


Açık Kaynak Kodlu CBS Yazılımı ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemini İçeren Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi Önerisi

(A Proposal for Electric Vehicle Charging Station Location Selection with Open Source GIS Software and Fuzzy Analytic Hierarchy Process)

Doğuş GÜLER , Tahsin YOMRALIOĞLU 

Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul
(gulerdo, tahsin)@itu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 21.10.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 27.12.2019

ÖZ

Bilgi teknolojilerinden faydalanılarak yaşanan dünyaya ilişkin günümüzde birçok araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmaların önemli bir kısmı yaşam alanlarının daha sürdürülebilir hale getirilmesiyle ilişkilidir. Şehirlerdeki hareketlilik birçok ekonomik ve kişisel aktivitenin gerçekleşebilmesi için önemli bir kaynaktır ve bu yüzden yaşamın kayda değer bir parçasını oluşturmaktadır. Sürdürülebilir modern kentler için ulaşım servislerinin verimliliği büyük önem arz etmektedir. Metropollerde karşılaşılan problemlerden biri de kentsel ulaşım için kullanılan yakıtlı araçların çevreye verdiği zararlardır. Bununla birlikte, kullanılan kaynakların sonlu olmasıyla ilişkili olarak ekonomik olarak da yakıtlı araçların verimliliği tartışılmaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda elektrikli araçlarla ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Çevreye duyarlılıkları ve ekonomik açıdan sahip oldukları avantajlardan dolayı elektrikli araçların yaygınlaştırılması için araştırmalar yapılmaktadır. Elektrikli araçların verimli bir şekilde kullanılabilmesi için önem arz eden konulardan biri de elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlarıdır. Yer seçimi analizleri, konumsal birçok veri setinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, sahip olduğu konumsal verileri yönetme ve analiz etme özelliklerinden faydalanılmak üzere Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlarının seçimi birçok farklı ölçüte bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Seçilen ölçütlerin değerlendirilmesiyle ilgili problemin çözümüne yönelik Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (BAHY) kullanılmıştır. Açık kaynak kodlu CBS yazılımından faydalanılarak elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi için analiz sürecini kolaylaştırmak adına bir model oluşturulmuştur. Çalışma bölgesi olarak İstanbul'un üç farklı ilçesi seçilmiştir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yönteminden elde edilen ölçüt ağırlıkları CBS'deki veri katmanlarıyla ilişkilendirilerek karar vericilere destek olacak gerekli haritalar üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık Kaynak Kodlu Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yazılımı, Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (BAHY), Elektrikli Araç, Yer Seçimi, İstanbul.

ABSTRACT

Today, research is being made by benefiting from information technologies about the world. An important part of these studies is related to making living spaces more sustainable. Mobility in cities is an important resource for the realization of many economic and

personal activities and forms; therefore, it is a significant part of life. The efficiency of transportation services is of vital importance for sustainable modern cities. One of the problems encountered in metropolises is the environmental damage caused by fueled vehicles that are used for urban transportation. However, the efficiency of fueled vehicles is also discussed economically in relation to the finite nature of the resources that are used. In recent years, studies on electric vehicles have accelerated. Research is being carried out to disseminate electric vehicles due to their environmental sensitivities and economic advantages. One of the most important issues for the efficient use of electric vehicles is the location of electric vehicle charging stations. Site selection analyzes are being performed by using several spatial data sets. In this study, the location selection of electric vehicle charging stations is realized by taking many different criteria into account and benefiting from the feature of managing and analyzing spatial data of Geographic Information Systems (GIS). Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) is used to solve the problem related to the evaluation of selected criteria. By using the open-source GIS software, a model has been developed to facilitate the analysis process of location selection of electric vehicle charging stations. Three different districts of Istanbul are selected as a study area. The criterion weights obtained from the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method are linked to the data layers in the GIS and necessary maps are produced to support the decision-makers.

Keywords: Open-source Geographic Information Systems (GIS) Software, Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), Electric Vehicle, Location Selection, İstanbul.

1. GİRİŞ

Dünya çapındaki istatistiklere göre, petrol tüketiminin yarısından fazlası ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte sera etkisini oluşturan en önemli etkenlerden biri olan karbondioksit emisyonunun ise çeyreğinden fazlasını bu sektör tarafından üretilmektedir (Guo, Zhang, Liu, He ve Shi, 2018). Elektrikli araçlar petrole olan bağımlılığı düşürmektedir ve ulaşım ile ilişkili olarak ortaya çıkan zararlı emisyonların miktarını azaltmaktadır. Bu nedenlerle sürdürülebilir ulaşım sisteminin etkili

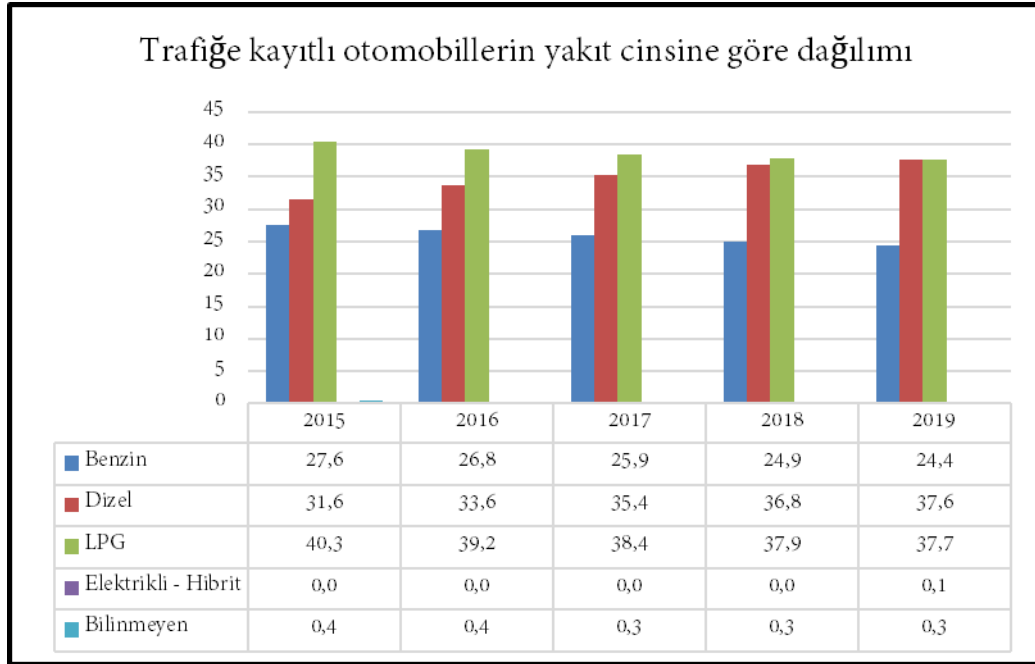
bir bileşeni olmaktadır ve gün geçtikçe popülerliğini arttırmaktadır (Liu, Kong, Liu, Peng ve Wang, 2015).

