

## Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi

Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray.

Sorumlu Yazar e-posta: sefa.bilgilioglu@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0881-0396>

Geliş Tarihi: 21.10.2021

Kabul Tarihi: 18.01.2022

### Öz

Çevre dostu araçların artmasıyla birlikte kentlerde kullanılan fosil yakıtlı araçların sebep olduğu hava ve gürültü kirliliği azalacak ve kentlerin sürdürülebilirliğini artacaktır. Bu yüzden, elektrikli araçların geleneksel fosil yakıtlı araçların yerini hızlı bir şekilde alması için gerekli altyapının tamamlanması oldukça önemlidir. Elektrikli araçların hızla yaygınlaşmamasına sebep olan en önemli altyapı eksikliklerinden birisi yeterli şarj istasyonunun bulunmamasıdır. Bu nedenle sürücülerin ve trafik ağının olumsuz yönde etkilenmemesi için kentlerde iyi planlanmış bir şarj istasyonunun kurulması gerekmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) sistemleri uygun yer seçimi gibi problemlerin çözümünde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Ankara ili genelinde CBS tabanlı ÇKKV yöntemleri kullanılarak yeni kurulacak elektrikli araç şarj istasyon yerleri için uygun yer seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla en uygun yerlerin belirlenmesi için 9 veri katmanı kullanılmıştır. Bu kriterler; nüfus yoğunluğu, ana yollara yakınlık, eğitim, AVM'lere yakınlık, resmi kurumlar ve rekreasyon alanlarına yakınlık, arazi değeri, petrol istasyonlarına yakınlık, ulaşım istasyonlarına yakınlık ve otoparklara yakınlık olarak sıralanabilir. Çalışmada kullanılan değerlendirme kriterleri, bir ÇKKV yöntemi olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (BAHP) ile ağırlıklandırılmış ve birleştirilerek uygun yer seçimi haritası üretilmiştir. Üretilen uygunluk haritasından yeni kurulacak elektrikli araç şarj istasyon için aday alanlar belirlenmiştir.

### Anahtar kelimeler

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); Elektrikli Araç; Şarj İstasyonu; Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (BAHP); Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)

## Site Selection for Electric Vehicle Charging Station with Geographic Information Systems and Fuzzy Analytical Hierarchy Process

### Abstract

With the increase in environmentally friendly vehicles, air and noise pollution caused by fossil fuel vehicles used in cities will decrease and the sustainability of cities will increase. Therefore, it is essential to complete the necessary infrastructure for electric vehicles to replace traditional fossil fuel vehicles quickly. One of the most critical infrastructure deficiencies that cause electric vehicles not to become widespread is the lack of a suitable charging station network. For this reason, a well-planned charging station network should be set in cities so that drivers and the traffic network are not adversely affected. Geographic Information Systems (GIS) based Multi-Criteria Decision Making (MCDM) systems effectively solve problems such as choosing a suitable site. This study aims to select a suitable site for the new electric vehicle charging station using GIS-based MCDM methods throughout the province of Ankara. For this purpose, 9 data layers were used to determine the most suitable site. These criteria are; population density, proximity to main roads, slope, proximity to shopping malls, proximity to official institutions and recreation areas, land value, proximity to petrol stations, proximity to transportation stations, and proximity to parking lots. The evaluation criteria used in the study were weighted and combined with the Fuzzy Analytical Hierarchy Method (FAHP), which is an MCDM method, and a suitable site selection map was created. Candidate areas for the new electric vehicle charging stations were selected from the suitability map.

### Keywords

Geographic Information Systems (GIS); Electric Vehicle; Charging station; Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP); Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

## 1. Giriş

Günümüzde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlı ulaşım araçlarının neden olduğu hava kalitesinin bozulması, sera gazı emisyonları gibi birçok çevresel problem ve buna ek olarak meydana gelen gürültü kirliliği şehir hayatını ciddi ölçüde olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca fosil yakıt kullanımı, çevre sorunlarının yanında halk sağlığını da önemli ölçüde etkilemektedir (Bakogiannis vd. 2019, Bouguerra ve Layeb 2019). Bu nedenle, şehirlerin sürdürülebilirliğini artırabilmek ve daha yaşanabilir bir gelecek için ulaşım da çevre dostu enerji kaynağı olan elektrik enerjisine geçiş amacıyla strateji ve politikalar benimsenmiştir. Fosil yakıtlı geleneksel ulaşım araçların yerine elektrikli araçların kullanımı ile birlikte hava kalitesi artacak, iklim değişikliğinin sebeplerinden biri olan karbondioksit emisyonu azalacak ve bununla beraber gürültü kirliliği ve halk sağlığı ile ilgili riskler düşecektir (He ve ark. 2013). Ayrıca günümüzdeki en önemli problemlerden biri olan küresel ısınmada da %10 ila %24'lük bir potansiyel düşüşün olacağı ortaya konulmuştur (Hawkins vd. 2013). Bu sebeplerden ötürü devlet destekli politikalar ile elektrikli araçların sayısı her geçen gün hızla artmaktadır.

