumlandırılması sayesinde, hem kullanıcıların elektrikli araçlarla seyahat etme deneyimleri iyileştirilecek hem de çevreye duyarlı ulaşım sistemlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlanacaktır. Bu da, uzun vadede karbon emisyonlarını azaltarak, sürdürülebilir ulaşım çözümlerine önemli bir katkı sunacaktır. Araştırma, ayrıca elektrikli araçların yaygınlaşmasını teşvik etmek için şarj istasyonlarının yer seçimi konusunda bir model geliştirmeyi hedeflemektedir.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Güler ve Yomralıoğlu [15], elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bulanık AHP yöntemlerini kullanarak, İstanbul'da uygun konumları belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. CBS, coğrafi verileri harita tabanlı analizler ile değerlendirmeye imkan tanırken, Bulanık AHP, karar verme sürecinde belirsizliği azaltmak ve subjektif değerlendirmeleri sayısal hale getirmek için kullanılmıştır. Bulanık mantık, karar vericilerin kesin olmayan ifadelerini ("orta önemli", "çok uygun" gibi) daha hassas bir şekilde sayısal bir forma dönüştürerek, değerlendirme sürecinin gerçekçiliğini artırmıştır.

Alkan vd. [16], CBS tabanlı AHP yöntemini kullanarak, Konya ilinde elektrikli araç şarj istasyonları için uygun yerleri belirlemişlerdir. Çalışmada, nüfus yoğunluğu, alışveriş merkezlerine mesafe, yollara mesafe, gelir seviyesi, ulaşım istasyonlarına mesafe, benzin istasyonlarına mesafe, otoparklara mesafe, yeşil alanlara mesafe, eğitim ve arazi değerleri gibi çoklu kriterler analiz edilerek karar verme süreci yönetilmiştir. CBS, bu kriterlerin coğrafi olarak haritalanması ve mekansal analizler ile uygunluk değerlendirmelerinin yapılmasını sağlamıştır. AHP yöntemi, karar vericilerin uzmanlık görüşlerine dayanarak kriter ağırlıklarını belirlemelerine ve şarj istasyonlarının konumlandırılması için en uygun alternatifleri seçmelerine yardımcı olmuştur.

Dörtköşe [17], elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi için Akış Yakıt-İkmal Yer Modeli ve Çok Amaçlı Matematiksel Modelleri kullanarak, şarj istasyonlarının optimal konumlandırılmasını analiz etmiştir. Akış yakıt-ikmal modeli, şarj istasyonlarının sürücüler tarafından en çok kullanılacak yollar üzerinde konumlandırılmasını hedeflerken, çok amaçlı matematiksel modeller ise hem maliyet, hem erişim kolaylığı, hem de trafik yoğunluğu gibi faktörleri dikkate alarak en uygun istasyon noktalarını belirlemektedir.

Gülbahar [18], AHP ve TOPSIS yöntemlerini birleştirerek, İstanbul'da elektrikli araç şarj istasyonlarının optimal yerleşimini incelemiştir. AHP yöntemiyle kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, TOPSIS yöntemiyle ise alternatif konumlar ideal ve negatif ideal çözüme uzaklıklarına göre sıralanmıştır. Bu entegrasyon, hem karar vericilerin uzman görüşlerine dayalı ağırlık belirleme avantajını, hem de sayısal hesaplamalarla en iyi alternatifin belirlenmesini sağlamıştır.

Genevois ve Kocaman [19], şehirlerarası yolculuklarda otoyollarda yeterli şarj istasyonu bulunmadığını vurgulayarak, bu eksikliğin elektrikli araçların uzun mesafeli kullanımını sınırlayan önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, AHP tabanlı matematiksel modelleme yöntemini kullanarak, İstanbul'da elektrikli araç şarj istasyonlarının en uygun konumlarını belirlemeye yönelik bir analiz gerçekleştirmişlerdir. AHP yöntemi, farklı kriterlerin önem derecelerini belirleyerek, karar vericilere en uygun seçenekleri sıralama olanağı sunmaktadır.

Bilgilioğlu [20], elektrikli araçların hava kalitesini iyileştirirken karbondioksit emisyonlarını ve gürültü kirliliğini azalttığını, ancak uzun şarj süreleri, düşük batarya kapasitesi ve yetersiz altyapının yaygınlaşmanın önündeki engeller olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada CBS ile AHP yöntemlerini entegre ederek, elektrikli araç şarj istasyonu yer seçiminde optimal konumları belirlemeye çalışılmıştır. CBS, coğrafi verilerin harita tabanlı analizlerle değerlendirilmesini sağlarken, Bulanık AHP yöntemi, karar verme sürecindeki belirsizliği azaltarak subjektif değerlendirmeleri sayısal hale getirilmiştir.

Mandacı ve Tolga [21], fosil yakıtlı ulaşım araçlarının çevresel etkilerinin şehir yaşamını olumsuz etkilediğini ve sürdürülebilir bir gelecek için elektrikli araç kullanımının teşvik edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu bağlamda, güneş enerjisi ile çalışan akıllı elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak İstanbul'da en

uygun konumları belirlemişlerdir. Bulanık AHP, uzman görüşlerine dayalı olarak kriterlerin ağırlıklarını belirlerken, Bulanık TOPSIS yöntemi, alternatif konumları en iyi ve en kötü senaryolara olan uzaklıklarına göre sıralamıştır.

Karasu vd. [22], Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü'nde elektrikli araç şarj istasyonlarının optimal konumlandırılması için çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada, özellikle Coğrafi Bilgi CBS ve AHP yöntemleri entegre edilerek değerlendirme yapılmıştır. Otopark doluluk oranları, trafo merkezine uzaklık, otopark kapasiteleri, yaya ve araç trafiği gibi kriterler dikkate alınmış, bu faktörlerin öncelik dereceleri AHP yöntemiyle belirlenmiştir. CBS ise bu kriterleri harita tabanlı analizlere dönüştürerek, en uygun şarj istasyonu konumlarını belirlemeye yardımcı olmuştur.

