

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU YER SEÇİMİNDE AÇIK KAYNAK KODLU CBS YAZILIM KULLANIMI

D. Güler^{a,*}, T. Yomralıoğlu^a

^a İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği, 34469, İstanbul, Türkiye - (gulerdo, tahsin)@itu.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (BAHY), Elektrikli Araç

ÖZET:

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 zararlarıdır. Bununla birlikte, kullanılan kaynakların sonlu olmasıyla ilişkili olarak ekonomik olarak da yakıtlı araçların verimliliği tartışılmaktadır. 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.

1. GİRİŞ

İstatistiklere göre ulaşım sektörü petrol tüketiminin yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Bununla birlikte greenhouse etkisini oluşturan en önemli etkenlerden biri olan karbondioksit emisyonunun ise çeyreğinden fazlasını üretmektedir (Guo vd., 2018). Elektrikli araçlar petrole olan bağımlılığı düşürmektedir ve ulaşım ile ilişkili ortaya çıkan zararlı emisyonlarının miktarını azaltmaktadır. Bu nedenlerle sürdürülebilir ulaşım sisteminin efektif bir bileşeni olmaktadır ve gün geçtikçe popülerliğini arttırmaktadırlar (Liu vd., 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 vd., 2014; Ellingsen vd., 2016). Bu durumla birlikte elektrikli araçların yaygınlaştırılması için çalışmalar hız kazanmıştır. Elektrikli araçların kullanımının artmasındaki engellerden biri şarj istasyonlarının yeterli sayıda olmamasıdır (Li vd., 2016).

Literatürde birçok araştırmacı elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun konumlarının bulunması için çalışmalar yürütmüştür. (Frade vd., 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 vd., 2013) park için oluşan talebi referans olarak elektrikli araç şarj istasyonlarına olan talebi modellemişlerdir. Yürüme mesafelerinin minimize ederek veya ulaşım masraflarını kısarak sabit şarj istasyonlarının konumlarını

belirlemişlerdir. (Shahraki vd., 2015) varılmak istenen konumlarla şarj istasyonları arasındaki mesafeleri minimize etmek için büyük ölçekli araç güzergâh verilerini kullanmışlardır. Çalışmada, şarj talebini ev halkına ait demografik değişkenler ve makroekonomik değişkenler olarak tahmin etmişlerdir. (He vd., 2019) uzak mesafe otoyol yolculuğunda elektrikli araçların şarj ihtiyacının karşılanması için konum modellemesini formüle etmişlerdir. Tüm A.B.D. otoyolları kullanılarak daha öncekileri araştırmalardan daha kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre elektrikli araç şarj istasyonları yapılması gereken konumlar önerilmiştir.

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 Yomralıoğlu, 2017; Villacreses vd., 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 vd., 2016).

* Sorumlu Yazar

Bu çalışmada, karmaşık bir problem olan elektrikli şarj istasyonu yer seçimi için konumsal verilerin analiz edilerek anlamlı çıktılar üretilmesini sağlayan açık kaynak kodlu CBS ile bulanık analitik hiyerarşi yöntemi (BAHY) kullanılarak bir çözüm önerisi sunulmuştur. Bildirinin kalan bölümünde çalışmadaki yöntemden bahsedilecektir. Ardından gerçekleştirilen analiz sonuçları aktarılacaktır.

2. YÖNTEM

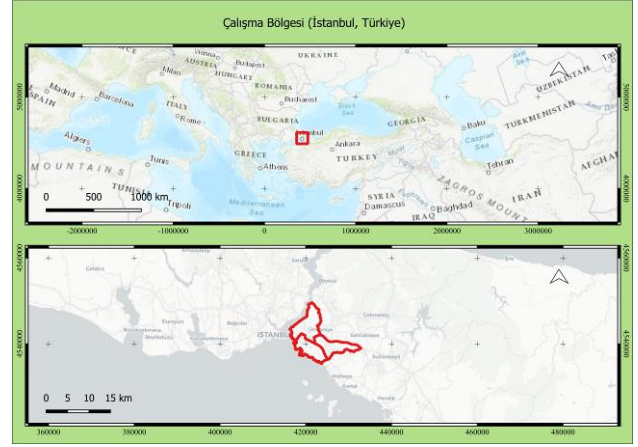
ÇKKV yöntemleri çelişkili, birden fazla ve kıyaslanamaz kistas veya amaç içeren gerçek dünya problemlerini çözmek için sıklıkla kullanılmaktadırlar (Kubler vd., 2016). İnsan yargısı ve karar vermesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar insan beyninin aynı anda sadece sınırlı sayıda bilgiyi işleyebildiğini göstermiştir. Bu durum karmaşık problemlerle karşılaşıldığında güven vermeyen kararlar verilebileceğini vurgulamaktadır (Simpson, 1996). Bu gibi karmaşık problemlerle başa çıkabilmek için analitik hiyerarşi yöntemi (AHY) 1980'li yıllarda önerilmiştir (Saaty, 2005). 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 tanımasıdır (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 tanımaktadırlar (Kubler vd., 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 arka planından almaktadır. Yöntem, matematiksel olarak insan muhakemesiyle daha iyi başa çıkabilmek ve onu formüle edebilmek için önerilmiştir (Zadeh, 1971).