İklim değişikliğinin etkilerini azaltmak, hava kalitesini arttırmak, sağlıkla ilgili riskleri hafifletmek ve sürdürülebilirliği fazlaştırmak için çözüm olarak yüksek emisyon üreten ve yakıt kullanan araçlardan düşük emisyonlu elektrikli araçlara geçiş önerilmektedir (Cai, Jia, Chiu, Hu ve Xu, 2014; Ellingsen, Singh ve Strømman, 2016). Bu durumla birlikte elektrikli araçların yaygınlaştırılması için çalışmalar hız kazanmıştır. Elektrikli araçların kullanımının artmasındaki engellerden biri şarj istasyonlarının yeterli sayıda olmamasıdır (Li, Zhan ve Lukszo, 2016).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2019 yılında paylaşılan istatistiklere göre, trafiğe kayıtlı araçların yakıt cinsine göre dağılımı Şekil 1'de yer almaktadır (TÜİK, 2019). İstatistikler incelendiğinde benzin ve LPG kullanan araç sayısı neredeyse eşitlenmiş olsa da 2015 yılından 2019 yılının altı aylık bölümüne kadar, toplam araç sayısı içerisinde en fazla LPG cinsi yakıt tüketimine sahip araçların olduğu görülmektedir. Elektrikli-Hibrit yakıt kullanan araç sayısının ise %0,1'in altında olduğu görülmektedir. Günümüzde ise bu oran sadece %0,1'e yükselmiştir. Rakamlardan, elektrikli araç kullanımının Türkiye'de oldukça düşük seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle elektrikli araç

kullanımının yaygınlaştırılması için gerçekleştirilen çalışmalar önemini arttırmaktadır.

Literatürde birçok araştırmacı elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun konumlarının bulunması için çalışmalar yürütmüştür. Frade, Ribeiro, Gonçalves ve Antunes (2011) her bir mahalle için gündüz ve gece olmak üzere elektrikli araç şarj taleplerini tahmin etmişlerdir. Ardından beklenen taleple ilişki olarak şarj istasyonlarının uygun konumlarını belirlemişlerdir. Chen, Kockelman ve Khan (2013) park için oluşan talebi referans alarak elektrikli araç şarj istasyonlarına olan talebi modellemiştir. Yürüme mesafelerini minimize ederek veya ulaşım masraflarını minimize ederek sabit şarj istasyonlarının konumlarını belirlemişlerdir. Shahraki, Cai, Turkey ve Xu (2015) varılmak istenen konumlarla şarj istasyonları arasındaki mesafeleri minimize etmek için büyük ölçekli araç güzergâh verilerini kullanmıştır. Çalışmada, şarj talebini ev halkına ait demografik değişkenler ve makroekonomik değişkenler bakımından tahmin etmişlerdir. He, Kockelman ve Perrine (2019) uzak mesafe otoyol yolculuğunda elektrikli araçların şarj ihtiyacının karşılanması için konum modellemesini formüle etmiştir. Tüm A.B.D. otoyolları kullanılarak daha önceki araştırmalardan daha kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre elektrikli araç şarj istasyonları yapılması gereken konumlar önerilmiştir.



Şekil 1. Türkiye'de trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde şarj istasyonlarının konumlarının birçok farklı ölçüte göre farklılık gösterdiği saptanmıştır. Kompleks problemlerin çözümünde kriter ağırlıklarının belirlenmesi için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bunun yanı sıra birçok yer seçimi araştırmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ÇKKV metodolojisi kullanıldığı görülmektedir (Anwarzai ve Nagasaka, 2017; Güler ve Yomralioğlu, 2017; Villacreses, Gaona, Martínez-Gómez ve Jijón, 2017).

Açık kaynak kodlu yazılımların finansal açıdan sahip oldukları avantajın yansısı yeniden üretilebilirliğin, güvenilirliğin, güvenliğin ve dağıtımın garanti edilebilmesi için bilim dünyasında kullanılan yazılımların açık kaynak kodlu olması gerektiğine dair son yıllarda hızla artan bir talep oluşmuştur (Dile, Daggupati, George, Srinivasan ve Arnold, 2016).

Bu çalışmada, karmaşık bir problem olan elektrikli şarj istasyonu yer seçimi için konumsal verilerin analiz edilerek anlamlı çıktılar üretilmesini sağlayan açık kaynak kodlu CBS yazılımı ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (BAHY) kullanılarak bir çözüm önerisi sunulmuştur. Çalışmanın farklı araştırmacılar tarafından değişik çalışma bölgelerinde kullanılabilmesini sağlamak ve çalışmada elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmak amacıyla açık kaynak kodlu CBS yazılım araçlarından yararlanılmaktadır. Sonraki bölümde çalışmada kullanılan yöntem ve araçlardan bahsedilecektir. Ardından, gerçekleştirilen örnek uygulama hakkında bilgiler verilecektir. Son olarak sonuç ve öneriler ile yayın sonlandırılacaktır.

Bu makale 25-27 Nisan 2019 tarihlerinde gerçekleştirilen 10. TUFUAB Teknik Sempozyumu'nda sunulan "Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçiminde Açık Kaynak Kodlu CBS Yazılım Kullanımı" başlıklı bildiriden hazırlanmıştır (Güler ve Yomralioğlu, 2019).

2. YÖNTEM

Çalışmada, öncelikli olarak elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun konumlara yerleştirilmeleri için hangi kriterlerin etki ettiği belirlenmelidir. Bu aşama çalışmanın sonuçlarını direkt etkilemektedir çünkü etkisiz kriterlerin seçimi verimliliği azaltacaktır. Bu nedenle kapsamlı bir literatür araştırması yapılarak daha önceki çalışmalarda araştırmacıların faydalandığı kriterler belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra hangi kriterin elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimine

ne kadar etki ettiği belirlenmelidir. Kriter ağırlıklarını belirlemek için BAHY kullanılmıştır. Ardından her bir kritere ait harita katmanının elde edilmesi gerekmektedir. Bu sayede konumsal verilerle kriter ağırlıkları eşleştirilerek uygun konumlar bulunabilecektir. Bu çalışmanın amaçlarından biri olan açık kaynaklı yazılım ve araçların kullanılmasına bağlı olarak QGIS yazılımında bir model oluşturulması izlenen yöntemin bir diğer kısmını oluşturmaktadır. Son işlem adımı olarak hazırlanan konumsal analizleri içeren model oluşturulması ve kriter ağırlıkları kullanılarak elektrikli araç şarj istasyonu uygunluk indeksinin elde edilmesi yer almaktadır. Çalışmada izlenen iş akışı Şekil 2'de görülebilmektedir.



Şekil 2. Çalışma iş akışı

ÇKKV yöntemleri çelişkili, birden fazla ve kıyaslanamaz kıstas veya amaç içeren gerçek dünya problemlerini çözmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Kubler, Robert, Derigent, Voisin ve Le Traon, 2016).