Sarmas vd. [23], Yunanistan'da elektrikli araçların yeni olmasına rağmen, yüksek maliyet, sınırlı menzil ve şarj altyapısı eksiklikleri gibi zorluklarla karşılaştığını belirtmişlerdir. Belediye araştırmaları, elektrikli araç şarj istasyonlarının stratejik yerleşimini hedeflemektedir. Bu çalışmada, ekonomik, çevresel, sosyal ve teknolojik faktörleri dikkate alarak en uygun elektrikli araç şarj istasyonu yerleşimini seçmek için çok kriterli karar analizi yöntemi önerilmektedir.

Zhao vd. [24], elektrikli araçların verimli kullanımı için şarj istasyonlarının inşası ve doğru konum seçimi kritik bir gereklilik olduğunu belirtmişlerdir. Konum seçimi, coğrafya, pazarlama ve şehir planlaması gibi çeşitli kriterlere dayanan karmaşık bir MCDM problemidir. Bu süreçte, belirsiz bilgi sıkça yer almakta ve kararlar genellikle belirsizlik içermektedir. Bu bağlamda, şarj istasyonu konum seçimi için, bulanık Delphi, BMW ve FWM yöntemlerini birleştiren bir GRA tabanlı MCDM modeli önerilmektedir. GRA, alternatifleri derecelendirmek için sezgisel ve kolay hesaplanabilir bir yöntemdir. Ayrıca, BMW ile belirlenen öznel ağırlıklar, daha az çift karşılaştırma yapılmasını sağlar.

Yazar ve Eren [25], afet sonrası mobil baz istasyonu yer seçimi üzerine yapılan çalışmalarında, Bingöl şehir merkezinde uygulanarak karar destek süreçlerini ele almışlardır. Mobil baz istasyonu yer seçimi, afet sonrası iletişim altyapısının hızlı bir şekilde tekrar kurulmasını sağlamak amacıyla büyük önem taşımaktadır. Çalışmalarında, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerini kullanarak, nüfus yoğunluğu, altyapı hasarı, erişim kolaylığı ve enerji kaynaklarına yakınlık gibi faktörleri dikkate alarak en uygun baz istasyonu noktalarını belirlemişlerdir.

Gök vd. [26], afet lojistiğinde depo yer seçimi konusunda yaptıkları araştırmada, dayanıklılık çerçevesinde değerlendirme yapmışlardır. Afet sonrası malzeme dağıtımının hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için optimizasyon tabanlı modeller kullanılarak en uygun depo yerleşim noktaları belirlenmiştir. Çalışmada, ulaşım ağlarının durumu, nüfus yoğunluğu, depolama kapasitesi ve lojistik erişilebilirlik gibi kriterler analiz edilmiştir.

Yazar vd. [27], ergonomik kiosk tasarımı ve yer seçimi konularını, bulanık çok kriterli karar verme (Bulanık ÇKKV) yöntemleriyle incelemişlerdir. Çalışmada, kullanıcı konforu, ergonomik tasarım ilkeleri, erişim kolaylığı ve maliyet gibi faktörler göz önünde bulundurularak en uygun kiosk yerleşimi belirlenmiştir. Bulanık mantık, subjektif verilerin değerlendirilmesini kolaylaştırarak karar sürecinin güvenilirliğini artırmıştır.

Kara vd. [28], yenilenebilir hibrit enerji santrali için en uygun tesis yeri belirleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemleri ile birlikte coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak, rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarının verimliliği, arazi kullanımı, çevresel etkiler ve maliyet gibi kriterler analiz edilmiştir. Çalışma, hibrit enerji santrallerinin sürdürülebilir enerji politikalarına uygun olarak konumlandırılmasının önemini vurgulamaktadır.

Abalı vd. [29], çok ölçütlü karar verme yöntemlerini bursiyer seçiminde kullanmışlardır. Çalışmada, öğrencilerin akademik başarıları, sosyoekonomik durumları, gönüllü çalışmalar gibi kriterler değerlendirilerek en uygun bursiyerlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. AHP ve TOPSIS yöntemleri, başvuran adayların kriterlere göre sıralanmasını ve en uygun adayların objektif bir şekilde seçilmesini sağlamıştır.

Çokçevik vd. [30], su havzalarının korunması amacıyla biyogaz tesisi yer seçimi üzerine bir uygulama yapmışlardır. ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan analizde, çevresel sürdürülebilirlik, su kaynaklarına mesafe, altyapı uygunluğu, ekonomik maliyetler ve yerel halkın kabulü gibi faktörler değerlendirilmiştir. Biyogaz tesislerinin, doğal ekosistem üzerinde minimum etki yaratacak şekilde konumlandırılması sağlanmıştır.

Oral vd. [31], tehlikeli maddelerin depolanması için en uygun yerin belirlenmesi amacıyla AHP ve Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada, Kırıkkale ilinde dört alternatif bölge, dört ana ve dokuz alt kriter çerçevesinde değerlendirilmiştir. Bu kriterler ekonomik, doğal, hukuki ve politik, sosyal faktörler ile dağıtım olanakları, yatırım maliyetleri, iklim, güvenlik, ADR'ye uygunluk, arazi durumu, nüfus, politika ve sağlığa etki gibi alt başlıklardan oluşmaktadır.

Güven vd. [32], organize sanayi bölgelerinin (OSB) doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar (Natech) açısından değerlendirilmesini ele almışlardır. Çalışmada, Kocaeli ili örneği üzerinden OSB'lerin Natech riskine karşı kırılabilirlikleri analiz edilmiştir. Araştırmada, sanayi bölgelerinin afetlere karşı dirençliliğini artırmak amacıyla çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemleri kullanılarak risk faktörleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Kocaeli'deki sanayi bölgelerinin Natech riskine duyarlılığını ortaya koyarak, risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi için öneriler sunmuştur.

Chumbi vd. [33], elektrikli araçların yaygınlaşmasının kamu politikalarıyla desteklendiğini ancak en büyük zorluklardan birinin şarj altyapısının yetersizliği olduğunu belirtmişlerdir. Kamuya açık şarj istasyonlarının konumu, elektrikli araç kullanımını maksimize etmek ve menzil kaygısını azaltmak için belirlenmelidir. Şarj istasyonlarının elektrik şebekesi üzerindeki uzun vadeli etkileri göz önüne alınarak, konum seçimi ÇKKV yöntemiyle değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, coğrafi bilgi sistemleri tabanlı bir yaklaşımı önerilmiş, demografik faktörler ve enerji yoğunluğu dikkate alınarak bir elektrikli araç artış modeli oluşturulmuştur. Fuzzy TOPSIS gibi yöntemler kullanılarak analiz doğrulanmış ve yüksek elektrikli araç yayılım senaryosunda trafo kapasitesine etkisi incelenmiştir.