Elektrikli araçların, fosil yakıtlı ulaşım araçlarına göre en önemli dezavantajları olarak uzun şarj süresi, yetersiz pil kapasitesi, yetersiz altyapı, daha pahalı ve daha kısa menzile sahip olmaları (şarj istasyonu vb.) sayılabilir (Thiel vd. 2012). Enerji ve güç sistemleri alanında çalışan araştırmacılar ve uzmanların bu problemlerin çözümüne yönelik çalışmaları sayesinde elektrikli araçların gelişimi hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Elektrikli araçların daha yaygın bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak için bu problemlerin çözülmesi oldukça önemlidir. Menzil, şarj süresi ve eksik altyapı problemlerinin çözümüne katkı sağlayacak önemli kriterlerden birisi de şarj istasyonlarının yaygınlaştırılmasıdır (Huang ve diğerleri, 2019). Düzensiz bir şekilde uygun olmayan alanlara kurulacak şarj istasyonları elektrikli araç kullanıcılarını ve trafik ağlarını olumsuz yönde etkileyeceğinden şarj istasyonlarının yer seçimi önemli bir konudur (Liu, Wen ve Ledwich 2013).

Elektrikli araç şarj istasyonu için uygun yer seçimi, birçok ekonomik, sosyal, çevresel ve kültürel kriterin dikkate alınmasını ve büyük miktarda mekânsal verinin işlenmesini gerektirmektedir (Erbaş vd. 2018, Güler ve Yomralıoğlu 2020a, Kaya vd. 2020). Buna ek olarak kriterlerin uygun yer seçimindeki önem dereceleri de birbirinden farklıdır. Geleneksel yöntemler ile bu ve benzeri yer seçimi çalışmaları oldukça zor ve zaman alıcı bir iştir (Sadek vd. 2006, Güler ve Yomralıoğlu 2020b, Feng vd. 2021). Çok kriterli karar verme (ÇKKV) modelleri, literatürde birçok farklı bölgede kentsel ve bölgesel planlama, arazi uygunluk, afet duyarlılık/tehlike/risk bölgeleme ve yer seçimi gibi birçok farklı çalışmada uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Orhan vd. 2020, Bilgilioğlu vd. 2021). Uygun yer seçimi süreçleri de mekânsal analizler gerektiren çalışmalardır. Mekansal karar problemlerinin çözümünde hızla gelişen Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile ÇKKV modellerinin entegrasyonunun kullanılması uygun bir yöntemdir. CBS tabanlı ÇKKV yaklaşımı uygun yer seçimi kararlarının verilmesinde, karar vericilere, problemin daha iyi anlaşılması, karşılaşılabilecek risklerin belirlenmesi ve sonuçların yorumlanması aşamalarında önemli katkılar sağlamaktadır (Chen vd. 2001). CBS tabanlı ÇKKV yaklaşımı literatürde; güneş enerjisi santrali için uygun bölgelerin (Tercan vd. 2020), tarımsal ürünler için yetiştirmeye uygun alanların (Orhan 2021; Bilgilioğlu 2021), potansiyel kentsel ve kimyasal atık tesislerinin yer seçiminin (Uyan ve Yalpır 2016; Bilgilioğlu vd 2021) belirlenmesi gibi çok sayıda yer seçimi uygulamasında kullanılmıştır. Ayrıca elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimi çalışmaları incelendiğinde de ÇKKV modellerinin sıklıkla tercih edildiği görülmektedir (Erbaş vd. 2018, Zhou vd. 2020, Güler ve Yomralıoğlu 2020ab, Kaya vd. 2020, Ghosh vd. 2021, Karolemeas vd. 2021). Literatürde farklı bölgelere ait birçok çalışma bulunmasına rağmen Türkiye'nin başkenti olan Ankara ili genelinde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

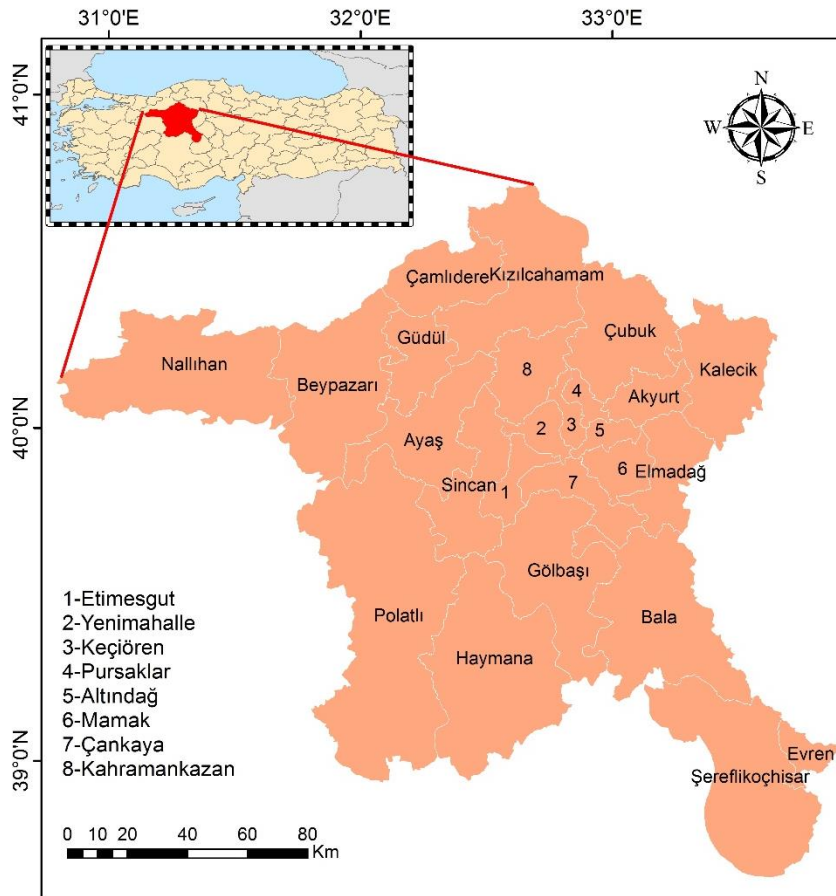
Bu çalışmada Ankara ilinde yeni potansiyel elektrikli araç şarj istasyonu yerlerinin belirlenmesi için karar vericilerin kullanımına yönelik bilimsel bir metodoloji sunulmaktadır. Bu kapsamda, CBS

tabanlı ÇKKV modellerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHP) kullanılarak elektrikli araç şarj istasyonu kurulabilecek en uygun alanları tespit etmeye yönelik bir model geliştirilmiştir. Bu bağlamda, değerlendirmeye alınan dokuz kriter, bu sektörde çalışan uzmanlar ile literatürdeki ilgili çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiş, BAHP kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmış ve yeni potansiyel elektrikli araç şarj istasyonu yerleri belirlenmiştir.

