Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3): 1896-1908, 2021
Journal of the Institute of Science and Technology, 11(3): 1896-1908, 2021

ISSN: 2146-0574, eISSN: 2536-4618

Endüstri Mühendisliği / *Industrial Engineering* **DOI: 10.21597/jist.837195**

Araştırma Makalesi / *Research Article*

Geliş tarihi / Received: 08.12.2020 **Kabul tarihi / Accepted: 16.04.2021**

Atıf İçin: Can A, Şahin F, Çetinyokuş T, Çalışkan E, 2021. Deprem Kayıt İstasyonu Kurulum Yerinin Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile Belirlenmesi Küçükçekmece Örneği. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3): 1896-1908.

To Cite: Can A, Şahin F, Çetinyokuş T, Çalışkan E, 2021. Determining Installation Site of an Earthquake Monitoring Station Using the Multi-Criteria Decision Making Approach: Case of Küçükçekmece. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(3): 1896-1908.

Deprem Kayıt İstasyonu Kurulum Yerinin Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile Belirlenmesi Küçükçekmece Örneği

Ayşenur CAN[1], Fatma ŞAHİN[1], Tahsin ÇETİNYOKUŞ[1]*, Emre ÇALIŞKAN[1]

ÖZET: Deprem kayıt istasyonu kurulumu ile istasyonun bulunduğu yer ve çevresinin deprem etkinliği daha iyi takip edilebilmekte böylece, bölgesel ve ülke genelinde meydana gelecek depremlerin parametrelerinin belirlenmesine çok büyük katkı sağlanmaktadır. Deprem kayıt istasyonunun sayısının fazla olması durumu iyileştirirken diğer yandan bütçe, zaman, sürdürülebilirlik masrafları vb. kıt kaynakların olması istasyonların sayısını kısıtlamaktadır. Bu sebeple deprem kayıt istasyonu kurulur iken nereye konumlanacağı kararı önemli hale gelmektedir. Ek olarak yer seçimi kararı uzun vadeli planlamaya dâhil edilebilmesi açısından stratejiktir ve sonucu birçok kararı etkilemektedir. Deprem kayıt istasyonu yeri seçimi; zemin sınıfı, doğal ve çevresel gürültü tipi, gürültü düzeyi ve mesafesi, iletişim amaçlı kullanılan temel istasyonuna uzaklık, deprem kayıt istasyonuna ulaşılabilirlik, elektrik kaynaklarına olan uzaklık, yerin mülkiyeti, sinyal gönderimi için etkileyici bir nesnenin olup olmadığı gibi çok sayıda kriteri içeren ve bu kriterlerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir karar verme problemidir. Bu çalışmada seçilen kriterlere bağlı olarak konunun uzmanlarına anket uygulanmış ve elde edilen cevaplar temelinde uygulanan AHP(Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Belirlenen ağırlıklar kullanılarak MOOSRA(Basit Oran Analizi Bazında Çok Amaçlı Optimizasyon) yöntemi ile alternatiflerin sıralaması yapılmış ve karar vericilere sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem kayıt istasyonu, tesis yer seçimi, çok kriterli karar verme, AHP, MOOSRA.

Determining Installation Site of an Earthquake Monitoring Station Using the Multi-Criteria Decision Making Approach: Case of Küçükçekmece

ABSTRACT: With the installation of an earthquake station, the earthquake activity of the location and its surroundings can be better monitored, thus making a great contribution to the determination of the parameters of earthquakes that will occur regionally and throughout the country. While the high number of earthquake stations improves the situation, the availability of scarce resources e.g. budget, time, sustainability costs, etc. limits the number of stations. For this reason, when the earthquake station is established, the decision of where to locate becomes important. In addition, the location decision is strategic in that it can be included in long-term planning, and the result affects many decisions. Selection of earthquake station site location involves many criteria such as soil type/types, natural and environmental noise type, noise level and distance, distance to the base station used for communication purposes, accessibility to the earthquake station, distance to electricity sources, ownership of the place. It is a multi-criteria decision-making problem that requires these criteria to be evaluated together. Based on the criteria chosen in this study, a questionnaire was applied to the experts of the field, and the weights of the criteria were determined by using the AHP (Analytical Hierarchy Process) method. By using the obtained weights, the alternatives were listed by MOOSRA (Multi-objective Optimization on the Basis of Simple Ratio Analysis) method and presented to decision makers.