İnsan yargısı ve karar vermesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar insan beyninin aynı anda sadece sınırlı sayıda bilgiyi işleyebildiğini göstermiştir. Bu durum, karmaşık problemlerle karşılaşıldığında güven vermeyen kararlar verilebileceğini vurgulamaktadır (Simpson, 1996). Karmaşık problemlerle başa çıkabilmek için Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) 1980'li yıllarda önerilmiştir (Saaty, 2005). Bu yöntem literatürde en yaygın olarak kullanılan ÇKKV yöntemidir. Bu durumun altında yatan etkenler; yöntemin sahip olduğu tarafsız ve mantıksal derecelendirme ile lineer programlama ve bulanık mantık gibi farklı tekniklerle etkileşimli olarak çalışmaya olanak tanınmasıdır (Saaty ve Vargas, 2012; Vaidya ve Kumar, 2006). Yöntemin sahip olduğu avantajlar, kullanıcılara bütünleştirilen metotlardan faydalanılmasına ve amaçlanan hedefe daha iyi bir şekilde ulaşılmasına imkân tanımaktadır (Kubler ve diğerleri, 2016). Klasik küme teorisinden farklı olarak bulanık küme teorisi, üyelik fonksiyonlarının derecelendirilmesine olanak sağlamaktadır. İlk olarak Zadeh (1965)

tarafından ortaya atılan bulanık mantık, teorisini ve uygulamalarını elektrik mühendisliği temelinden almaktadır. Yöntem, matematiksel olarak insan muhakemesiyle daha iyi başa çıkabilmek ve onu formüle edebilmek için önerilmiştir (Zadeh, 1971).

AHY karar verme aşamasında genellikle kesin bilgileri kullanmaktadır. Bu durumun sonucunda yargıların ölçeklendirilmesinde bazı dengesizliklerle karşılaşabilmektedir. Yöntem, insan yargısının sayısal olarak ifade edilmesinde kararsızlıkları dikkate almamaktadır. Sıralama yapıldığında karar vericilerin belirlenen ağırlıklar üzerinde fazlaca etkisi olduğundan dolayı değerlendirme ve seçim aşamasında subjektiflik ortaya çıkabilmektedir. Bahsedilen problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için araştırmacılar bulanık mantık teorisiyle AHY'ni bütünleştirerek BAHY'ni üretmişlerdir (Sun, 2010; Yang ve Chen, 2004).

Bu çalışmada araştırmalarda sıklıkla kullanılan ve Chang (1996) tarafından önerilen mertbe analiz yöntemi (extent analysis method) kullanılmıştır. Bu kısımda yöntemin detaylı işlem adımları verilmektedir (Dağdeviren, Yüksel ve Kurt, 2008). Yöntemde $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ obje seti ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ amaç seti olarak tanımlanır. İş akışı olarak her bir obje ele anılır ve ardından her bir amaç olarak g_i için mertbe analiz işlemi gerçekleştirilir. Böylelikle her bir obje için mertbe analiz değerlerini temsil eden m değişkeni aşağıdaki işaretler kullanılarak temsil edilir:

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

burada $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) üçgensel bulanık sayıları temsil etmektedir. Yöntemin geri kalan işlem adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: i 'ninci objeye ilişkin bulanık sentetik mertbe değeri aşağıdaki şekilde tanımlanır:

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

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ 'yi elde edebilmek adına her bir matris için m mertbe analiz değerlerinin bulanık ekleme operasyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (2)$$

ve ardından bu vektörün tersinin alınması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

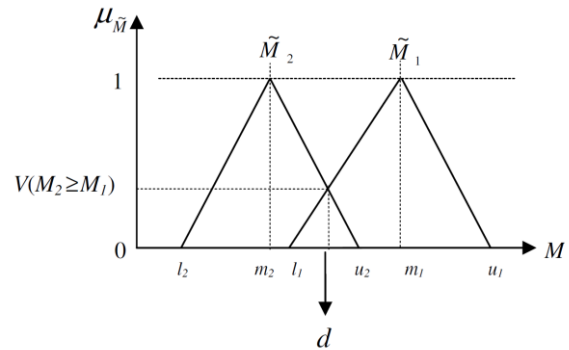
$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (3)$$

Adım 2: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 'nin olasılık derecesi $V(M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))]$

olarak tanımlanır ve eşit olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_2 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

Burada d , μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası olan D 'nin ordinatıdır (Şekil 3).



Şekil 3. M_1 ve M_2 arasındaki kesişim noktası (Dağdeviren ve diğerleri, 2008)

M_1 ve M_2 'yi karşılaştırmak için $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ 'nin her ikisine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Adım 3: k konveks bulanık sayılar $M_i = (i = 1, 2, \dots, k)$ 'dan büyük olan konveks bulanık sayılar için olasılık derecesi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (5)$$

Burada $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$ için $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ olarak farz edilmektedir. Ardından ağırlık faktörü aşağıdaki şekilde verilir:

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

Burada $A_i = (1, 2, \dots, n)$ ile n tane bileşen ifade edilmektedir.

Adım 4: Normalizasyon işlemi ile normalize edilmiş ağırlık vektörleri

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \text{ şeklinde elde edilir.}$$

Burada W bulanık olmayan sayıdır.

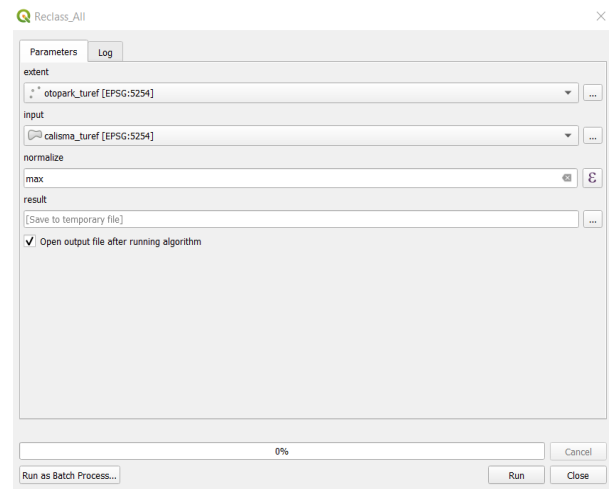
Konumsal analizler için literatürde en sık kullanılan açık kaynak kodlu CBS yazılımlarından biri olan QGIS 3.4 versiyonu kullanılmıştır (QGIS Development Team, 2019). QGIS girişiminin orijinal amacı Linux tabanlı sistemler için kullanımı kolay ve hızlı bir coğrafi veri görüntüleyicisi geliştirmektir. Buna rağmen geliştiriciler ana hedefin ötesine de geçerek QGIS yazılımına birçok fonksiyonel özellik kazandırmış ve yaygın olarak kullanılan (MS-Windows, MacOSX, Linux, Unix) işletim sistemlerinde yazılımı çalışabilir hale getirmişlerdir. Ayrıca, raster ve vektör veri tipleriyle çalışabilen QGIS aynı zamanda internet servislerinden elde edilen verilerle de işlem yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte yazılım içerisinde kullanıma olanağı bulunan ve zengin analiz yeteneklerine sahip SAGA GIS yazılımı ile GDAL kütüphanelerinden de faydalanılmıştır. SAGA (System for Automated Geo-Scientific Analysis) yazılımı bilimsel bir arka plana sahiptir. Yazılımın ilk modülleri Almanya'nın Göttingen Üniversitesi Coğrafya Bölümü'nde raster verilerin analizi amacıyla 2001 yılında geliştirilmiştir.