## 2. Çalışma Alanı

Türkiye'nin başkenti ve ülkenin ikinci en büyük şehri olan Ankara'nın yüzölçümü yaklaşık 25.437 km<sup>2</sup> dir. 32° 52' doğu enlemleri ve 39° 52' 30'' kuzey boylamları arasında bulunan ilin ortalama yüksekliği 938 m'dir. 2020 yılı nüfus sayımına göre il 5.663.322 nüfusa sahiptir. Akyurt, Altındağ,

Ayaş, Bala, Beypazarı, Çamlıdere, Çankaya, Çubuk, Elmadağ, Etimesgut, Evren, Gölbaşı, Gündül, Haymana, Kahramankazan, Kalecik, Keçiören, Kızılcahamam, Mamak, Nallıhan, Polatlı, Pursaklar, Sincan, Şereflikoçhisar ve Yenimahalle olmak üzere toplam 25 adet ilçe bulunmaktadır (Şekil 1). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'na göre Türkiye'de bulunan 24.144.857 taşıtın 1.585.485'ü Ankara ilinde bulunmaktadır ve bu sayı ile Türkiye'de en çok taşıt olan 2. ildir (Int Kyn. 1). İldeki mevcut toplam elektrikli araç şarj istasyonu 69 ve bu istasyonlarda bulunan toplam slot sayısı 178'dir (Int Kyn. 2, 3, 4). Aynı anda sadece 178 tane araç şarj olabileceği düşünüldüğünde bu sayı Türkiye'de hem nüfus hem de araç sayısı bakımından ikinci sırada olan Ankara ili için oldukça yetersiz olduğu düşünülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı haritası.

## 3. Materyal Yöntem

Bu çalışmada Ankara ilinde yeni potansiyel elektrikli araç şarj istasyonu yerlerinin belirlenmesi amacıyla üç temel adımdan oluşan bir metodoloji

kullanılmıştır. Bu adımlardan ilki, çalışmada uygun yer seçiminde etkili olacağı düşünülen kriterlerin belirlenmesi ve veri tabanının oluşturulmasıdır. İkinci adım BAHP yöntemi ile her bir tercih kriterine ait ağırlıkların belirlenmesidir. Son aşama

ise elektrikli araç şarj istasyonu için uygunluk haritasının oluşturulmasıdır. Çalışmada kullanılan kriterler literatür çalışmaları ve alanında uzman kişilerin görüşleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

### **3.1 Kullanılan Kriterler**

#### **Nüfus yoğunluğu (K1)**

Nüfus yoğunluğu her bir birim alan içerisinde yaşayan insan sayısını ifade etmektedir. Yoğunluğun fazla olduğu yerler daha kalabalık olduğundan bu bölgelerde daha fazla insan aktivitesi olacak ve ulaşım ihtiyacı da buna paralel olarak artacaktır (Güler ve Yomralıoğlu 2020a, Ghosh vd. 2021). Dolayısı ile elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçiminde nüfus yoğunluğu önemli bir kriterdir. Bu çalışmada TÜİK'in güncel nüfus verileri kullanılmıştır (Şekil 2a).

#### **Ana yollara yakınlık (K2)**

Elektrikli araçların ulaşım için kullandığı yollar şarj istasyonu yer seçiminde kritik öneme sahiptir (Erbaş vd. 2018, Kaya vd. 2020, Karolemeas vd. 2021). Elektrikli araç şarj istasyonlarının, insanların ulaşımında en yoğun olarak kullandığı ulaşım hareketliliğinin yüksek olduğu ana yollara yakın olması tercih edilmektedir. Bu çalışmada ana yollar 1/100.000 ölçekli çevre düzeni planından sayısallaştırılarak elde edilmiştir (Şekil 2b).

#### **Eğitim (K3)**

Eğitim, elektrikli araç şarj istasyonu fizibilite çalışmalarında, inşaatında, işletmesinde ve bakımında ekonomik açıdan önemli bir etken olup yer seçimi çalışmalarında kullanılmaktadır (Erbaş vd. 2018, Güler ve Yomralıoğlu 2020ab, Kaya vd. 2020). Yer seçimi çalışmalarında, eğimin yüksek olduğu alanlarda inşaat ve işletme maliyetleri artacağından daha az eğime sahip veya düz alanlar şarj istasyonları için daha uygun alanlar olacaktır. Bu çalışmada eğitim kriteri için kaynak veri olarak 12.5 m çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır (Şekil 2c).

#### **Alışveriş merkezlerine yakınlık (K4)**

Alışveriş merkezleri (AVM) özellikle son 20 yılda sosyal ve ekonomik hayatın en önemli parçası haline gelmiş ve insan aktivitesinin yoğun olduğu

alanlardır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının gündelik hayatın önemli bir parçası haline gelen AVM'lere yakın olması tercih edilmektedir (Güler ve Yomralıoğlu 2020 a, b). Bu çalışmada kullanılan AVM'ler Ankara Büyükşehir Belediyesi ve ilçe belediyelerine ait kent bilgi sistemlerinden elde edilmiştir. (Şekil 2d).