Saf AHY karar verme aşmasında genellikle neredeyse kesin bilgileri kullanmaktadır. Bu durumun sonucunda yargıların ölçeklendirilmesinde bazı dengesizliklerle karşılaşılabilir. Yöntem, insan yargısının numerik 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 teorisine AHY'ni bütünleştirerek BAHY'ni üretmişlerdir (Sun, 2010; Yang ve Chen, 2004).

Literatürde önerilen birçok BAHY bulunmaktadır. Bu çalışmada araştırmalarda sıklıkla kullanılan ve (Chang, 1996) tarafından önerilen genişletilmiş analiz yöntemi (extent analysis method) kullanılmıştır. Yöntemin detaylı işlem adımları için referansa bakılabilir (Gumus, 2009).

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. Bölge toplam 85 km² alana sahiptir. Çalışma bölgesi Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma bölgesi

Konumsal analizler için literatürde en sık kullanılan açık kaynak kodlu CBS yazılımlarından olan QGIS 3.4 versiyonu kullanılmıştır. Bununla birlikte yazılım içerisinde kullanılabilecek olan ve zengin analiz yeteneklerine sahip SAGA GIS yazılımı ile GDAL kütüphanelerinden faydalanılmıştır.

Elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimini gerçekleştirilebilmek için literatür araştırması sonucunda farklı kriterler belirlenmiştir (Chen vd., 2016; Wu vd., 2016; Zhao ve Li, 2016). Tespit edilen kriterler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Kriterler
Nüfus Yoğunluğu
Alış Veriş Merkezlerine Uzaklık
Yollara Uzaklık
Gelirler
Ulaşım İstasyonlarına Uzaklık
Beniz İstasyonlarına Uzaklık
Otoparklara Uzaklık
Yeşil Alanlara Uzaklık
Eğim
Arazi Değerleri

Tablo 1. Kriterler

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. Karşılaştırma matrisi, yöntem bölümünde söylendiği üzere literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak oluşturulmuştur. Kriterlerin sahip oldukları ağırlıklar Tablo 2'de yer almaktadırlar.

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.

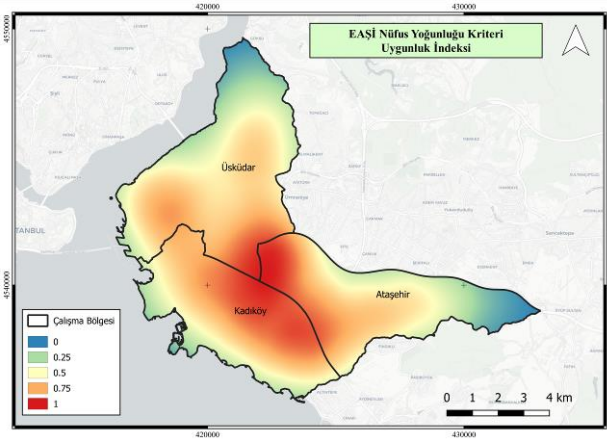
Kriter	Ağırlık
Nüfus Yoğunluğu	0.0951
Alış Veriş Merkezlerine Uzaklık	0.0887
Yollara Uzaklık	0.0929
Gelirler	0.0983
Ulaşım İstasyonlarına Uzaklık	0.0970
Beniz İstasyonlarına Uzaklık	0.0862
Otoparklara Uzaklık	0.0964
Yeşil Alanlara Uzaklık	0.1590
Eğim	0.0921
Arazi Değerleri	0.0943