Yazılım sahip olduğu ayrıntılı kullanıcı dokümanı sayesinde kısa zamanda birçok kullanıcı tarafından indirilerek çalışmalarda faydalanılmıştır (Steiniger ve Bocher, 2009).

Şekil 4 bu çalışmada kullanılan konumsal analiz araçlarını göstermektedir. Bu kısımda, oluşturulan model ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Şekil 5 ise modelin QGIS yazılımı içerisindeki kullanıcı arayüzüne sahip halini göstermektedir.



Şekil 4. Çalışma kapsamında kullanılan açık kaynak CBS yazılım ve analiz araçları



Şekil 5. Model arayüzü

Model girdi olarak vektör veri tipinden yararlanmaktadır (*input*). Bununla birlikte çalışma bölgesini konumsal analizlerde tanımlamak ve kullanabilmek için sınırları içeren vektör veriden faydalanmaktadır (*extent*). Modelin diğer bir parametresi ise normalize işleminin maksimize mi yoksa minimize olarak mı gerçekleştirileceğini modele tanıtmaktadır (*normalize*).

İşlem sırası olarak ilk önce girdi vektör verisi raster veriye dönüştürülmektedir. Ardından yakınlık analizi uygulanarak vektör verinin sahip olduğu özellik nesnelere uzaklıkları temsil eden pikselleri içeren raster veri seti oluşturulmaktadır. Ardından girdi olarak elde edilen normalizasyon cinsi ve QGIS yazılımının sahip olduğu ifadeler (*expressions*) sayesinde SAGA GIS kullanılarak normalize edilmiş raster veri çıktıları oluşturulmaktadır. Anlatılan bu model vektör verinin sahip oldukları nesnelere uzaklıklarına göre analizi gerçekleştirmektedir. Oluşturulan bir diğer modelde ise vektör verinin sahip olduğu öznitelik (*attributes*) değerleri kullanılarak normalize edilmiş raster veriler elde

edilebilmektedir. Tüm modeller QGIS kullanıcılarıyla model dosyasının iletilmesi yoluyla paylaşılabilir.

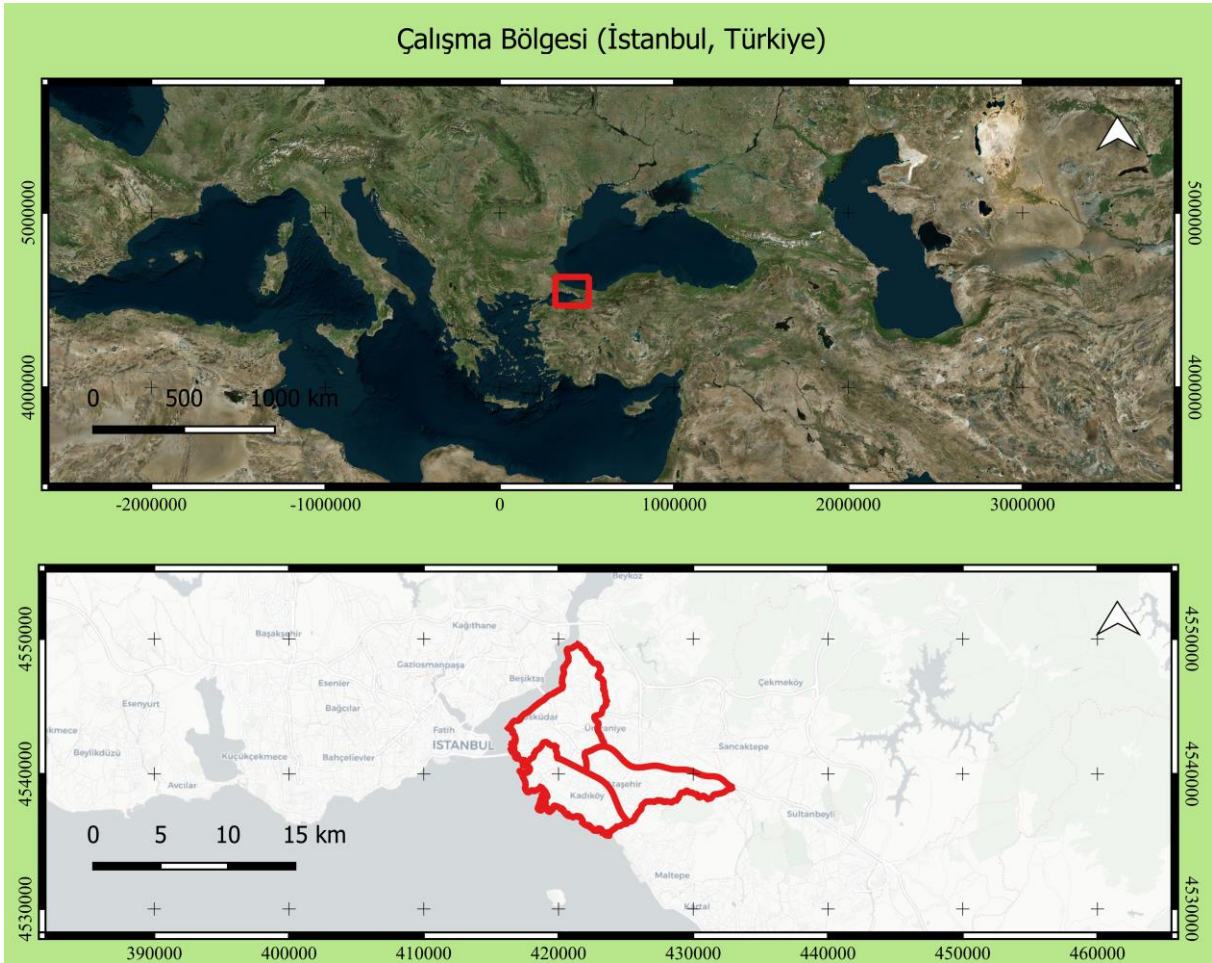
Bu durum çalışmanın tekrarlanabilirliğine önemli ölçüde katkı vermektedir. Çalışma bölgesi olarak Türkiye'nin İstanbul ili sınırları içerisinde yer alan birbirine bitişik Üsküdar, Kadıköy ve Ataşehir ilçelerinin sınırları seçilmiştir. Çalışma bölgesi içerisinde, yoğun olarak kullanılan ulaşım hatları ve ulaşım aktarma istasyonları bulunmaktadır. Bölgenin içerisinde sıklıkla ziyaret edilen otopark ve alışveriş merkezleri bulunmaktadır. Bu özellikler sayesinde daha verimli analiz sonuçları elde edilebileceği varsayılmıştır. Ayrıca belirlenen üç ilçe de nüfus bakımından oldukça yoğundur. Bölge toplam 85 km² alana sahiptir. Çalışma bölgesi Şekil 6'da yer almaktadır.