#### **Resmi kurumlar ve rekreasyon alanlarına yakınlık (K5)**

Yeşil alanlar, sağlık merkezleri, eğitim kurumları ve kamu binaları insanların hem iş hayatları hem de sosyal ve kültürel yaşamlarında en fazla vakit geçirdikleri alanlardır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının da insan hareketliliğinin çok olduğu bu merkezlere yakın olması tercih edilmektedir (Ghosh vd. 2021, Karolemeas vd. 2021) (Şekil 2e). Bu çalışmada resmi kurumlar ve rekreasyon alanları Ankara Büyükşehir Belediyesi ve ilçe belediyelerine ait kent bilgi sistemlerinden elde edilmiştir.

#### **Arazi değeri (K6)**

Arazi değeri, elektrikli araç şarj istasyonu yer seçiminde yapım maliyetlerini etkilemesi sebebiyle dikkate alınan ekonomik bir kriterdir (Erbaş vd. 2018, Güler ve Yomralıoğlu 2020a). Arazi değerleri, Gelir İdaresi Başkanlığı tarafından yayınlanan arsa ve arazi metrekaresi birim fiyatlarından elde edilmiştir. Çalışma bölgesindeki arazi değerleri çok değişkenlik göstermekte olup arsa değeri düşük olan bölgeler şarj istasyonu için daha uygun olacaktır (Şekil 2f).

#### **Petrol istasyonlarına yakınlık (K7)**

Fosil yakıtlı araçlar için istasyon gereksinimleri elektrikli araçlara göre farklı olsa da mevcut benzin istasyonlarının sık kullanılan trafik rotalarına göre konumlandırılması ve insan alışkanlıkları gibi sebeplerden ötürü bu lokasyonlar elektrikli araç şarj istasyonları için de uygun yerler olarak değerlendirilmektedir (Erbaş vd. 2018, Kaya vd. 2020, Karolemeas vd. 2021, Ghosh vd. 2021) (Şekil 2g). Bu çalışmada petrol istasyonları Ankara Büyükşehir Belediyesi ve ilçe belediyelerine ait kent bilgi sistemlerinden elde edilmiştir.

**Ulaşım istasyonlarına yakınlık (K8)**

Şehrin farklı bölgelerini birbirine bağlayan ulaşım istasyonlarına yakın bölgelerde kurulacak olan elektrikli araç şarj istasyonları, araç sahiplerinin, elektrikli araç şarj süresi boyunca toplu taşıma hizmetlerinden yararlanmasına imkan vererek ulaşım ihtiyaçlarını sağlayacak olması sebebiyle istasyonların yer seçiminde kullanılan önemli bir kriterdir (Erbaş vd. 2018, Güler ve Yomralıoğlu 2020a, Karolemas vd. 2021) (Şekil 2h). Bu çalışmada ulaşım istasyonları Ankara ulaşım bilgi sisteminden elde edilmiştir.

**Otoparklara yakınlık (K9)**

Araç sayısının çok fazla olduğu Ankara gibi şehirlerdeki çoğu araç sahibinin hem barındıkları konutlarda hem de iş yerlerinde kendilerine ait özel otoparkı bulunmamakta ve araçlarını özel veya kamu otoparklarına park etmektedirler. Ayrıca elektrikli araçların mevcut şarj sürelerinin uzun sürdüğü düşünüldüğünde otoparklara yakınlık uygun yer seçiminde kullanılan bir diğer önemli kriterdir (Güler ve Yomralıoğlu 2020ab) (Şekil 2i). Bu çalışmada otoparklar Ankara Büyükşehir Belediyesi ve ilçe belediyelerine ait kent bilgi sistemlerinden elde edilmiştir.

**3.2 Bulanık AHP**

Karar verme problemlerinde, aynı anda birden fazla kriterin değerlendirilerek en iyi kararın mümkün olduğu kadar hızlı ve kolay alınabilmesine olanak sağlayan araç ÇKKV modelleridir. Bu çalışmadaki temel amaç Ankara ilinde yeni kurulacak elektrikli araç şarj istasyonları için en uygun yerleri bir ÇKKV modeli ile tespit etmektir. Bu amaç doğrultusunda bir ÇKKV modeli olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (BAHP) kullanılmıştır.

İlk olarak Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan bulanık küme teorisi, üyelik fonksiyonlarının derecelendirilmesine olanak sağlamaktadır. Yöntemin ana amacı dilsel değişkenleri matematiksel olarak formüle etmektir (Zadeh, 1971). Uzmanlardan alınan dilsel değişkenler, klasik küme teorisine göre sayısal olarak ifade edilememektedir ve bu teoriye dayanan AHP gibi

yöntemler insan düşünme tarzını yansıtamamaktadır. Bu problemleri çözmek için AHP ve bulanık mantık teorisi birleştirilerek BAHP ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, ÇKKV problemlerin çözümünde Chang (1996) tarafından geliştirilen ve yer seçimi çalışmalarında da sıklıkla tercih edilen mertebe analiz yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin detaylı işlem adımları aşağıda verilmiştir;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  obje kümesi ve  $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  amaç kümesi olarak tanımlanır. Daha sonra her bir obje alınır ve her bir mertebe analizi ( $g_i$ ) uygulanır ve aşağıda gösterildiği gibi her bir obje için m mertebe analiz değeri elde edilir.

$$M_{(g_i)}^1, M_{(g_i)}^2, \dots, M_{(g_i)}^m \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Bir üçgensel bulanık sayı, en az olası değer ( $l$ ), en olası değer ( $m$ ), en geniş olası değer ( $u$ ) parametreleri ile ( $l, m, u$ ) şeklinde ifade edilir.