Tablo 2. Kriter ağırlıkları

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

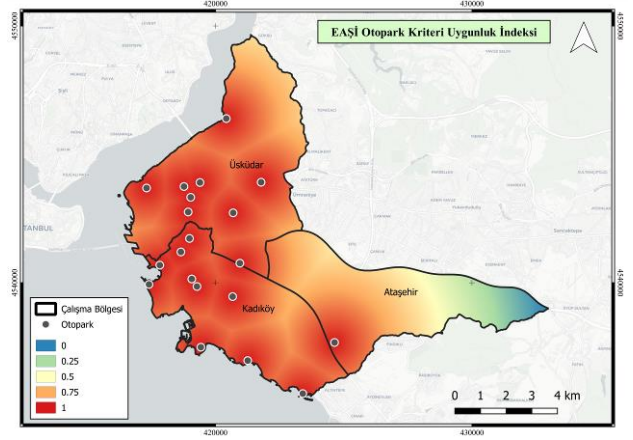
CBS’de çok sayıda katman analiz edildiğinde işlem tekrarları oluşmaktadır. Bu durumu önlemek ve hataların önüne geçebilmek için CBS’de otomasyonu sağlamaya yarayan model oluşturma özelliği bulunmaktadır. QGIS yazılımında yer alan bu özellik sayesinde bu çalışmadaki vektör verilerin kriterlerin özelliğine 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. Nüfus yoğunluğu, otoparklara uzaklık, eğim ve ulaşım istasyonlarına uzaklık kriterlerine ait uygunluk indeksleri sırasıyla Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’de yer almaktadırlar.

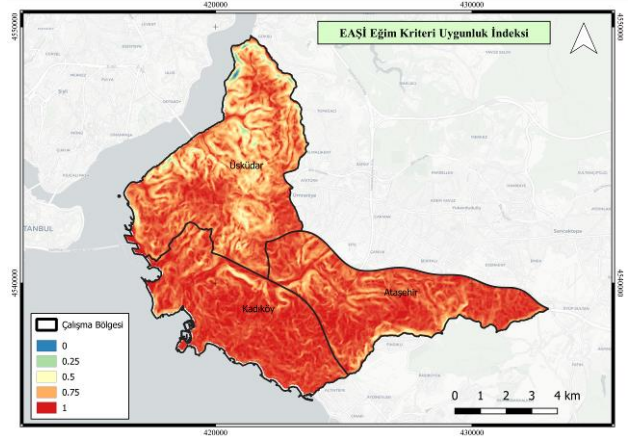


Şekil 2. Nüfus yoğunluğu uygunluk indeksi

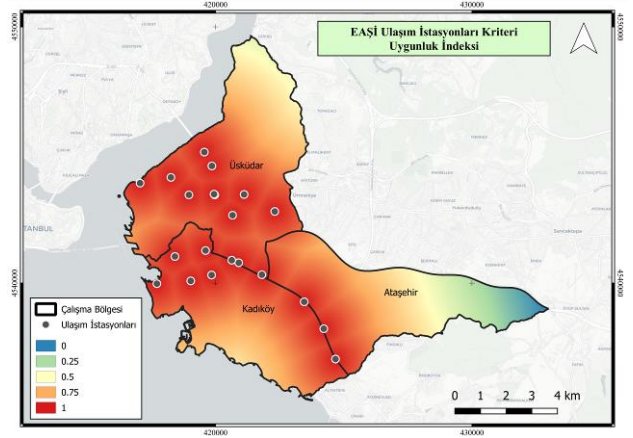
Tüm kriterler için normalize edilmiş katmanlar elde edildiğinde QGIS yazılımındaki “raster calculator” analiz aracı kullanılarak elektrik araç şarj istasyonu uygunluk indeksi elde edilmiştir (Şekil 6). Katmanlar Tablo 2’de verilen kriter ağırlıklarıyla ilişkilendirilerek sonuç uygunluk indeksi bulunmuştur. Elde edilen katmandaki öznetelik değerleri sınıflandırılarak dört farklı uygunluk sınıfı belirlenmiştir.



Şekil 3. Otoparklara uzaklık uygunluk indeksi



Şekil 4. Eğim uygunluk indeksi

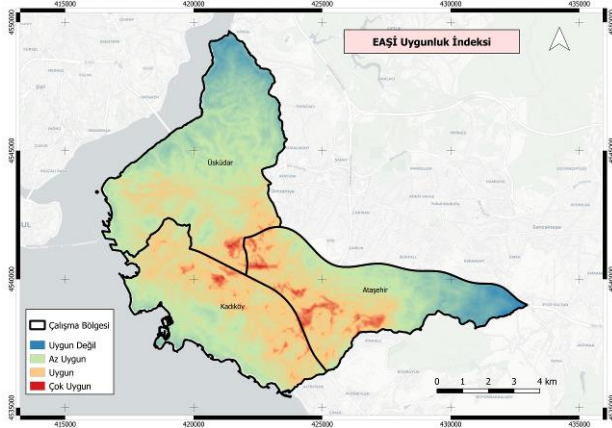


Şekil 5. Ulaşım istasyonlarına uzaklık uygunluk indeksi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı faktörlerin sonuca etki ettiği problemlerden biri olan elektrikli araç şarj istasyonu uygun yer seçimi için CBS destekli ÇKKV yöntemiyle bir çözüm önerisi sunulmuştur. 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 efektif şarj istasyonlarının konumlandırılmaları gerekmektedir. Kentlerin daha sürdürülebilir şekilde yönetilebilmeleri için tasarlanan arazi kullanım planları için kılavuz alınabilecek analiz sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 6. Elektrikli araç şarj istasyonu uygunluk indeksi