için literatür araştırması sonucunda farklı kriterler belirlenmiştir (L. Chen, Huang, Chen ve Jin, 2016; Wu, Yang, Zhang, Chen ve Wang, 2016; Zhao ve Li, 2016). Tespit edilen kriterler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Kriterler ve kısaltmaları

Kriter	Kısaltma
Nüfus Yoğunluğu	K1
Alışveriş Merkezlerine Uzaklık	K2
Yollara Uzaklık	K3
Gelirler	K4
Ulaşım İstasyonlarına Uzaklık	K5
Benzin İstasyonlarına Uzaklık	K6
Otoparklara Uzaklık	K7
Yeşil Alanlara Uzaklık	K8
Eğim	K9
Arazi Değerleri	K10

Daha önce bahsedildiği gibi elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimini gerçekleştirilebilmek



Şekil 6. Çalışma Bölgesi

3. UYGULAMA

Bu bölümde harita katmanları ve sahip oldukları kriter ağırlıklarıyla gerçekleştirilen uygulama işlemlerinden bahsedilecektir. İlk adım olarak BAHY kullanılarak kriterlere ait ağırlıklar belirlenmiştir.

Yöntemi uygulamak için MATLAB yazılımında bir kod yazılmıştır ve yazılımın paylaşım platformundan dünyadaki tüm kullanıcılar ile paylaşılmıştır (Guler ve Yomralioglu, 2018). Karşılaştırma matrisi, yöntem bölümünde söylendiği üzere literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak oluşturulmuştur (Tablo 2). Kriterlerin sahip oldukları ağırlıklar Tablo 3'de yer almaktadır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından tüm kriterlere ait harita katmanlarını içeren bir konumsal veri tabanı oluşturulmuştur. Kriterlere göre nokta, poligon ve çizgi vektör türlerinde katmanlar elde edilmiştir. Eğim katmanı ücretsiz olarak paylaşılan "EUDEM" dijital yükseklik modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Modelin çözünürlüğü 25 metredir. Bu nedenle çalışmadaki tüm raster veri türlerinin çözünürlüğü 25 metre olacak şekilde analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Kriter ağırlıkları

Kriter	Ağırlık
Nüfus Yoğunluğu	0.0951
Alışveriş Merkezlerine Uzaklık	0.0887
Yollara Uzaklık	0.0929
Gelirler	0.0983
Ulaşım İstasyonlarına Uzaklık	0.0970
Benzin İstasyonlarına Uzaklık	0.0862
Otoparklara Uzaklık	0.0964
Yeşil Alanlara Uzaklık	0.1590
Eğim	0.0921
Arazi Değerleri	0.0943

Tüm veriler için ortak olarak Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) 3° TM30 koordinat sistemi kullanılmıştır.

CBS'de çok sayıda katman analiz edildiğinde işlem tekrarları oluşmaktadır. Bu durumu önlemek ve hataların önüne geçebilmek için CBS'de otomasyonu sağlamaya yarayan model oluşturma özelliği bulunmaktadır. QGIS yazılımında da yer alan bu özellik sayesinde bu çalışmadaki vektör verilerin kriterlerin özelliğine göre yeniden sınıflandırma (reclassify) analizi yapılarak tüm katmanların kullanıldığı bindirme (overlay) analizine uygun hale getirilmesi sağlanmıştır.

Uygunluk indeksinin sağlıklı bir şekilde bulunabilmesi için tüm katmanların nitelik (attribute) değerlerinin aynı değer aralığında normalize edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada da tüm değerler "0-1" arasında normalize edilmişlerdir. Bu işlem yapılırken kriterlerin sahip oldukları özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin; otoparklara yakın konumlar elektrikli araç şarj istasyonları için daha uygun olduğundan minimize edilirken, nüfus yoğunluğunun fazla olması araçların kullanım olasılığını arttıracığından dolayı bu kriterin değerleri maksimize edilmiştir. Alışveriş merkezlerine yakın konumlar şarj istasyonları için daha uygundur çünkü buraları ziyaret eden araç sahipleri araçlarını vakit kaybetmeden şarj edebilirler. Yollara yakın konumlar araçların kolaylıkla ulaşabilmesi için önem arz etmektedir. Mevcut durumda elektrikli araçların fiyatları çok uygun seviyelerde olmadığı için gelir düzeyi yüksek kişilerden oluşan bölgeler daha fazla elektrikli araç kullanım oranına sahip olabilirler. Ulaşım istasyonlarına elektrikli araçlarını bırakan araç sahipleri farklı noktalara toplu ulaşım araçlarını kullanarak ulaşabilirler.

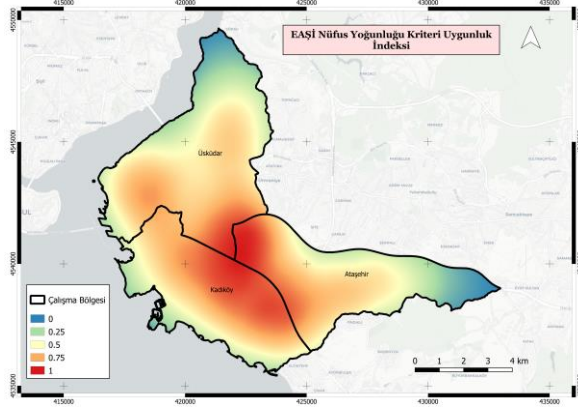
Tablo 2. BAHY ikili karşılaştırma matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1/2, 2/3, 1)
K2	(1/2, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	(1/2, 2/3, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)
K3	(1/2, 1, 3/2)	(1, 3/2, 2)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)	(2/3, 1, 2)
K4	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)
K5	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1/2, 2/3, 1)
K6	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 2/3, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)
K7	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(2/3, 1, 2)
K8	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)
K9	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 2)
K10	(1, 3/2, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 1, 3/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 1, 1)

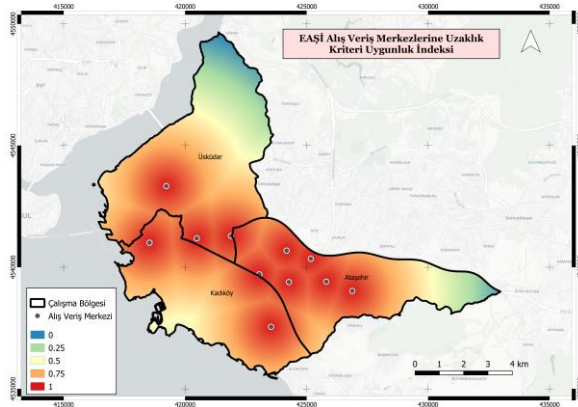
Bu durum hem çevreye olumlu etki yapmakta hem de trafiğin yoğunluğunun azaltılmasına fayda sağlamaktadır. Mevcut benzin istasyonları elektrikli araçların şarj istasyonları için uygun konumlara sahip olabilirler. Otoparklar yine benzer şekilde elektrikli araçların şarj edilmeleri için uygun konumlar olabilirler. Yeşil alanlara en az zararın verilmesi için uzak konumlar şarj istasyonları için uygun olarak değerlendirilmiştir.