Aşama 1:  $i$ . objeye göre bulanık sentetik mertebe değeri (1) nolu eşitlik ile tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \times \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

Daha sonra (2) no'lu eşitlik ile oluşturulan vektör ile ilk aşama tamamlanır.

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right)$$

(2)

Aşama 2:  $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  ifadesinin olasılık (3) no'lu eşitlik ile belirlenir.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{array} \right\} \quad (3)$$

Aşama 3: Bir konveks bulanık sayı  $M$ 'nin,  $k$  konveks bulanık sayıdan  $M_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) daha büyük olması için olasılık derecesi (4) no'lu eşitlik ile hesaplanır.

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

$k = 1, 2, \dots, n$  ve  $k \neq 1$  olmak üzere  $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$  olarak farz edilir ve ağırlık vektörü (5) no'lu eşitlik ile hesaplanır.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (5)$$

**Çizelge 1.** İkili karşılaştırma matrisi.

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)	(1,3,5)
K2	(1,3,5)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,1,1)	(5,7,9)	(3,5,7)
K3	(1/7,1/5,1/3)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)
K4	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(1,3,5)
K5	(1,1,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)
K6	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(1,3,5)
K7	(1,3,5)	(1,1,1)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)
K8	(1/5,1/3,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1,3,5)	(1/7,1/5,1/3)	(1,3,5)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)
K9	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1,3,5)	(1,1,1)

İkili karşılaştırma matrisi, konusunda uzman kişilerle yapılan görüşmeler ve literatür çalışması ile oluşturulmuştur. Kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını anlaşılabilmesi için tutarlılık analizi yapılmış ve hesaplamalar sonucu; Tutarlılık oranı (TO) = 0.0287 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen TO değeri 0.10'dan küçük olduğu için yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu anlaşılmıştır. BAHF ile hesaplanan kriter ağırlıkları Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Kriter ağırlıkları, uygun yer seçimi aşamasında bu kriterlerin görece önem derecelerini göstermektedir. Bu kapsamda ana yollara yakınlık, petrol istasyonlarına yakınlık ve arazi değeri kriterlerinin elektrikli araç şarj istasyon yer seçiminde daha fazla etkili olduğu, eğim ve Resmi kurumlar ve rekreasyon alanlarına yakınlık

$A_i = (1, 2, \dots, n)$  ve  $A_i$ ,  $n$  tane bileşenlidir.

Aşama 4: Normalize edilen ağırlık vektörünün belirlenmesinde (6) no'lu eşitlik kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Burada hesaplanan  $W$  değeri bulanık olmayan bir sayıdır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (6)$$

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Elektrikli araç şarj istasyonları uygun yer seçimi için belirlenen kriter ağırlıklarının BAHF ile hesaplanması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Kriterlere ait oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 1'de sunulmuştur.

kriterlerinin ise daha az etkili olduğu tespit edilmiştir.

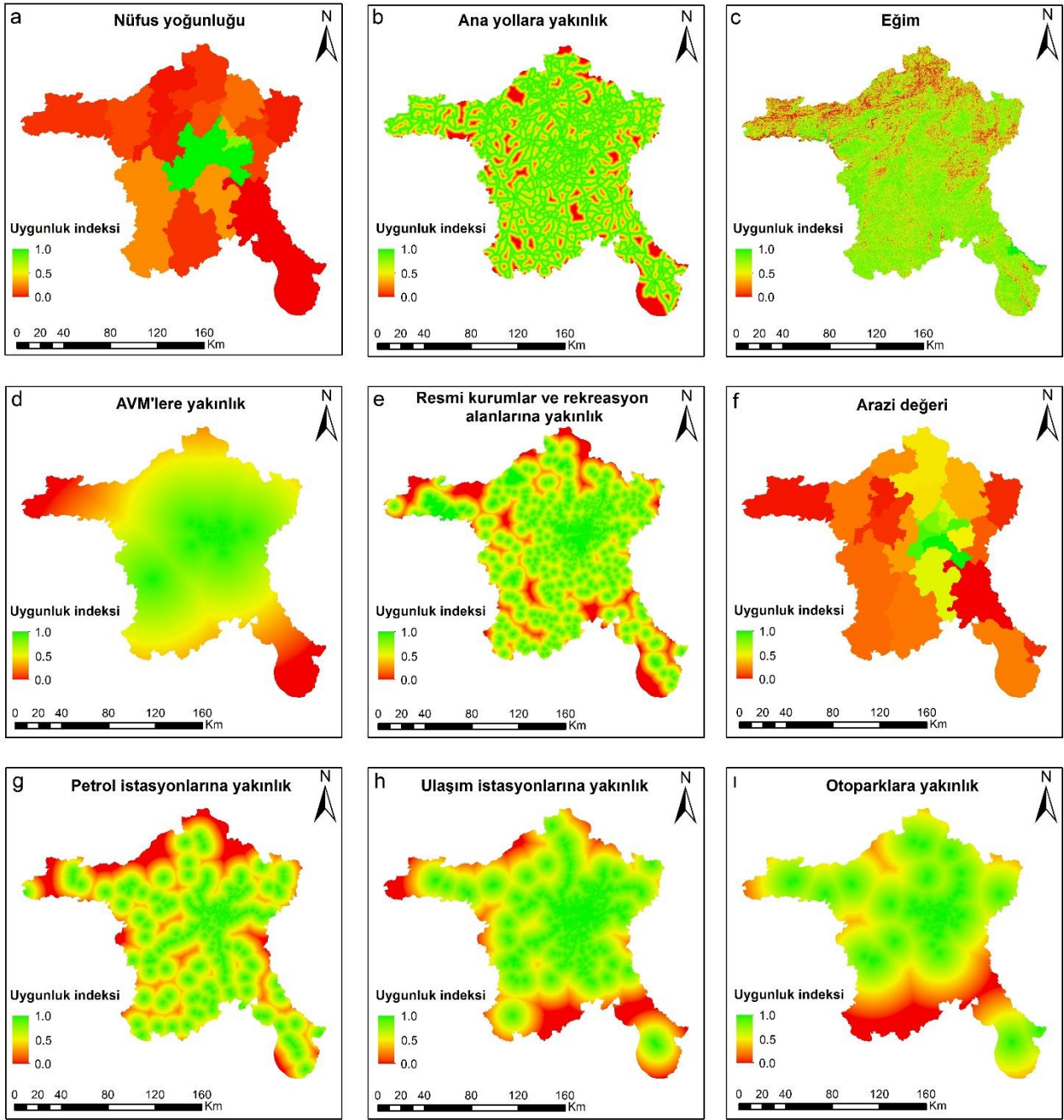
**Çizelge 2.** Kriter ağırlıkları.