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 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 aldığı 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 efektif bir şekilde kullanılıp kullanılmadıkları sorgulanabilir. Bununla birlikte kriter ağırlıkları farklı paydaşlarla yapılacak anket sonuçlarından elde edilebilir.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

Anwarzai, M.A., Nagasaka, K., 2017. Utility-scale implementable potential of wind and solar energies for Afghanistan using GIS multi-criteria decision analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 71, 150–160.

Cai, H., Jia, X., Chiu, A.S.F., Hu, X., Xu, M., 2014. Siting public electric vehicle charging stations in Beijing using big-data informed travel patterns of the taxi fleet. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 33, 39–46.

Chang, D.-Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur. J. Oper. Res.* 95, 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., Jin, L., 2016. Study of a new quick-charging strategy for electric vehicles in highway charging stations. *Energies* 9, 744.

Chen, T.D., Kockelman, K.M., Khan, M., 2013. Locating Electric Vehicle Charging Stations. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2385, 28–36. <https://doi.org/10.3141/2385-04>

Dile, Y.T., Daggupati, P., George, C., Srinivasan, R., Arnold, J., 2016. Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model. *Environ. Model. Softw.* 85, 129–138. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOF.2016.08.004>

Ellingsen, L.A.-W., Singh, B., Strømman, A.H., 2016. The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. *Environ. Res. Lett.* 11, 54010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/054010>

Frade, I., Ribeiro, A., Gonçalves, G., Antunes, A., 2011. Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in a Neighborhood in Lisbon, Portugal. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2252, 91–98. <https://doi.org/10.3141/2252-12>

Güler, D., Yomralıoğlu, T., 2017. Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environ. Earth Sci.* 76, 678. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7039-1>

Gumus, A.T., 2009. Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. *Expert Syst. Appl.* 36, 4067–4074. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2008.03.013>

Guo, Z., Zhang, D., Liu, H., He, Z., Shi, L., 2018. Green transportation scheduling with pickup time and transport mode selections using a novel multi-objective memetic optimization approach. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.003>

He, Y., Kockelman, K.M., Perrine, K.A., 2019. Optimal locations of U.S. fast charging stations for long-distance trip completion by battery electric vehicles. *J. Clean. Prod.* 214, 452–461. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.188>

Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., Le Traon, Y., 2016. A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. *Expert Syst. Appl.* 65, 398–422. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2016.08.064>

Li, Y., Zhan, C., Lukszo, Z., 2016. Business innovation and government regulation for the promotion of electric vehicle use: lessons from Shenzhen, China. *J. Clean. Prod.* 134, 371–383. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.10.013>

Liu, L., Kong, F., Liu, X., Peng, Y., Wang, Q., 2015. A review on electric vehicles interacting with renewable energy in smart grid. *Renew. Sustain. Energy Rev.*

Saaty, T.L., 2005. *Analytic Hierarchy Process, Encyclopedia of Biostatistics.* John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>

Saaty, T.L., Vargas, L.G., 2012. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, Second. ed.* International Series in Operations Research & Management

Science. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>

Shahraki, N., Cai, H., Turkay, M., Xu, M., 2015. Optimal locations of electric public charging stations using real world vehicle travel patterns. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 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. *J. Oper. Res. Soc.* 47, 919–929. <https://doi.org/10.1057/jors.1996.117>

Sun, C.-C., 2010. A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Syst. Appl.* 37, 7745–7754.

Vaidya, O.S., Kumar, S., 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *Eur. J. Oper. Res.* 169, 1–29. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2004.04.028>

Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., 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. *Renew. Energy* 109, 275–286.

Wu, Y., Yang, M., Zhang, H., Chen, K., Wang, Y., 2016. Optimal Site Selection of Electric Vehicle Charging Stations Based on a Cloud Model and the PROMETHEE Method. *Energies* 9, 157.

Yang, C.-C., Chen, B.-S., 2004. Key quality performance evaluation using fuzzy AHP. *J. Chinese Inst. Ind. Eng.* 21, 543–550. <https://doi.org/10.1080/10170660409509433>

Zadeh, L.A., 1971. Quantitative fuzzy semantics. *Inf. Sci. (Ny)*. 3, 159–176. [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(71\)80004-X](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(71)80004-X)

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Inf. Control* 8, 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Zhao, H., 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.