Eğimi yüksek olan yerler şarj istasyonlarının yerleştirilmelerini zorlaştıracığından dolayı düşük eğime sahip konumlar uygun olarak değerlendirilmiştir. Yüksek arazi değerlerine sahip konumlar şarj istasyonlarının yerleştirilmeleri için maliyet oluşturacağından dolayı düşük arazi değerlerine sahip bölgeler uygun olarak kabul edilmiştir.

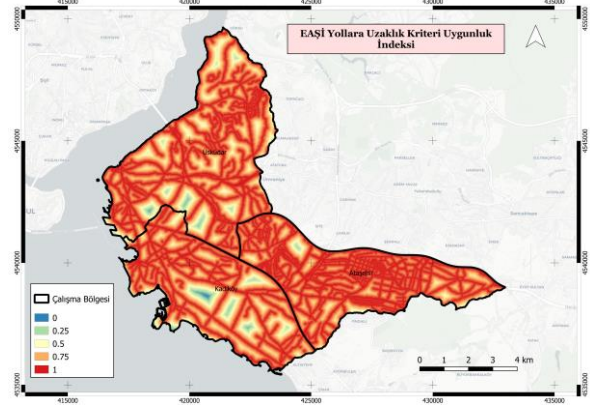
Öncelikle tüm kriterler için normalize edilmiş katmanlar elde edilmiştir (Şekil 7-16).



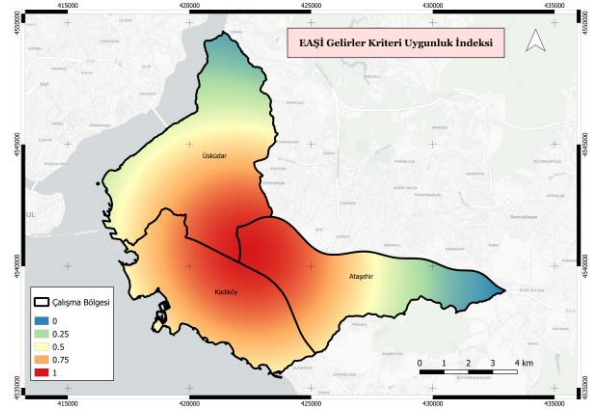
Şekil 7. Nüfus yoğunluğu uygunluk indeksi



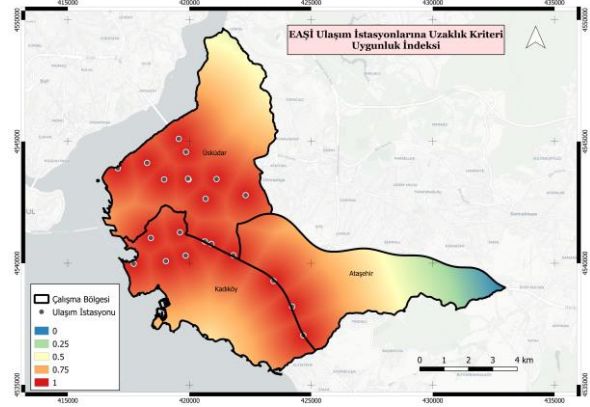
Şekil 8. Alışveriş merkezlerine uzaklık uygunluk indeksi



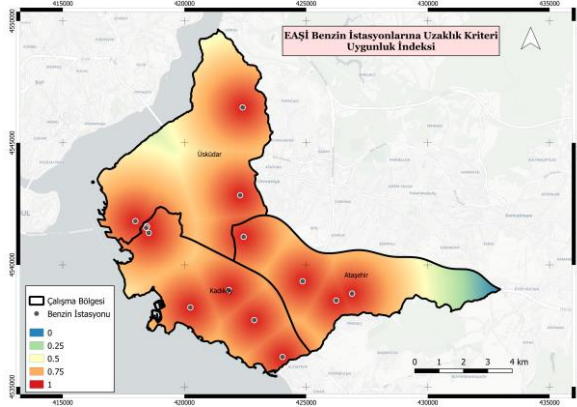
Şekil 9. Yollara uzaklık uygunluk indeksi



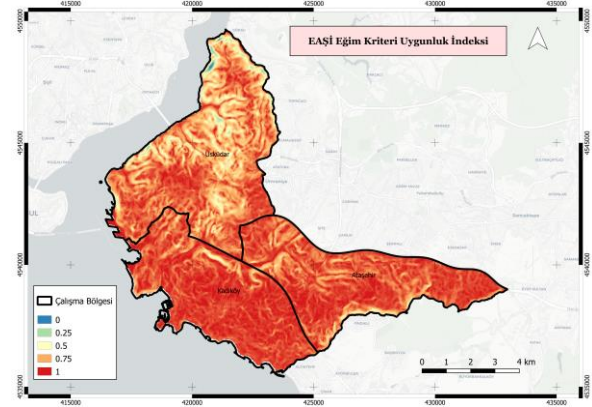
Şekil 10. Gelirler uygunluk indeksi



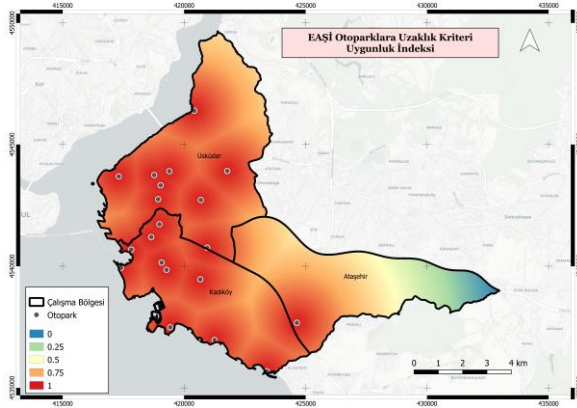
Şekil 11. Ulaşım istasyonlarına uzaklık uygunluk indeksi



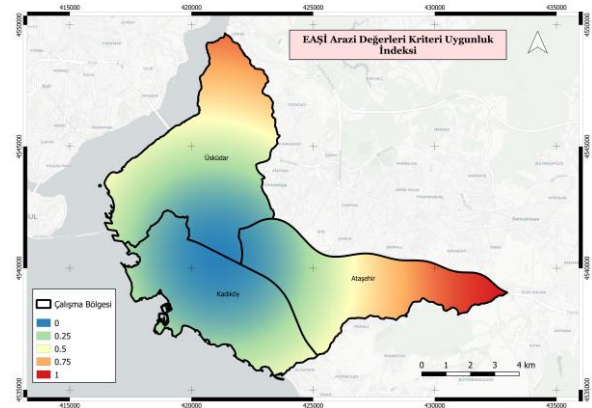
Şekil 12. Benzin istasyonlarına uzaklık uygunluk indeksi