Keywords: Earthquake monitoring station, facility location selection, multi criteria decision making, AHP, MOOSRA.

[1]Ayşenur CAN (**Orcid ID**: 0000-0003-3487-7516), Fatma ŞAHİN (**Orcid ID**: 0000-0002-8856-290X), Tahsin ÇETİNYOKUŞ (**Orcid ID**: 0000-0002-9963-5174), Emre ÇALIŞKAN (**Orcid ID**: 0000-0002-6262-7197),
Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Ankara, Türkiye.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tahsin ÇETİNYOKUŞ, e-mail: tahsinc@gazi.edu.tr

GİRİŞ

Deprem kayıt istasyonu kurulumu ile bulunduğu yer ve çevresinin deprem etkinliği daha iyi takip edilir. Aynı zamanda, bölgesi ve ülke genelinde meydana gelecek depremlerin parametrelerinin belirlenmesine çok büyük katkı sağlar (Yalçınkaya ve Teke, 2006). Türkiye ve yakın çevresindeki deprem etkinliğini 7/24 izlemek, deprem parametrelerini (zamanı, yeri, büyüklüğü, derinliği) doğru ve hızlı hesaplamak, kriz yönetim merkezini ve yetkilileri anında bilgilendirmek, hasar yapıcı bir deprem sonrası artçı deprem çalışmalarıyla bölgenin sismik hareketliliğini yakından takip etmek ve depremlerle ilgili bilgileri üniversiteler, kamu kurum ve kuruluşları ve araştırmacılar ile paylaşmak için Türkiye'nin farklı bölgelerine deprem kayıt istasyonları kurulur (Anonim, 2017).

Deprem kayıt istasyonlarının kuruluş yerinin seçilmesi konusu bahsedilen sebeplerle önem teşkil etmektedir. Deprem kayıt istasyonlarının kurulacağı yerlerin seçimi, zemin sınıfı, gürültü düzeyi, baz istasyonuna olan uzaklık, ulaşım, besleme kaynakları (elektrik, güneş, akü vb.), arazinin kime ait olduğu, sinyal gönderimi için engel olup olmadığı gibi çok sayıda kriteri içeren bir süreçtir. Tesis yeri seçimi basit anlamda işletmenin üzerinde kurulacağı ve yaşamı boyunca çalışmalarını sürdüreceği yer olarak tanımlanabilmektedir ve genel itibariyle birikimli ve stratejik bir karar verme sürecidir. Alanında tecrübeli ve bilgili personel tarafından belirlenen faktörler ve yapılan çalışmalar dâhilinde verilmesi gereken bir karardır. Yer seçim problemleri birbirleriyle çelişen çok sayıda kriter içerdiğinden ayrıca karmaşık bir karar verme problemidir. Karar verme durumunda yöneticiler en uygun yeri seçerken birçok kriteri göz önüne almakta ve alternatifleri bu kriterler doğrultusunda değerlendirmektedirler (Ömürberk ve ark., 2013). Deprem kayıt istasyonlarının kuruluş yerinin seçilmesi de genel anlamda bir yer seçim problemidir. Bu problemin, Farahani (2010) tarafından tanımlanan Çok Kriterli Yerleşim Seçimi (ÇKYS) problemlerinden Çok Nitelikli Yerleşim Seçimi (ÇNYS) problemi olduğu görülmüştür.