Kriterler	Ağırlıklar
Nüfus yoğunluğu (K1)	0.105
Ana yollara yakınlık (K2)	0.183
Eğim (K3)	0.028
AVM'lere yakınlık (K4)	0.139
Resmi kurumlar ve rekreasyon alanlarına yakınlık (K5)	0.076
Arazi değeri (K6)	0.155
Petrol istasyonlarına yakınlık (K7)	0.165
Ulaşım istasyonlarına yakınlık (K8)	0.073
Otoparklara yakınlık (K9)	0.077

Farklı kaynaklardan toplanan tüm veriler, UTM (36-3) projeksiyon koordinat sisteminde 20 m piksel boyutunda raster verilere dönüştürülmüştür. Farklı değerlere sahip kriterler karşılaştırılabilmesi için "0-1" aralığında normalize edilmişlerdir. Uygunluk indeksinin "0"

olması o bölgelerin çok az uygun, "1" olması ise o bölgelerin çok yüksek uygun olduğunu

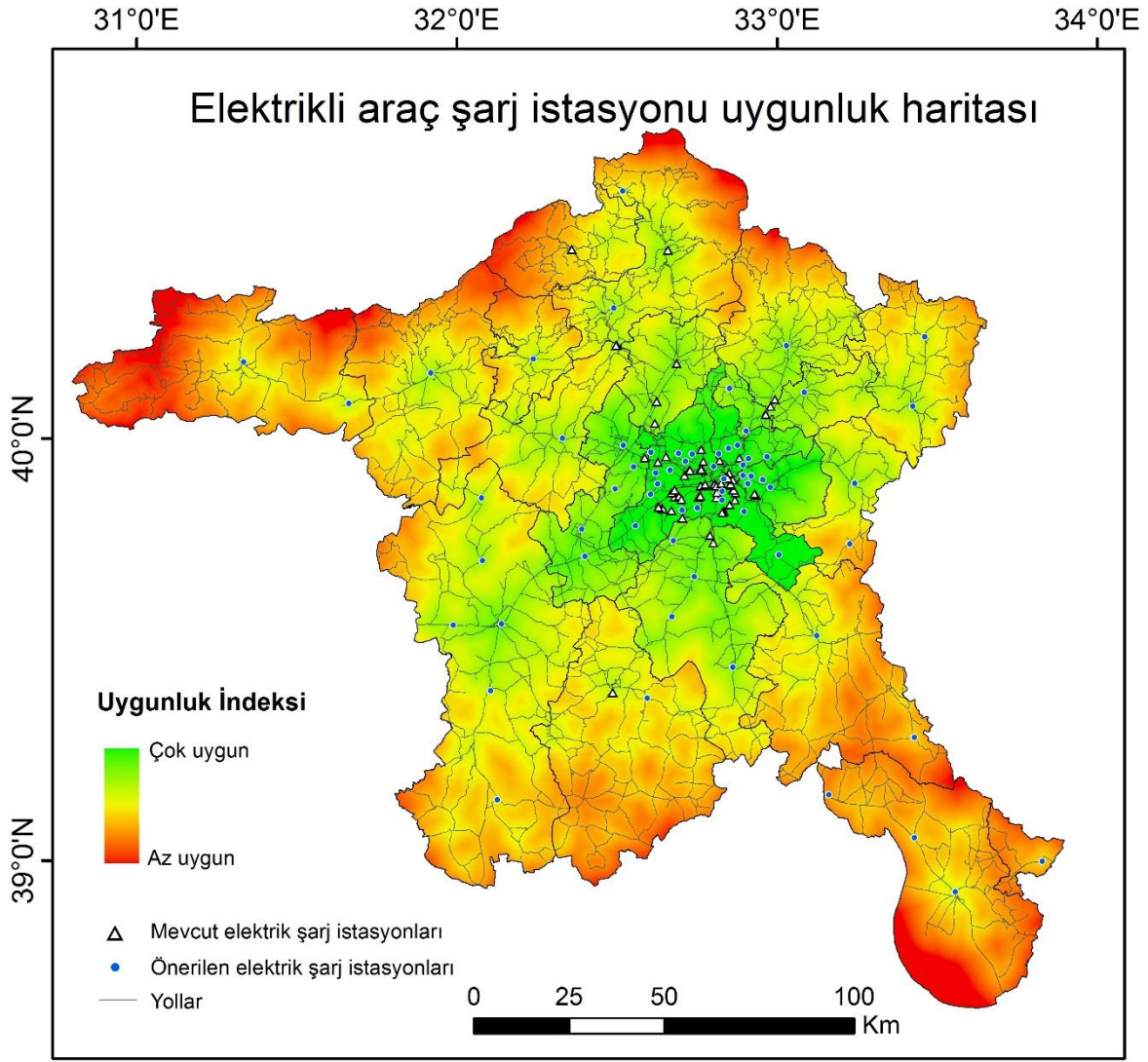
göstermektedir. Kriterlere ait haritalar Şekil 2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Uygun yer seçimi için kullanılan kriterler (a: nüfus yoğunluğu, b: ana yollara yakınlık, c: eğim, d: AVM'lere yakınlık, e: resmi kurumlar ve rekreasyon alanlarına yakınlık, f: arazi değeri, g: petrol istasyonlarına yakınlık, h: ulaşım istasyonlarına yakınlık, i: otoparklara yakınlık).