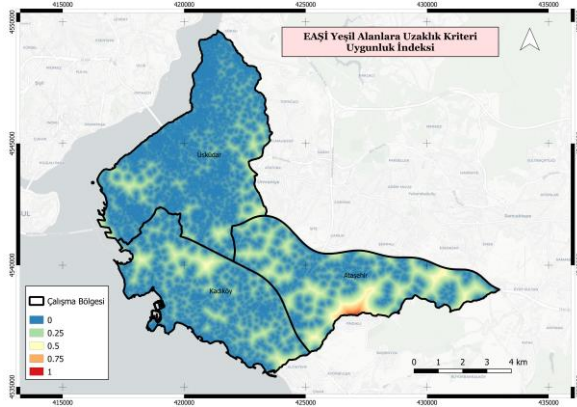
Şekil 15. Eğim uygunluk indeksi



Şekil 13. Otoparklara uzaklık uygunluk indeksi



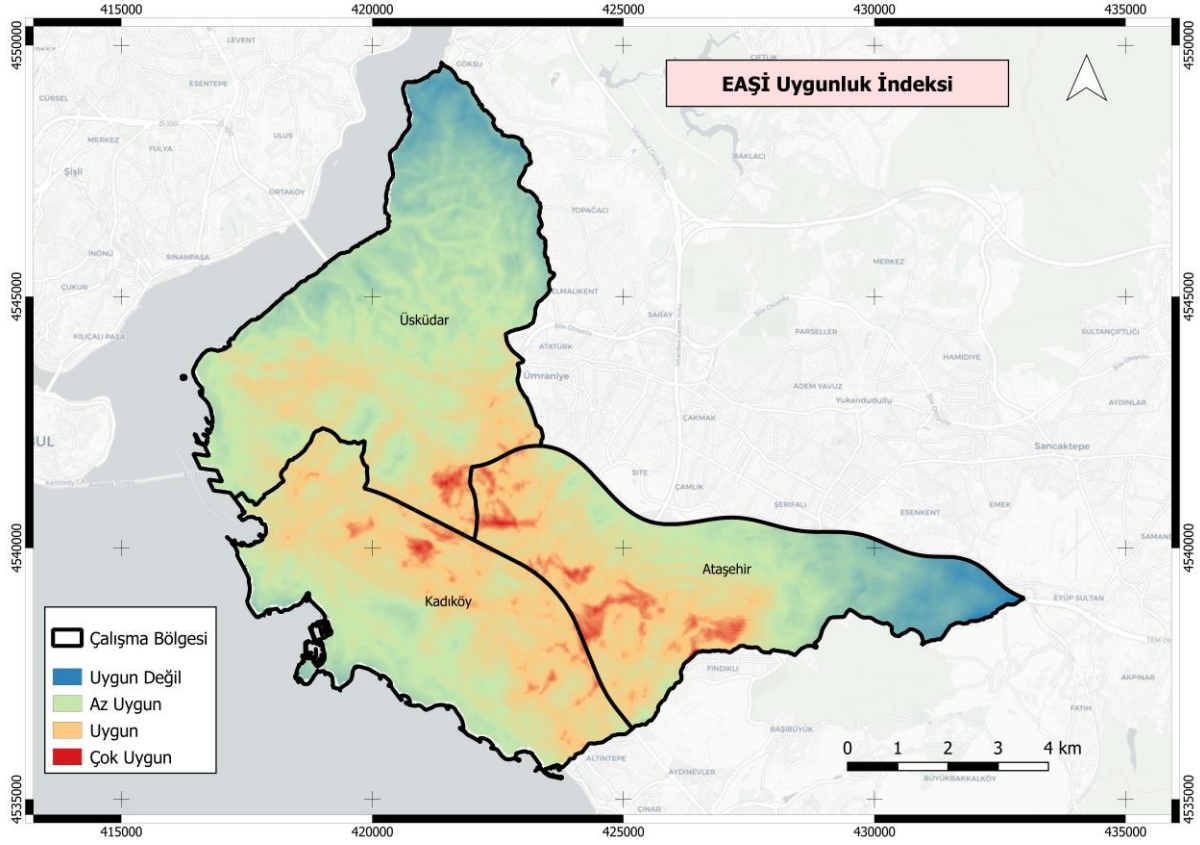
Şekil 16. Arazi değerleri uygunluk indeksi



Şekil 14. Yeşil alanlara uzaklık uygunluk indeksi

Ardından QGIS yazılımındaki *raster calculator* analiz aracı kullanılarak elektrik araç şarj istasyonu uygunluk indeksi elde edilmiştir (Şekil 17).

Katmanlar Tablo 2'de verilen kriter ağırlıklarıyla ilişkilendirilerek sonuç uygunluk indeksi bulunmuştur. Elde edilen katmandaki öznelik değerleri sınıflandırılarak dört farklı uygunluk sınıfı belirlenmiştir.



Şekil 17. Elektrikli araç şarj istasyonu uygunluk indeksi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı faktörlerin sonuca etki ettiği problemlerden biri olan elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimi için CBS destekli ÇKKV yöntemini içeren bir çözüm önerisi sunulmuştur. Mekânsal karar destek sistemleri (MKDS) ile hem konumsal analizlerin sağladığı verileri işleme özelliği kullanılmakta hem de kesin kararlar yerine daha objektif sonuçların elde edilmesi sağlanmaktadır. Teknolojiden her an yararlanılabilmesi sayesinde akıllı şehirlerin hayata geçirilmesi için daha somut adımlar atılmaktadır. Bu bağlamda verilecek konumsal içerikli kararlarda MKDS'nin kullanımı çözüme pozitif katkı yapabilmektedir. Kullanılan kaynakların sonlu olması ve ekonomik açıdan fayda sağlayacak yöntemlere olan ilgiden dolayı elektrikli araçların yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Daha fazla kullanıcı tarafından benimsenebilmesi için etkin şarj istasyonlarının uygun şekilde konumlandırılmaları gerekmektedir.

Kentlerin daha sürdürülebilir şekilde yönetilebilmeleri için tasarlanan arazi kullanım planları için kılavuz alınabilecek analiz sonuçları elde edilmiştir.

BAHY kullanılarak belirlenen ağırlıklarda çevreye önem daha fazla etkiye sahip olmuştur ve bu nedenle yeşil alanlara uzaklık kriteri en yüksek ağırlık değerine sahiptir. Diğer kriterlerin ağırlıkları ise birbirlerine göreceli olarak yakın değerlere sahiptir. Sonuç haritası incelendiğinde uygun olmayan alanların çalışma bölgesinin uç noktalarına yayıldığı görülmektedir. Bu durumun nedeni olarak bölgenin orta kısımlarında ulaşım istasyonları, alışveriş merkezleri, otoparklar ve benzin istasyonlarının yer alması gösterilebilir. Bir başka neden de bu bölümlerde eğimin yüksek değerde olmasıdır. Nüfus yoğunluğu da çalışma bölgesinin orta kısımlarında daha yüksek değerdedir.