Tesis yeri seçimi problemleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; literatürde problemin yapısına göre ortaya konan faktörlerin, çoğunlukla belli matematiksel modeller ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri kullanılarak değerlendirildiği ve tesis için uygun yer seçiminin bu şekilde yapıldığı görülmüştür. ÇKKV yöntemlerinde alternatiflerin değerlendirilmesi kriter ağırlıklarına bağlı olduğu için kriter ağırlıklarının belirlenmesi dikkat edilmesi gereken bir süreçtir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi bazı ÇKKV yöntemlerinde doğrudan ilgili yöntem tarafından gerçekleştirilirken, bazılarında ise karar vericiler tarafından yapılmaktadır (Durmuş ve Tayyar, 2017). Kriter ağırlıklandırma yöntemleriyle ilgili birçok sınıflandırma yapılmıştır. Wang ve ark. (2009) ile Ahn (2011) çalışmalarında öznel, nesnel ve karma olmak üzere üç grup oluşturmuştur. Bu sınıflandırmada; kriter ağırlıklarının karar verici tarafından belirlendiği yöntemler öznel, matematiksel model veya formüller yardımıyla belirlendiği yöntemler nesnel, öznel ve nesnel yöntemleri birbirine entegre ederek kullanan yöntemler de karma kriter ağırlıklandırma yöntemleri olarak isimlendirilmiştir (Durmuş ve Tayyar, 2017). Yapılan literatür araştırmaları sonucunda yer seçim problemlerinde ÇKKV yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Kullanılan yöntem ve uygulama yöntemlerine göre son on yıl içerisinde literatürde yapılmış başlıca çalışmalar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Yer seçimi problem uygulamalarına göre ÇKKV yöntemi kullanan başlıca çalışmalar

Yazarlar	Yıl	Uygulama Alanı	Yöntem
Aragones ve ark.	2010	Kentsel katı atık tesis	ANP
Menou ve ark.	2010	Hava kargo ana dağıtım üssü	SMAA-O
Erden ve ark.	2010	Acil durum servisi	AHP
Önüt ve ark.	2010	Alışveriş merkezi	Bulanık AHP-TOPSIS

Çizelge 1. Yer seçimi problem uygulamalarına göre ÇKKV yöntemi kullanan başlıca çalışmalar (devamı)

Yazarlar	Yıl	Uygulama Alanı	Yöntem
Awasthi	2011	Kentsel dağıtım merkezi	Bulanık TOPSIS
Ka	2011	Kuru yük limanı yeri	Bulanık AHP-ELECTRE
Kuo	2011	Uluslararası dağıtım merkezi yeri	Bulanık DEMATEL-AHP-ANP
Özcan ve ark.	2011	Depo tesis yeri	AHP, TOPSIS, ELECTRE, Gri İlişki Analizi
Özdağoğlu	2011	Yemek firma merkezi	Bulanık ANP
Ashrafzadeh ve ark.	2012	Depo alanı	Bulanık AHP
Choudhary ve Shankar	2012	Termik santral	AHP
Khadivi ve Fatemi Ghomi	2012	Katı atık dönüşüm tesisi	ANP-VZA
Mokhtarian ve Hadi-Venchen	2012	Süt ürünleri fabrika yeri	AHP
Ömürberk ve ark.	2013	Bölgesel kuruluş	AHP
Ar ve ark.	2014	Otel alanı	AHP-VIKOR
Karabay ve ark.	2014	Kamu kurumu merkezi	SMAA-TRI
Keleş ve Tunca	2015	Teknokent yeri	ELECTRE
Zavadskas ve ark.	2015	Derin deniz limanı	AHP
Hosseini ve ark.	2016	Afet sonrası barınma merkezi	MIVES
Şahin	2017	Geçici afet barınma alanı	Bulanık TOPSIS-Bulanık VIKOR
Uslu ve ark.	2017	Okul yeri	AHP-TOPSIS
Wu ve ark.	2017	Hidroelektrik santrali depo yeri	VIKOR
Eroğlu	2018	Güneş santrali yeri	Bulanık AHP
Kabak ve ark.	2018	Bisiklet paylaşım istasyonu	AHP
Karasan ve ark.	2019	Şehir çöplüğü alanı	Bulanık AHP
Song ve ark.	2019	Sığınak yeri	QUALIFLEX
Teniwut ve ark.	2019	Zirai danışma merkezi	AHP
Kaya ve ark.	2020	Elektrikli araç şarj istasyonu	AHP-PROMETHEE-VIKOR
Nyimbili ve Erden	2020	İtfaiye istasyonu yeri	AHP