Feng vd. [34], elektrikli araç şarj istasyonlarının sürdürülebilirlik perspektifinden en uygun konumunun belirlenmesi için ÇKKV yöntemi önermektedir. Çalışmada, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik faktörleri dikkate alınarak karar süreci yapılandırılmıştır. Önerilen yöntem, farklı alternatifleri değerlendirerek optimum şarj istasyonu yerleşimini belirlemeye yönelik kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır.

Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak Kırıkkale-Samsun güzergâhında elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi incelenen literatür kapsamında daha önce ele alınmamış bir problemdir. Çalışmanın güzergâh konusunda kritik öneme sahip olan bu alanda yapılmasının hem literatürü hem de gerçek hayat uygulamalarını destekleyeceği düşünülmektedir. 43 şehrin kesişim noktasında bulunan stratejik bir güzergâhın ele alınması, elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi üzerine yapılan çalışmalara coğrafi ve ulaşım ağı açısından Türkiye'ye yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır. Çalışma, elektrikli araç şarj altyapısının planlanmasında çok kriterli karar verme yöntemlerinin nasıl uygulanabileceğini göstererek literatüre metodolojik katkı sunmaktadır. Trafik yoğunluğu, enerji altyapısı ve çevresel faktörler gibi çok sayıda kriterin sistematik olarak değerlendirilmesi, şarj istasyonu yer seçimi çalışmalarına daha kapsamlı bir yaklaşım getirmektedir.

III. METOT

Elektrikli araç şarj istasyonları için lokasyon belirleme, ekonomik, çevresel, teknik ve sosyal boyutları olan, birden fazla kriterin dikkate alınmasını gerektiren karmaşık bir problemdir. Bu süreçte, kriterlerin ağırlıklandırılması ve alternatiflerin değerlendirilmesi genellikle belirsizlik ve subjektif yargılar içerir. Pisagor Bulanık AHP, kriterlerin önem derecelerini belirlerken belirsizlikleri ve uzman görüşlerini modelleyerek daha güvenilir ve esnek bir analiz sunar. Pisagor Bulanık TOPSIS ise alternatif lokasyonların ideal ve anti-ideal çözümlere olan uzaklıklarına göre sıralanmasını sağlar. Geleneksel yöntemler arasında AHP, ANP, TOPSIS, VIKOR ve PROMETHEE gibi ÇKKV yöntemleri bulunur. Bu yöntemler genellikle kesin ve sayısal verilerle çalışarak alternatifleri değerlendirir. Belirsizlik içeren karar problemlerinde Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS gibi bulanık mantığa dayalı yöntemler daha esnek ve güvenilir sonuçlar sağlayabilir. Bu nedenle, elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi gibi çok boyutlu ve kritik problemlerde bu yöntemler etkili bir şekilde kullanılmıştır.

A. Pisagor Bulanık AHP Yöntemi

Pisagor Bulanık AHP, geleneksel AHP yönteminin Pisagor bulanık mantıkla geliştirilmiş bir versiyonudur. Geleneksel AHP, karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapıya ayırarak ve çift yönlü karşılaştırma matrisleri ile öncelik değerleri oluşturarak karar kriterlerini değerlendirir. Ancak, geleneksel yöntemin belirsiz ve niteliksel verileri ele almadaki sınırlılıkları, Pisagor bulanık mantık ile aşmaya çalışılmıştır. Pisagor bulanık mantık, bir elemanın bir özneliğe ait olma ve olmama dereceleri arasındaki belirsizliği ölçerek, karar vericilerin sezgisel ve subjektif değerlendirmelerini daha kesin sayısal değerlere dönüştürür [8, 12].

Adım 1: Dilsel değişkenlere dayalı ikili karşılaştırma matrisi $A = (r_{ik})_{m \times m}$ oluşturulur.

Adım 2: Farklar matrisi $D = (d_{ik})_{m \times m}$ oluşturulur.

$$d_{ik} = M_{ik}^Z - V_{ik}^Z \quad d_{ik} = M_{ik}^Z - V_{ik}^Z \quad (1)$$

Adım 3: $S = (s_{ik})_{m \times m}$ çarpımsal matrisi, kullanılarak hesaplanır.

$$s_{ik} = \sqrt{1000^{tL}} \quad s_{ik} = \sqrt{1000^{tU}} \quad (2)$$

Adım 4: Tereddüt dereceleri $H = (h_{ik})_{m \times m}$, kullanılarak belirlenir.

$$h_{ik} = 1 - (M_{ik}^z - M_{ik}^z) - (V_{ik}^z - V_{ik}^z) \quad (3)$$

Adım 5: Normalize edilmemiş ağırlıklar $T = (t_{ik})_{m \times m}$ hesaplanır.

$$t_{ik} = \left(\frac{s_{ik} + s_{ik}}{2} \right) h_{ik} \quad (4)$$

Adım 6: Kriter ağırlıkları w_i , kullanılarak elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} w_i}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} w_i} \quad (5)$$

Adım 7: Sonuçların Yorumlanması ve Karar Verilmesi

Alternatiflerin toplam puanları hesaplandıktan sonra, en yüksek puanı alan alternatif en uygun çözüm olarak seçilir. Bu, karar vericinin hedeflerine en uygun olan rotayı veya çözümü belirlemesine yardımcı olur.