Elde edildikten sonra normalize edilen dokuz kriter, Çizelge 2'de verilen ağırlık değerleri dikkate alınarak ArcGIS yazılımında ağırlıklı lineer toplam

(weighted linear combination) bindirme analizi kullanılarak birleştirilmiş ve Şekil 3'de gösterilen uygunluk haritası üretilmiştir.



**Şekil 3.** Elektrikli araç şarj istasyonu uygunluk haritası.

Çalışma kapsamında üretilen sonuç haritasında gösterilen kırmızı renkli alanlar elektrikli araç şarj istasyonları için çok az uygun alanları, yeşil alanlar ise çok yüksek uygun alanları ifade etmektedir (Şekil 3). Çankaya, Mamak, Etimesgut, Yenimahalle ve Keçiören gibi merkez ilçelerin elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu açısından oldukça uygun alanlar olduğu görülmektedir. Buna sebep olarak bu ilçelerde hem nüfusun hem de kentsel donatı alanlarının yoğun olduğu söylenebilir. Mevcut elektrikli araç şarj istasyonlarının büyük bir çoğunluğunun da bu bölgelerde olduğu görülmektedir. Dolayısı ile il genelinde yapılan bu çalışma sonrasında üretilen sonuç uygunluk haritası ile mevcut elektrikli araç şarj istasyonlarının karşılaştırılması sonucunda mevcut tüm istasyonların uygun alanlarda olduğu görülmektedir. Benzer bir diğer çalışma olan Erbaş

vd. (2018)'de de çalışma, bahsedilen merkez ilçeler özelinde gerçekleştirilmiştir. Fakat, mevcut şarj istasyonu bulunmayan ve daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda ele alınmayan ilçeler Türkiye'nin önemli karayolu güzergahları üzerinde bulunmaktadır. Bu sebeple, bu çalışma da ise bölgedeki diğer çalışmalardan farklı olarak çalışma alanı genişletilerek elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi tüm Ankara il sınırında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında üretilen elektrikli araç şarj istasyonu uygunluk indeksine göre 65 adet yeni şarj istasyon yeri önerilmiştir.

Elektrikli araç şarj istasyonu gibi yer seçimi çalışmalarında, kriter seçimi ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi sonuç haritasını doğrudan etkilediği için oldukça önemlidir. Literatürdeki diğer çalışmalardan (Erbaş vd. 2018, Güler ve Yomralıoğlu 2020ab, Kaya vd. 2020) farklı olarak,



bu çalışmada elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi için en önemli kriter ana yollara yakınlık olarak hesaplanmıştır. Buna sebep olarak, bu çalışmanın hem il genelinde yapılmış olması hem de Türkiye'nin önemli karayolu güzergahlarının çalışma bölgesinde bulunması söylenebilir. Eğitim kriteri bu çalışmada düşük öneme sahip olsa da ekonomik açıdan dikkate alınması gereken önemli bir kriterdir. Fakat literatürde birçok çalışmada (Zhou vd. 2020, Ghosh vd. 2021, Karolemeas vd. 2021) eğitim kriteri dikkate alınmamıştır.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada Ankara ili bütününde yeni kurulacak elektrikli araç şarj istasyonları için uygun yerlerin belirlenmesi amacı ile CBS ve bir ÇKKV yöntemi olan BAHP yöntemleri entegre edilerek bir model geliştirilmiştir. Bu amaçla çalışma alanının özellikleri dikkate alınarak konu ile ilgili uzman görüşleri ve literatür araştırması sonucunda dokuz kriter seçilmiş ve BAHP ile bu kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Elektrikli araç şarj istasyon yer seçiminde sürücülerin seyahat için ana yolları daha fazla tercih etmeleri sebebi ile en yüksek ağırlığa sahip kriter ana yollara yakınlık olarak belirlenmiştir. Ağırlık değerleri göz önünde bulundurularak tüm kriterler birleştirme analizi ile birleştirilerek uygunluk haritası oluşturulmuştur. Uygunluk haritası incelendiğinde uygun olan alanların daha çok merkez ilçelerde olduğu görülmektedir. Ayrıca mevcut şarj istasyonlarının neredeyse tamamına yakınının da merkez ilçelerde bulunduğu ve birçok ilçede şarj istasyonu bulunmadığı saptanmıştır. Bu kapsamda, oluşturulan uygunluk haritası dikkate alınarak yeni kurulacak elektrikli araç şarj istasyonları için yerler önerilmiştir. Çevre ve gürültü kirliliğini ciddi oranda düşürecek olan elektrikli araçlar için trafik ağlarını olumsuz yönde etkilemeyecek uygun şarj istasyon yerlerin belirlenmesi çalışması, sürdürülebilir kent yönetimi açısından oldukça öneme sahiptir. Bu sebeple özellikle kullanılacak kriterlerin son derece dikkatli bir şekilde ve uzman kişilerce belirlenmesi yer seçimi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılan kriterlerin diğer bölgelerde yapılacak diğer çalışmalarda da kullanılabileceği düşünülmektedir.