Türkiye'nin kuzey bölgesinde doğudan batıya doğru Kuzey Anadolu Fay Hattı olarak adlandırılan 1000 kilometreden uzun büyük bir fay hattı uzanır ve tarih boyunca bu fay hattı üzerinde pek çok kuvvetli deprem meydana gelmiştir. Sismologlar, bu kuvvetli deprem merkezlerinin Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde doğudan batıya doğru yaklaşmakta olduğu konusunda yoğunlaşmakta ve Kuzey Anadolu Fayının batı ucunda bulunan İstanbul'u büyük bir depremin sarsabileceği olasılığına dikkat çekmektedir. (Anonim, 2002). Bu çalışmada alanın ölçeklenmesi adına ve deprem kayıt istasyonu sayısının artırılması için de 1. Derece deprem bölgesinde bulunan İstanbul Küçükçekmece bölgesine kurulması planlanan deprem kayıt istasyonu yer seçimi problemi dikkate alınmıştır. Bu kapsamda kullanılan kriterlerin ağırlıklandırılması ve belirlenen ağırlıkları dikkate alarak ÇKKV yöntemi ile istasyon yeri seçimi yapılmıştır. ÇKYS problemleriyle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde yazarların bilgisi dahilinde deprem kayıt istasyonu seçimi ile ilgili bir çalışmayla karşılaşılmamıştır. Bu durum bu çalışmanın ana motivasyonunu oluşturmaktadır. Ayrıca literatürde genellikle az sayıdaki kriterin ağırlıklandırılmasında öznel ağırlıklandırma yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'nin tercih edildiği görülmüştür. Uygulamasının kolay olması ve karar verici yargılarındaki tutarlılık derecesini ölçebilmesi, tutarsızlığa düşülen durumlarda gerekirse düzeltme yapılabilmesi bu yöntemin başlıca tercih nedenleridir (Günaydın, 2016). Bu nedenlerle kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi kullanılmıştır. Deprem kayıt istasyonu yer seçimi için çalışma yapılacak bölge olan İstanbul ili

Küçükçekmece gölü etrafında 9 adet alternatif yer belirlenmiştir. Bu alternatiflerin ilgili kriterlere göre değerlendirilmesi ve nihai seçimin yapılmasında bir ÇKKV yöntemi olan MOOSRA (*Multi-objective Optimization on the Basis of Simple Ratio Analysis*) metodu kullanılmıştır. Literatürde görece yeni bir yöntem olması nedeniyle ele alınan probleme uygulanarak yöntemin literatürüne katkı sunulması, çalışmanın diğer bir motivasyonunu oluşturmuştur. Bir sonraki bölümde kullanılan yöntemler kısaca açıklanmış, üçüncü bölümde ele alınan alternatif istasyon yerleri dikkate alınarak uygulama gerçekleştirilmiş, elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve son bölümde çalışma sonuçları değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada deprem kayıt istasyonu yer seçiminde kullanılan kriterlerin ağırlıklandırılması ve sonrasında istasyon yeri seçimi yapılmıştır. AHP yöntemi ikili karşılaştırmalar yapması nedeniyle, kriter ve alternatif sayısının az olduğu uygulamalarda pratik olarak kullanılabilmektedir. AHP ile kriter ağırlıkları belirlendikten sonra MOOSRA yöntemiyle de alternatif bölgelerin sıralaması elde edilmiştir.