B. Pisagor Bulanık TOPSIS Yöntemi

Pisagor Bulanık TOPSIS, klasik TOPSIS yönteminin belirsizlik ve bulanıklığı ele alacak şekilde geliştirilmiş bir versiyonudur. Klasik TOPSIS, alternatiflerin ideal çözüme olan uzaklıklarını ve negatif ideal çözümden uzaklıklarını değerlendirerek sıralama yapmayı amaçlar. Ancak gerçek hayatta, karar vericilerin karşılaştığı verilerin çoğu belirsiz veya kesinlikten uzaktır. Bu bağlamda Pisagor Bulanık TOPSIS, klasik yöntemi bulanık mantıkla birleştirerek daha gerçekçi ve esnek bir modelleme sunar. Yöntem, ideal çözüme olan uzaklıkların hesaplanmasında Pisagor Teoremi'nden faydalanır ve bu uzaklıkları bulanık sayılarla ifade ederek daha karmaşık ve öznel kararları sayısal bir çerçeveye oturtmayı hedefler. Ayrıca, çok kriterli karar verme problemlerinde, alternatiflerin ve kriterlerin değerlendirildiği süreçlerde karar vericilere önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Bu yöntemin klasik TOPSIS'ten farklı olarak, belirsizlik içeren durumlara karşı sağladığı avantajlar, özellikle günümüzün karmaşık karar problemlerinde önem taşımaktadır [35].

Adım 1: Karar vericiler ile alternatifleri ve kriterleri analiz ederek en uygun seçeneği belirlenmesi

Adım 2: Karar Matrisi Oluşturulması, Eşitlik 1 ile karar matrisinin yapısı oluşturulur ve alternatifler ve kriterler düzenlenir.

$$R = (C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{pmatrix} P(U_{11}, V_{11}), P(U_{12}, V_{12}), \dots & P(U_{1n}, V_{1n}), \\ P(U_{21}, V_{21}), P(U_{22}, V_{22}), \dots & P(U_{2n}, V_{2n}) \\ \vdots & \vdots \\ P(U_{m1}, V_{m1}), P(U_{m1}, V_{m1}), \dots & P(U_{mn}, V_{mn}) \end{pmatrix} \quad (6)$$

Adım 3: Pisagor Bulanık pozitif ve negatif ideal çözümün belirlenmesi için Eşitlik 2 ve 3 kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümler hesaplanır.

$$x^+ = \{C_j, \max(s_j(C_j(x_i))) \mid i=1, 2, \dots, n\} = \{(C_1, P(U_1^+, V_1^+)), (C_2, P(U_2^+, V_2^+)), \dots, (C_n, P(U_n^+, V_n^+))\} \quad (7)$$

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

Adım 4: Alternatiflerin Pisagor Bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüme olan mesafelerinin hesaplanması Eşitlik 4 ve 5 ile belirlenmektedir.

$$D(x_i^+) = \sum_{j=1}^n w_j d \left((C_j(x_i), C_j(x^+)) \right) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(\left| (u_{ij}^2 - u_j^+)^2 \right| + \left| (v_{ij}^2 - v_j^+)^2 \right| + \left| (\pi_{ij}^2 - \pi_j^+)^2 \right| \right) \quad (9)$$

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

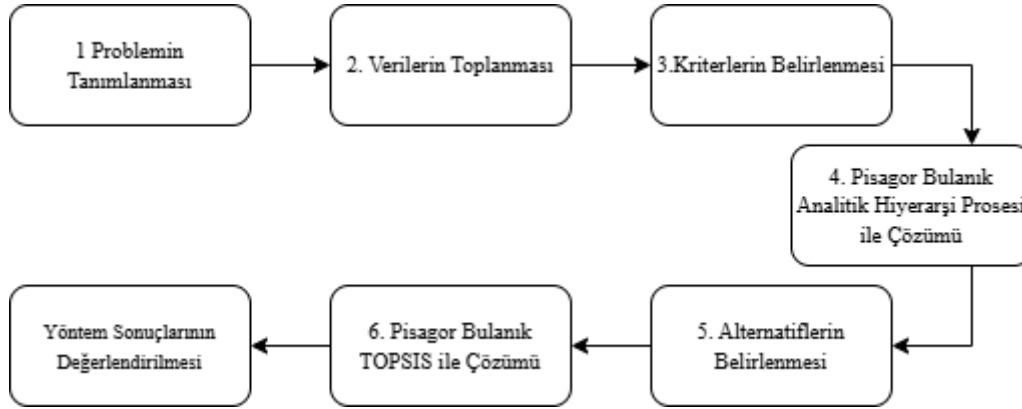
Adım 5: Her alternatif için göreceli yakınlık indekslerinin hesaplanması: Alternatiflerin her birinin göreceli yakınlık indeksleri, belirli kriterlere dayalı olarak hesaplanır. Bu hesaplama, Eşitlik 6 kullanılarak gerçekleştirilir.

$$\xi(x_i) = D(x_i^-)/(D_{\max}(x_i^-, x^+)) \quad D(x_i^+)/(D_{\min}(x_i^-, x^+)) \quad (11)$$

Adım 6: Algoritma, alternatiflerin en ideal sırasını belirleyerek işlem sürecini sonlandırır.

IV. UYGULAMA

Yapılan çalışmalar Şekil 1'deki sıra ile önce problemin tanımlanması, verilerin toplanması, kriterlerin belirlenmesi, Pisagor Bulanık AHP ile çözümü, alternatiflerin belirlenmesi, Pisagor Bulanık TOPSIS ile çözümü ve son olarak yönetim sonuçlarının değerlendirilmesi şeklinde sıralanacaktır.