## 6. Kaynaklar

- Bakogiannis, E., Siti, M., Tsigdinos, S., Vassi, A., ve Nikitas, A., 2019. Monitoring the first dockless bike sharing system in Greece: Understanding user perceptions, usage patterns and adoption barriers. *Research in Transportation Business ve Management*, **33**, 100432.
- Bilgilioğlu, S.S., Gezgün, C., Orhan, O., ve Karakus, P., 2021. A GIS-based multi-criteria decision-making method for the selection of potential municipal solid waste disposal sites in Mersin, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.
- Bilgilioğlu, S.S., 2021. Land suitability assessment for Olive cultivation using GIS and multi-criteria decision-making in Mersin City, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, **14**, 2434.
- Bouguerra, S., ve Layeb, S.B., 2019. Determining optimal deployment of electric vehicles charging stations: Case of Tunis City, Tunisia. *Case Studies on Transport Policy*, **7**(3), 628-642.
- Chang, D.Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, **95**(3), 649-655.
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E., ve Çetinkaya, C., 2018. Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis. *Energy*, **163**, 1017-1031.
- Feng, J., Xu, S. X., ve 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.
- Ghosh, A., Ghorui, N., Mondal, S.P., Kumari, S., Mondal, B.K., Das, A., ve Gupta, M.S., 2021. Application of Hexagonal Fuzzy MCDM Methodology for Site Selection of Electric Vehicle Charging Station. *Mathematics*, **9**(4), 393.
- Guler, D., ve Yomralioğlu, T., 2020a. Suitable location selection for the electric vehicle fast charging station with AHP and fuzzy AHP methods using GIS. *Annals of GIS*, **26**(2), 169-189.
- Güler, D., ve Yomralioğlu, T., 2020b. Açık Kaynak Kodlu CBS Yazılımı ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemini İçeren Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi Önerisi. *Harita Dergisi*, **163**, 17-28.
- Hawkins, T.R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., ve Strømman, A.H., 2013. Comparative environmental

- life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, **17**(1), 53-64.
- He, F., Wu, D., Yin, Y., ve Guan, Y., 2013. Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, **47**, 87-101.
- Huang, Y., Surawski, N.C., Organ, B., Zhou, J.L., Tang, O.H., ve Chan, E.F., 2019. Fuel consumption and emissions performance under real driving: Comparison between hybrid and conventional vehicles. *Science of the Total Environment*, **659**, 275-282.
- Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Tzouras, P.G., Nikitas, A., ve Bakogiannis, E., 2021. Determining Electric Vehicle Charging Station Location Suitability: A Qualitative Study of Greek Stakeholders Employing Thematic Analysis and Analytical Hierarchy Process. *Sustainability*, **13**(4), 2298.
- Kaya, Ö., Tortum, A., Alemdar, K.D., ve Çodur, M.Y., 2020. Site selection for EVCS in Istanbul by GIS and multi-criteria decision-making. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **80**, 102271.
- Liu, Z., Wen, F., ve Ledwich, G., 2012. Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **28**(1), 102-110.
- Orhan, O., 2021. Land suitability determination for citrus cultivation using a GIS-based multi-criteria analysis in Mersin, Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, **190**, 106433.
- Orhan, O., Yakar, M., ve Ekercin, S., 2020. An application on sinkhole susceptibility mapping by integrating remote sensing and geographic information systems. *Arabian Journal of Geosciences*, **13**(17), 1-17.
- Sadek, S., El-Fadel, M., ve Freiha, F., 2006. Compliance factors within a GIS-based framework for landfill siting. *International Journal of Environmental Studies*, **63**(1), 71-86.
- Tercan, E., Saracoglu, B.O., Bilgilioğlu, S.S., Eymen, A., ve Tapkın, S., 2020. Geographic information system-based investment system for photovoltaic power plants location analysis in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, **192**(5), 1-26.
- Thiel, C., Alemanno, A., Scarcella, G., Zubaryeva, A., ve Pasaoglu, G., 2012. Attitude of European car drivers towards electric vehicles: a survey. *JRC report*.
- Uyan M., ve Yalpir, Ş., 2016. Çok kriterli karar verme modeli ve CBS entegrasyonu ile tıbbi atık sterilizasyon tesislerinin yer seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**(3), 642-654.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, **8**(3), 338-353.
- Zadeh, L.A., 1971. Quantitative fuzzy semantics. *Information sciences*, **3**(2), 159-176.
- Zhou, J., Wu, Y., Wu, C., He, F., Zhang, B., ve Liu, F., 2020. A geographical information system based multi-criteria decision-making approach for location analysis and evaluation of urban photovoltaic charging station: A case study in Beijing. *Energy Conversion and Management*, **205**, 112340.

#### İnternet kaynakları

- 1-<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2020-37410>, (20.10.2021)
- 2-<https://zes.net/sarj-noktalari.html>, (20.10.2021)
- 3-<http://app.voltrun.com/cmp/#/map>, (20.10.2021)
- 4-<https://esarj.com/harita>, (20.10.2021)