İlerleyen çalışmalarda belirlenen uygun alanlarda mevcut şarj istasyonlarının olup olmadığı ve etkin bir şekilde kullanılıp kullanılmadıkları sorgulanabilir. Bununla birlikte kriter ağırlıkları farklı paydaşlarla yapılacak anket sonuçlarından elde edilebilir. İnternet tabanlı ve üç boyutlu (3B) mekânsal verileri içeren MKDS ile daha pratik ve etkili tasarımlar üretilebilir (Mete, Guler ve Yomralioglu, 2018). Bu çalışmanın sonuçlarından faydalanılarak yeniden uygulanabilirliği yüksek konumsal analiz modelleri farklı çalışma alanlarında test edilebilir. Bununla

birlikte farklı amaçlara göre şarj istasyonlarının uygun konumlarının belirlenmesinde açık kaynak kodlu CBS yazılımları ve araçlarından faydalanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: MGA-2018-41095.

ORCID

Doğuş Güler  <https://orcid.org/0000-0002-3191-103X>

Tahsin Yomralıoğlu  <https://orcid.org/0000-0002-8532-747X>

KAYNAKLAR

- Anwarzai, M. A. ve Nagasaka, K. (2017). Utility-scale implementable potential of wind and solar energies for Afghanistan using GIS multi-criteria decision analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 150–160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.048>
- Cai, H., Jia, X., Chiu, A. S. F., Hu, X. ve Xu, M. (2014). Siting public electric vehicle charging stations in Beijing using big-data informed travel patterns of the taxi fleet. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33, 39–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.09.003>
- Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649–655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Chen, L., Huang, X., Chen, Z. ve Jin, L. (2016). Study of a new quick-charging strategy for electric vehicles in highway charging stations. *Energies*, 9(9), 744.
- Chen, T. D., Kockelman, K. M. ve Khan, M. (2013). Locating Electric Vehicle Charging Stations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2385(1), 28–36. <https://doi.org/10.3141/2385-04>
- Dağdeviren, M., Yüksel, I. ve Kurt, M. (2008). A fuzzy analytic network process (ANP) model to identify faulty behavior risk (FBR) in work system. *Safety Science*, 46(5), 771–783. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.02.002>
- Dile, Y. T., Daggupati, P., George, C., Srinivasan, R. ve Arnold, J. (2016). Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model. *Environmental Modelling & Software*, 85, 129–138. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2016.08.004>
- Ellingsen, L. A.-W., Singh, B. ve Strømman, A. H. (2016). The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. *Environmental Research Letters*, 11(5), 54010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/054010>
- Frade, I., Ribeiro, A., Gonçalves, G. ve Antunes, A. (2011). Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in a Neighborhood in Lisbon, Portugal. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2252, 91–98. <https://doi.org/10.3141/2252-12>
- Guler, D. ve Yomralioglu, T. (2018). GIS and Fuzzy AHP Based Area Selection for Electric Vehicle Charging Stations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4), 249–252. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-249-2018>
- Güler, D. ve Yomralıoğlu, T. (2017). Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in İstanbul. *Environmental Earth Sciences*, 76(20), 678. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7039-1>
- Güler, D. ve Yomralıoğlu, T. (2019). Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçiminde Açık Kaynak Kodlu CBS Yazılım Kullanımı. *10. TUFUAB Teknik Sempozyumu*, 1–5. Aksaray, Türkiye.
- Guo, Z., Zhang, D., Liu, H., He, Z. ve Shi, L. (2018). Green transportation scheduling with pickup time and transport mode selections using a novel multi-objective memetic optimization approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.003>
- He, Y., Kockelman, K. M. ve Perrine, K. A. (2019). Optimal locations of U.S. fast charging stations for long-distance trip completion by battery electric vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 214, 452–461. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.188>

- Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A. ve Le Traon, Y. (2016). A state-of-the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. *Expert Systems with Applications*, 65, 398–422. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2016.08.064>
- Li, Y., Zhan, C. ve Lukszo, Z. (2016). Business innovation and government regulation for the promotion of electric vehicle use: lessons from Shenzhen, China. *Journal of Cleaner Production*, 134, 371–383. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.10.013>
- Liu, L., Kong, F., Liu, X., Peng, Y. ve Wang, Q. (2015). A review on electric vehicles interacting with renewable energy in smart grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.036>
- Mete, M. O., Guler, D. ve Yomralioglu, T. (2018). Development of 3D Web GIS Application with Open Source Library. *Selcuk University Journal of Engineering, Science, and Technology*, 6(Special), 818–824. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2018.171>
- QGIS Development Team. (2019). *QGIS Geographic Information System*. <http://qgis.osgeo.org/>
- Saaty, T. L. (2005). Analytic Hierarchy Process. İçinde *Encyclopedia of Biostatistics*. <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>
- Saaty, T. L. ve Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (Second). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
- Shahraki, N., Cai, H., Turkay, M. ve Xu, M. (2015). Optimal locations of electric public charging stations using real world vehicle travel patterns. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 165–176. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2015.09.011>
- Simpson, L. (1996). Do Decision Makers Know What They Prefer?: MAVT and ELECTRE II. *Journal of the Operational Research Society*, 47(7), 919–929. <https://doi.org/10.1057/jors.1996.117>
- Steiniger, S. ve Bocher, E. (2009). An overview on current free and open source desktop GIS developments. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(10), 1345–1370. <https://doi.org/10.1080/13658810802634956>
- Sun, C.-C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7745–7754. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2010.04.066>
- TÜİK. (2019). Ulaştırma İstatistikleri. Erişim adresi: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051
- Vaidya, O. S. ve Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1–29. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2004.04.028>
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J. ve Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275–286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.041>
- Wu, Y., Yang, M., Zhang, H., Chen, K. ve Wang, Y. (2016). Optimal Site Selection of Electric Vehicle Charging Stations Based on a Cloud Model and the PROMETHEE Method. *Energies*, 9(3), 157. Tarihinde adresinden erişildi <http://www.mdpi.com/1996-1073/9/3/157>
- Yang, C.-C. ve Chen, B.-S. (2004). Key quality performance evaluation using fuzzy AHP. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 21(6), 543–550. <https://doi.org/10.1080/10170660409509433>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1971). Quantitative fuzzy semantics. *Information Sciences*, 3(2), 159–176. [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(71\)80004-X](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(71)80004-X)
- Zhao, H. ve Li, N. (2016). Optimal Siting of Charging Stations for Electric Vehicles Based on Fuzzy Delphi and Hybrid Multi-Criteria Decision Making Approaches from an Extended Sustainability Perspective. *Energies*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/en9040270>