Şekil 1. Elektrikli araçların şarj istasyonlarını belirleme akış şeması

A. Problemin Tanımı

Bu çalışmada, elektrikli araçlar için şarj istasyonu lokasyon seçimine yönelik bir analiz gerçekleştirilmesi için Kırıkkale-Samsun karayolu güzergahı seçilmiştir. Bu güzergahın seçilmesinin nedeni, Kırıkkale'den Samsun'a kadar uzanan bu yolun, Türkiye'nin 43 şehrini birbirine bağlayan ana ulaşım hatlarından biri olmasıdır. Bu nedenle, güzergah üzerinde yer alan şehirler ve çevre bölgeler, yoğun bir trafik akışına sahip olup, elektrikli araç kullanıcılarının da sıklıkla tercih ettiği yollardır. Elektrikli araçların uzun mesafelerde kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bu güzergah üzerinde elektrikli araç şarj istasyonlarına olan ihtiyaç da giderek artmaktadır. Özellikle büyük şehirler arasında yoğun seyahatlerin gerçekleştirildiği bu yol hattı, elektrikli araçların bataryalarının yetersiz kalması ve uzun şarj süreleri nedeniyle kullanıcılar için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Dolayısıyla, bu güzergah üzerinde stratejik noktalarda şarj istasyonlarının yerleştirilmesi, hem elektrikli araçların bataryalarının yeterli süreyle şarj edilmesini sağlayacak hem de kullanıcıların uzun mesafe yolculuklarında daha konforlu ve güvenli bir şekilde seyahat etmelerini mümkün kılacaktır. Bu güzergah, sadece büyük şehirler arasındaki ulaşımı değil, aynı zamanda kırsal alanlar ve daha az gelişmiş bölgelerdeki seyahatleri de etkileyen bir yol olma özelliği taşımaktadır. Bu nedenle, şarj istasyonlarının yer seçimi, yalnızca yolculuk yapan bireyler için değil, aynı zamanda kırsal ve şehre uzak bölgelerde yaşayan insanlar için de önemli bir fayda sağlayacaktır. Çalışma, güzergah boyunca şarj istasyonu kurulumu için en uygun noktaların belirlenmesini ve böylece elektrikli araç kullanımını desteklemeyi hedeflemektedir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi, coğrafi, demografik, ulaşım yoğunluğu, ekonomik faaliyetler ve çevresel faktörlerin etkisiyle doğru yapıldığında, elektrikli araç kullanıcılarının menzil kaygılarını azaltarak, elektrikli araç kullanım oranlarını artıracaktır. Ayrıca, doğru yer seçimi, şarj altyapısının verimli kullanılmasını ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanmasını da mümkün kılacaktır. Detaylı bir literatür araştırması sonrası yedi adet kriter belirlenmiştir. Daha sonrasında Pisagor Bulanık AHP yöntemi ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak kriterlerin ağırlıklandırılması yapıp sıralandırılmıştır. Bu araştırma sonrası en verimli lokasyonlar seçilmiştir.

B. Verilerin Toplanması

Elektrikli araçların şarj istasyonlarının yerlerini belirlemede kullanılan kriterlerini daha önce buna benzer literatür taramaları ile belirlenmiştir [20,15,16]. Alternatifler yani istasyonlar bu yol güzergahında Google Haritalar ve e-şarj platformları üzerinden otobüslerin durduğu dinlenme tesisleri tespit edilmiş; saha çalışmalarıyla bu tesislerin kullanılma sıklığı, güvenilirliği, şarj altyapısı ve belirlenen kriterlere uygunluğu değerlendirilmiştir. En uygun alternatifler seçilmiştir.

C. Kriterlerin Belirlenmesi

Kriterlerin isimleri ve tanımlanmaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kriterler

Kriterler	Tanımlamaları
Trafik Yoğunluğu ve Talep(K1)	Yüksek trafik yoğunluğu olan ve elektrikli araç kullanımının yaygın olduğu bölgeler tercih edilmelidir. Böylece şarj istasyonlarının kullanımı daha verimli olur [20,16]
Erişilebilirlik (K2)	Şarj istasyonlarının kolay erişilebilir ve görünür yerlerde olması, kullanıcıların bu istasyonlara rahatça ulaşabilmesini sağlar. Örneğin, alışveriş merkezleri, otoparklar ve otoyol dinlenme tesisleri [15, 20]
Altyapı ve Enerji Kaynakları(K3)	Elektrik şebekesine yakınlık ve güçlü enerji altyapısı, maliyetleri düşürür ve kurulumu kolaylaştırır [16,15]
Güvenlik (K4)	İstasyonların güvenli bölgelerde olması, kullanıcıların kendilerini güvende hissetmelerini sağlar [16].
Çevresel Etkiler (K5)	Çevresel faktörler göz önünde bulundurulmalı, çevreye zarar vermeyecek yerler seçilmelidir [16].
Maliyet ve Finansal Fizibilite(K6)	Yer seçimi, maliyetlerin ve yatırımın geri dönüşüm süresinin optimize edilmesine yardımcı olmalıdır [20,15].
Yasal Düzenlemeler ve İzinler (K7)	Yerel yönetimlerin ve yasal düzenlemelerin gerekliliklerine uygun olmalıdır [20].

D. Pisagor Bulanık AHP ile Çözümü

Pisagor Bulanık AHP dilsel değişkenleri kullanılarak elektrikli araçların şarj istasyonlarının yerleştirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken 7 kriter, literatür taraması sonucunda belirlenmiştir. Yöntemin uygulanmasının ilk adımı olan karar matrisi oluşturulurken kullanılan dilsel değişkenler ve karşılık gelen bulanık sayılar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Dilsel değişkenler

Dilsel Değişkenler	Pisagor Bulanık Sayılar			
	En Düşük Üye Olma Derecesi (uL)	En Yüksek Üye Olma Derecesi (uU)	En Düşük Üye Olmama Derecesi (vL)	En Yüksek Üye Olmama Derecesi (vU)
Kesinlikle Düşük (KD)	0,0	0,0	0,9	1,0
Çok Düşük (ÇD)	0,1	0,2	0,8	0,9
Düşük (D)	0,2	0,35	0,65	0,8
Ortalamanın Altı (OA)	0,35	0,45	0,55	0,65
Eşit (E)	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965
Ortalama (O)	0,45	0,55	0,45	0,55
Ortalamanın Üstü (OÜ)	0,55	0,65	0,35	0,45
Yüksek (Y)	0,65	0,8	0,2	0,35
Çok Yüksek (ÇY)	0,8	0,9	0,1	0,2
Kesinlikle Yüksek (KY)	0,9	1,00	0,00	0,00

Yöntem çözümünde oluşturulan karar matrisinde Tablo 1’de verilen değişkenler ve değerler kullanılmıştır. Verilen dilsel değişkenlere karşılık gelen harflendirmeler ile oluşturulan karar matrisi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Karar Matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	E	E	D	OÜ	Y	OA	D
K2	E	E	D	OÜ	OÜ	OA	D
K3	Y	Y	E	KY	KY	KY	OÜ
K4	OA	OA	KD	E	Y	Y	D
K5	D	OA	KD	D	E	OÜ	ÇD
K6	OÜ	OÜ	KD	D	OA	E	D
K7	Y	Y	OA	Y	ÇY	Y	E

Karar matrisinin oluşturulmasının ardından işlem adımları gerçekleştirilmiş olup yöntem sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 4 'te verilmiştir. Burada normalize ağırlıklar hesaplandıktan sonra en yüksek kriter önemi olarak alt yapı ve enerji kaynakları bulunmuştur. 2. sırada yasal düzenlemeler ve izinler 3. sırada güvenlik 4. sırada trafik yoğunluğu ve talep, 5. sırada erişilebilirlik, 6. sırada maliyet ve finansal fizibilite, 7. sırada çevresel etkiler yer almaktadır.