AHP Yöntemi

AHP, Saaty tarafından 1976 yılında geliştirilmiştir. AHP yönteminde ilk olarak ana ve alt kriterler belirlenir. Bir sonraki aşamada bir önceki kriter göz önüne alınarak hiyerarşi sırası oluşturulur. AHP yönteminde problem, yönetilebilir birkaç öğeden oluşan seviyelere ayrılmıştır (Baran, 2017). AHP hiyerarşisi oluşturulduktan sonra konu hakkında uzman, en azından orta derecede bilgili doğrudan ilişkili kişiler ile görüşülerek onların görüşleri alınır. Böylece elde edilen sonuçların tutarlı olması sağlanır. Yöntemin aşamaları aşağıdaki şekildedir.

Adım 1: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması. Ele alınan kriterler uzman kişilerce ikili karşılaştırmalar şeklinde değerlendirilir. Bu aşamada yargılar, sayısal değerlere dönüştürülür. Böylece her bir kriter temelinde ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulur (Baran, 2017). Çizelge 2'de sayısal değerlere dönüştürmede kullanılan Saaty 1-9 ölçeği gösterilmiştir (Arıbaş ve Özcan, 2016).

Çizelge 2. Kriter önem ölçeği

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit derecede önemli
3	Kısmen daha önemli
5	Kuvvetle daha önemli
7	Çok kuvvetle daha önemli
9	Aşırı derecede daha önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Önem derecesinde 2, 4, 6, 8 değerleri ara değerlerdir. Karar verici ikili karşılaştırma esnasında 3 ve 5 arasında kararsız kalırsa 4 değerini kullanabilir. İkili karşılaştırma AHP'nin en önemli adımıdır. Verilmiş olan bir hiyerarşide *n* adet kriter olduğu düşünülürse; karar vericinin farklı kriterlerin göreceli önemini yorumlamasını yansıtan ve Eşitlik 1. de A ile tanımlanan *nxn* ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisinde yer alan değerler ile Eşitlik 2. ve Eşitlik 3. te yer alan formüller kullanılarak ilgili matristeki her bir faktörün diğer faktörlere göre önemini gösteren göreli önem vektörü hesaplanır.

$$b_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \quad (2)$$

$$w_{i}=\frac{\sum_{j=1}^{n} b_{ij}}{n} \quad (3)$$

Buna göre oluşturulan göreli önem vektörü Eşitlik 4. te gösterilmektedir (Arıbaş ve Özcan, 2016).

$$W=\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ . \\ . \\ . \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 3: Oluşturulan tüm ikili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Hesaplanan bu oranın 0.10'den büyük olması karşılaştırmaları yapan kişinin yargılarında tutarsızlık olduğunu gösterir. Bu durumda karşılaştırmaların tekrar gözden geçirilmesi ve yargıların iyileştirilmesi gerekmektedir. CR değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle ikili karşılaştırma matrisinin en büyük öz vektör (λ_{max}) değeri hesaplanmalıdır (Eşitlik 6.).

$i = 1, 2, \ldots, n$ ve $j = 1, 2, \ldots, m$ olmak üzere,

$$[a_{ij}]_{n\times m} \times [w_{ij}]_{n\times 1}=[d_i]_{n\times 1} \quad (5)$$

$$\lambda_{max}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{d_i}{w_i}}{n} \quad (6)$$

Tutarlılık oranının hesaplanmasında, karşılaştırmada yer alan faktör sayısına (n) bağlı rassallık endeksi (RI) kullanılmaktadır. *N* değerlerine göre belirlenen RI değerleri literatürde verilmiştir. Elde edilen girdiler doğrultusunda CR değerinin hesaplanması Eşitlik 7. de gösterilmiştir (Arıbaş ve Özcan, 2016). Bu değer ile ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları değerlendirilir.