Tablo 4. Pisagor Bulanık AHP ile Elde Edilen Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Normalize Ağırlıklar
K-1	0,0697
K-2	0,0513
K-3	0,5032
K-4	0,0834
K-5	0,0323
K-6	0,0467
K-7	0,2133
Toplam	1,0000

E. Alternatiflerin Belirlenmesi

Tablo 5'te alternatif elektrikli şarj istasyonlarının lokasyonlarının koşullarının sağlandığı noktaları buralar olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Alternatifler ve Tanımlamaları

#	Alternatifler	Tanımlamaları
A1	TŞOF Kırıkkale Dinlenme Tesisleri (Kırıkkale)	Şehir merkezine yakın ve yoğun talep gören bu tesis, otoyol üzerindeki ana durak noktalarından biridir. Geniş bir alana sahip olup, enerji altyapısı yeterlidir ve erişim kolaydır. Güvenlik açısından denetim yapılmaktadır.
A2	Özyıldız Dinlenme Tesisleri (Kırıkkale-Samsun Karayolu)	Talep orta düzeydedir, ancak otoyola yakın bir konumda bulunur. Temel enerji altyapısı mevcuttur ve çevresel etkiler açısından uygun bir lokasyondur. Kurulum maliyeti düşük olup gerekli yasal süreçler kolaylıkla yürütülebilir.
A3	Sungurlu Dinlenme Tesisleri (Çorum)	Yüksek trafikli bir dinlenme tesisi olup, hem şehirlerarası araçların hem de ticari taşıtların sıkça kullandığı bir lokasyondur. Altyapı güçlüdür, güvenlik açısından kamera sistemi mevcuttur. Ancak maliyetler orta-yüksek seviyededir.
A4	Zorlu Park Dinlenme Tesisleri (Terme, Samsun)	Şehirlerarası yolda yer alan ve yüksek talep gören bir lokasyondur. Alternatif enerji kaynaklarının (örneğin güneş panelleri) kurulmasına uygun bir alana sahiptir. Ancak trafik yoğunluğu dolayısıyla çevresel etkiler orta düzeyde bir risk oluşturabilir.
A5	Kızılrnak Kıyısı Yakını (Kırıkkale)	Kırsal alanda, düşük talebin olduğu bir bölgedir. Yakın köylere bağlantı yolları sayesinde erişilebilirlik sağlanabilir. Ancak enerji altyapısı eksiktir ve geliştirilmesi gerekir. Maliyet düşük, çevresel etkiler açısından oldukça avantajlıdır.
A6	Opet Sezginler İstasyonu (Sungurlu, Çorum)	Şehir kenarında dengeli talebin olduğu bir konumdur. Mevcut enerji altyapısı iyi durumdadır ve güvenlik hizmetleri eksiksizdir. Çevresel etkiler orta düzeyde olup, maliyet ise ortalama seviyededir. Gerekli tüm izinler alınmış durumdadır.
A7	Samsun OSB Yakını (Samsun)	Endüstriyel bölgede ticaret hacmi yüksek bir lokasyondur. Ana yola yakın bir konumda bulunur ve enerji altyapısı güçlüdür. Ancak çevresel etkiler daha yüksektir ve maliyetler diğer alternatiflere kıyasla yüksektir. Özel yasal düzenlemelere ihtiyaç duyulabilir.

F. Pisagor Bulanık TOPSIS ile Çözümü

Tablo 6'da Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminde kullanılan dilsel değişkenler bulunmaktadır. Tabloya dahil edilen bu dilsel değişkenler, uzmanların bir araya gelip ortak grup karar vermesiyle belirlenmiştir.

Tablo 6. Pisagor Bulanık TOPSIS Yönteminde Kullanılan Dilsel Değişkenler

Dilsel Değişken 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

Kriter ağırlıkları elde edildikten sonra, belirlenen yedi lokasyon alternatifinin sıralaması Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemiyle belirlenmiştir. Yöntemde kullanılan dilsel değişkenlerle oluşturulan karar matrisi Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Pisagor Bulanık TOPSIS Dilsel Değişkenler ile Oluşturulan Karar Matrisi

Alternatifler	Alt Yapı ve Enerji Kaynakları	Yasal Düzenlemelere Uygunluk	Trafik Yoğunluğu ve Talep	Erişilebilirlik	Güvenlik	Çevresel Etkiler	Maliyet ve Finansal Fizibilite
A1	SDY	SDY	SDY	ÇY	SDY	ÇY	ÇY
A2	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	SDY	OY
A3	SDY	SDY	SDY	SDY	ÇY	ÇY	ÇY
A4	ÇY	ÇY	SDY	ÇY	ÇY	OY	ÇY
A5	OY	ÇY	OY	OY	OY	SDY	SDY
A6	SDY	SDY	ÇY	SDY	SDY	ÇY	ÇY
A7	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	OY	OY	ÇY

Tablo 8'de pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümlere ve sonuç olarak yakınlık indeksi bulunmaktadır.

Tablo 8. Alternatif Lokasyonların Belirlenmesi

Alternatif	D+	D-	$\xi (x_i)$
A1	0,403883676	0,04456539	0,099376698
A2	0,042791101	0,3324027	0,885949341
A3	0,38792366	0,06055167	0,135016729
A4	0,058533687	0,32638076	0,847930657

A5	0,053449726	0,33972265	0,864055236
A6	0,395430925	0,05083797	0,113917793
A7	0,026772247	0,34587958	0,928157478

Tablo 8’de, elektrikli şarj istasyonlarının konumlandırılmasında uygun olacak yerlerde birinci sırada alternatif 7 ikinci sırada alternatif 5 üçüncü sırada alternatif 2 sonuncu sırada alternatif 1, ile lokasyonları uygunluk açısından büyükten küçüğe sıralayabiliriz. Bunlar Samsun OSB Yakını (Samsun), Kızılırmak Kıyısı Yakını (Kırıkkale), Özyıldız Dinlenme Tesisleri (Kırıkkale-Samsun Karayolu), ve son olarak TŞOF Kırıkkale Dinlenme Tesisleri (Kırıkkale) olarak bulunur.

V. TARTIŞMA

Elektrikli araçların yaygınlaşması ve çevresel etkilerinin göz önünde bulundurulması, şarj istasyonu lokasyonlarının doğru seçilmesini bir gereklilik haline getirmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada şarj istasyonu yer seçimi karar probleminde yönelik Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak bir çözüm önerilmiştir. Bu yöntemler, karar vericilerin belirsizlik içeren verilerle doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşmalarını sağlamaktadır.

Çalışmada, yedi ana kriter belirlenmiştir: trafik yoğunluğu ve talep, erişilebilirlik, altyapı ve enerji kaynakları, güvenlik, çevresel etkiler, maliyet ve finansal fizibilite, yasal düzenlemelere uygunluk. Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile her bir kriterin ağırlığı hesaplanmış ve bu kriterlere dayalı olarak alternatif lokasyonlar sıralanmıştır. Ağırlıklı kriterler doğrultusunda yapılan sıralamada, altyapı ve enerji kaynakları birinci, yasal düzenlemelere uygunluk ikinci, güvenlik ise üçüncü sırada yer almıştır. Geriye kalan kriterler de sırasıyla trafik yoğunluğu ve talep, erişilebilirlik, maliyet ve finansal fizibilite, çevresel etkiler olarak sıralanmıştır.

Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi ile bu kriterlerin her birinin uygunluğu değerlendirilmiş ve alternatif lokasyonlar arasında sıralama yapılmıştır. Sonuçlara göre, en uygun lokasyon Samsun OSB Yakını (Samsun), ardından Kızılırmak Kıyısı Yakını (Kırıkkale), Özyıldız Dinlenme Tesisleri (Kırıkkale-Samsun Karayolu) ve son olarak TŞOF Kırıkkale Dinlenme Tesisleri (Kırıkkale) olmuştur. Bu sıralama, elektrikli araçların şarj istasyonları için en verimli lokasyonların belirlenmesinde önemli bir rehber olarak kullanılabilir.

Çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarının doğru yerleştirilmesinin, sürdürülebilir ulaşım altyapısı oluşturulmasında kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Ayrıca, karar verme sürecinin karmaşıklığı göz önünde bulundurulduğunda, bilimsel temellere dayalı yöntemlerin uygulanması gerektiği ortaya çıkmaktadır [20,9]. Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemleri, belirsizlikleri etkin bir şekilde modelleyerek, doğru kararların alınmasını sağlamaktadır. Bu yöntemlerin, özellikle şarj istasyonu yer seçimi gibi karmaşık ve belirsiz sorunlarda etkin bir araç olabileceği söylenebilir.

Bu çalışma, literatürdeki benzerlerinden farklı olarak Kırıkkale-Samsun güzergâhını ele almasıyla dikkat çekmektedir. Daha önceki çalışmalarda genellikle büyük metropol alanları veya yoğun nüfuslu bölgeler üzerinde durulurken, bu güzergâh ilk kez sistematik ve çok kriterli bir değerlendirme ile analiz edilmiştir. Kırıkkale-Samsun hattı, Karadeniz’i İç Anadolu’ya bağlayan önemli bir geçiş noktası olması bakımından stratejik bir öneme sahiptir. Özellikle artan elektrikli araç kullanımıyla birlikte bu güzergâhta oluşacak şarj altyapısı ihtiyacının karşılanması, bölgesel ulaşım ağının sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

VI. SONUÇLAR

Bu çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçiminde, Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerinin kullanımını öneren bir yaklaşım sunmuştur. Elektrikli araçların sayısındaki artış ve çevresel etkiler göz önünde bulundurulduğunda, şarj istasyonlarının doğru ve verimli bir şekilde yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, bu yöntemlerin karar destek süreçlerinde etkin bir rol oynayabileceği ve belirsiz verilerle yapılan kararların doğruluğunu artırabileceği açıktır.

Elde edilen sonuçlar, yerel yönetimler ve şehir planlamacılar için karar verme süreçlerinde bilimsel bir rehber sunarak pratik fayda sağlaması çalışmanın avantajları arasında yer almaktadır. Elektrikli araç şarj altyapısının doğru planlanması ile menzil kaygısının azaltılması ve elektrikli araç kullanımının teşvik edilmesi yönünde literatüre sürdürülebilir ulaşım politikaları açısından katkı sunmaktadır. Çalışma, benzer yöntemlerin

farklı bölgelerde uygulanmasına yönelik bir temel oluşturarak gelecekteki akademik araştırmalar için önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

Dezavantajlar, geleneksel akaryakıt istasyonlarına kıyasla, elektrikli araç şarj süreleri daha uzundur. Eğer yeterli sayıda istasyon kurulmazsa, uzun mesafeli yolculuk yapan sürücüler için bekleme süreleri sorun yaratabilir ve Türkiye’de elektrikli araç sayısı henüz istenilen seviyeye ulaşmadığı için, bu güzergahtaki şarj istasyonlarının başlangıçta düşük talep görme ihtimali bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Funke, S., Sprei, F., & Gnann, T. (2019). Addressing the different needs for charging infrastructure: An analysis of some criteria and scenarios for urban areas. *Energy Policy*, 123, 438-447.
- [2] Zhang, X., Wang, S., & Hao, H. (2018). Factors influencing the choice of electric vehicles: Evidence from China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 72-81.
- [3] Hidrue, M. K., Parsons, G. R., Kempton, W., & Gardner, M. P. (2011). Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics*, 33(3), 686-705.
- [4] Hall, D., & Lutsey, N. (2017). *Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure*. ICCT White Paper.
- [5] Xiong, R., Cao, J., Yu, Q., & Ma, R. (2020). Optimized deployment of electric vehicle charging stations based on a novel multi-objective approach. *Applied Energy*, 262, 114554.
- [6] Nicholas, M. A., & Hall, D. (2018). *Lessons learned on early electric vehicle fast-charging deployments*.
- [7] Rezvani, Z., Jansson, J., & Bodin, J. (2015). Advances in consumer adoption of alternative fuel vehicles: A literature review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 122-136.
- [8] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- [9] Kahraman, C., Kaya, İ., & Cebeci, U. (2014). Fuzzy multi-criteria decision making: Theory and applications with recent developments. *Springer*.
- [10] Luthra, S., Garg, D., Mangla, S. K., & Kazançoğlu, Y. (2020). Developing a sustainable electric vehicle charging infrastructure using a hybrid decision-making approach: A case study of India. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102023.
- [11] Yoon, K. P., & Hwang, C. L. (1981). Multiple attribute decision making methods and applications: A state of the art survey. *Springer*.
- [12] Yıldız, A., Ayyıldız, E., Taşkın Gümüş, A., Özkan, C. (2019). Ülkelerin yaşam kalitelerine göre değerlendirilmesi için hibrit Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS metodolojisi: Avrupa Birliği örneği. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1383-1391. <https://doi.org/10.31590/ejosat.658021>
- [13] Yang, Z., Li, H., & Zhang, W. (2021). Application of Pythagorean fuzzy sets in multi-criteria decision-making problems: A comprehensive review. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(1), 123-140.
- [14] Wu, Y., Ma, R., Zhang, Y., & Xiong, R. (2017). Electric vehicle charging station planning: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 479-493.
- [15] Güler, D., & Yomralıoğlu, T. (2020). Açık kaynak kodlu CBS yazılımı ve bulanık analitik hiyerarşi yöntemini içeren elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi önerisi. *Harita Dergisi*, 163, 17-28.
- [16] Alkan, T., Atiz, Ö. F., & Durduran, S. S. (2023). Elektrikli araç şarj istasyonları için AHP yöntemi ile uygun yer seçimi: Konya örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 1-1.
- [17] Dörtköşe, S., Yazgan, H. R., & Ercan Cömert, S. (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.
- [18] Gülbahar, İ. T. (2023). *Electric vehicle charging station location decision in Türkiye*. Yüksek Lisans Tezi, Abdullah Gül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [19] Genevois, M. E., & Kocaman, H. (2018). Locating electric vehicle charging stations in Istanbul with AHP-based mathematical modeling. *International Journal of Transportation Systems*, 3, 1-12.
- [20] Bilgilioğlu, 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. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1013244>
- [21] 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.
- [22] Karasu Asnaz, M. S., & Özdemir, B. (2021). Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü için elektrikli araç şarj istasyonu konumlandırma: Çok kriterli karar verme yöntemleri. *Sistem Mühendisliği Dergisi*, 8(2), 56-69.
- [23] Sarmas, E., Skaloumpakas, P., Kafetzis, N., Spiliotis, E., Lekidis, A., Marinakis, V., & Doukas, H. (2023). Optimal site selection of electric vehicle charging stations exploiting multi-criteria decision analysis: The case of Greek municipalities. *Technical Annals*, 1(2). <https://doi.org/10.12681/ta.33632>

- [24] Zhao, Y., Chen, M., Zhang, Y., & Liu, Y. (2020). Electric vehicle charging station location selection and deployment optimization: A multi-objective approach. *International Journal of Production Economics*, 226, 107572.
- [25] Yazar, Y., Eren, T. (2025). Afet sonrası taşınabilir baz istasyonu yer seçimi: Bingöl şehir merkezi örneği. *Journal of Polytechnic*,
- [26] Gök, M., Toklu, R., Güven E., Eren, T. (2024). Afet lojistiğinde depo yer seçimi. *Resilience*, 8 (2): 123-138.
- [27] Yazar, Y., Bayram, B., Coşkun, Ş.G., Eren, T. (2023). Bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılarak karar destek sistemiyle çalışan ergonomik kiosk cihazı tasarımı ve yer seçimi. *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 7 (1): 68-84.
- [28] Kara, M., Ercan Y., Yumuşak, R., Cürebal, A., Eren, T. (2022). Yenilenebilir hibrit enerji santrali uygulamasında tesis yer seçimi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(1): 208-227.
- [29] Abalı Y.A., Kutlu B.S., Eren T. (2022). Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bursiyer seçimi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26 (3-4), 259-272.
- [30] Çokçevik, K., Pınarbaşı, M. Alakaş, H.M., Eren, T. (2023). Su Havzalarının Korunması için Biyogaz Tesisi Yer Seçimi: Ankara'da Bir Uygulama. *Uluslararası Veri Bilimi ve Güvenliği Konferansı*. 6-7 Temmuz, Erzurum.
- [31] Oral, N., Yumuşak, R., Eren, T. (2021). AHP ve ANP yöntemleri kullanılarak tehlikeli madde depo yeri seçimi: Kırıkkale ilinde bir uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (1): 115-124.
- [32] Güven, E., Pınarbaşı, M., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2024). Organize sanayi bölgelerinin Natech riskine göre değerlendirilmesi: Kocaeli ili için bir örnek. *Resilience*, 8(1), 13-30.
- [33] Chumbi, W. E., Martínez-Minga, R., Zambrano-Asanza, S., Leite, J. B., & Franco, J. F. (2024). Suitable site selection of public charging stations: A Fuzzy TOPSIS MCDA framework on capacity substation assessment. *Energies*, 17(14), 3452.
- [34] Feng, J., Xu, S. X., & Li, M. (2021). A novel multi-criteria decision-making method for selecting the site of an electric-vehicle charging station from a sustainable perspective. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102623.
- [35] Tezcan, M. C. (2024). Pisagor bulanık kümelere entegre AHP ve TOPSIS yöntemleri ile uçak tipi seçiminin optimizasyonu: Havayolu işlemleri için model önerisi. *Journal of Aviation Research*, 6(1), 1-24. <https://doi.org/10.51785/jar.1371387>