$$CR=\frac{\lambda-n}{(n-1)\times RI} \quad (7)$$

MOOSRA Yöntemi

MOOSRA, 2012 yılında Das ve ark. tarafından geliştirilmiş görece yeni bir yöntemdir (Das ve ark., 2012). Bir diğer ÇKKV yöntemi olan MOORA(*Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis*) yönteminden türetilmiştir. Yeni bir yöntem olmasına rağmen makine seçimi (Sarkar ve ark., 2015), kesici makine ekipmanı seçimi (Das ve ark., 2012) gibi farklı karar verme problemlerine uygulanmıştır. Diğer yöntemlerde olduğu gibi çelişen kriterler altında en uygun seçimin gerçekleştirilmesi için kabul edilebilir çözümlerin tanımlanması ele alınan problemin en önemli adımıdır (Bose ve ark., 2020). MOOSRA yöntemi arzu edilen bu adımı karşılayan ve alternatifleri çelişen kriterler altında önem sırasına koyan uygun yöntemlerden birisi olarak tanımlanmıştır. Yöntemin adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Eşitlik 8. de verilen şekilde alternatiflerin kriterler altında değerlendirildiği karar matrisi oluşturulur. Matriste x_{ij}, i. alternatifin j. kritere göre değerlendirmesini ifade etmektedir.

$$X=\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Adım 2: Normalize karar matrisinin elde edilmesi. Bu matrisi elde etmek için Eşitlik 9. da verilen formülden faydalanılır. x_{ij}^* normalize edilmiş alternatif değerleridir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{9}$$

Adım 3: Alternatiflerin genel performans skorlarının (y_i^*) hesaplanması. MOOSRA metodunda skorlar, maksimize edilmek istenen (fayda) kriterler için normalize edilmiş alternatif değerlerinin toplamının minimize edilmek istenen (kayıp) kriterler için normalize edilmiş alternatif değerleri toplamına basit oranı ile hesaplanır (Eşitlik 10.).

$$y_i^* = \frac{\sum_{j=1}^{g} w_j x_{ij}^*}{\sum_{j=g+1}^{m} w_j x_{ij}^*} \tag{10}$$

Burada w_j ile gösterilen AHP veya başka bir yöntemle bulunan kriter ağırlıklarını göstermektedir. g ve (m-g) sırasıyla fayda ve kayıp kriterlerinin sayısını göstermektedir. Elde edilen bu genel skorlara göre alternatifler sıralanarak tercih sırası oluşturulur. En yüksek skor değerine sahip olan alternatif en uygun alternatif olarak dikkate alınır (Aytaç ve Tuş Işık, 2017).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada İstanbul'da kurulacak deprem kayıt istasyonu yer seçim problemi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterlere karar verilmiştir. Ana kriterler T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Başkanlığı tarafından kullanılan kriterler arasından seçilmiştir. Kriterler arasındaki önem ilişkisi yapılan anketlerle incelenmiştir. Çalışmanın devamında ÇKKV yöntemlerinden AHP ve MOOSRA birlikte kullanılmıştır. AHP yöntemi ile değerlendirmede kullanılan kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları ise MOOSRA yönteminde girdi olarak kullanılarak kriterlerin önem derecelerine göre alternatiflerin sıralaması oluşturulmuştur.

Kriterlerin Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında ilk olarak kullanılacak kriterlere karar verilmiştir. Ana kriterler AFAD tarafından kullanılan kriterler arasından seçilmiştir.

Uygulamada dikkate alınan kriterler şu şekildedir:

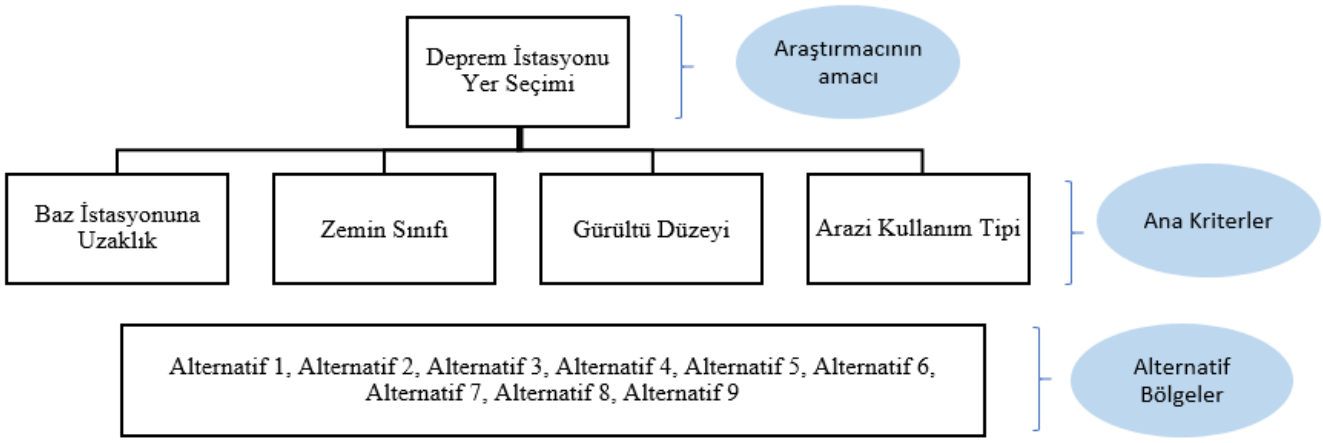
1. Alternatif yerin baz istasyonuna uzaklığı (*Uzaklık*): Alternatif yerin kurulu en yakın baz istasyonuna olan metre cinsinden mesafesini belirtmektedir. Deprem kayıt istasyon yerinin belirtilen baz istasyonuna yakın olması istenen bir özelliktir.
2. Alternatif yerin zemin özellikleri (*Zemin sınıfı*): Seçilen yerlerin deprem yönetmeliğine göre zemin sınıfını belirtmektedir. Dört adet zemin sınıfı (Z1, Z2, Z3 ve Z4) bulunmaktadır. Bu sınıflar zeminin kayaç, kum, sıkı kum, çakıl vb. malzemelerden oluşumuna ve tabaka kalınlıklarına göre oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında zemin sınıfı Z1 olan (tercih edilen) yerlere daha yüksek skor verilmiştir.
3. Alternatif yerin desibel cinsinden gürültü düzeyi (*Gürültü düzeyi*): Deprem kayıt istasyonu kurulacak yerin gürültü düzeyinin düşük olması arzu edilen bir özelliktir. Gürültü düzeyi, 55 dB'den küçük olan yerler daha çok tercih edilen yerlerken 70 dB'den daha yüksek gürültü düzeyine sahip yerler daha az tercih edilmektedir.
4. Alternatiflerin arazi kullanım tipi (*Kullanım tipi*): Alternatif yerin arazisinin yeşil alan, konut bölgesi, sahil vb. kullanım amacını dikkate almaktadır. Konut bölgesi olmayan ve çevreye daha

az zarar verme potansiyeli olan yerler tercih sebebidir. Çalışmada bu özelliği sağlayan yerlere daha yüksek değerleme puanı verilmiştir.

Ele alınan kriterler arasındaki önem ilişkisi uygulanan anketlerle incelenmiştir. Çalışmanın devamında değerlendirmede kullanılan kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır.

AHP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Araştırmada belirlenen kriterlerin kurumun kararına yönelik olmak üzere önceliklendirilmesi gerekmektedir. Bu maksatla, öncelikle kriterlerin kendi içerisinde ağırlıklandırılabilmesi için AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yönteminin uygulanmasında, kurumda alanında uzman karar vericilere anket yapılmıştır. Anket uygulaması sırasında AHP yönteminin içeriği ve Saaty ölçeği hakkında kısa bir bilgilendirme yapılmıştır. Uzmanlardan 4 adet kriterin Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanılarak ikili karşılaştırmasının yapılması istenmiştir. Problemin genel yapısını gösteren hiyerarşik model Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan bir ankete göre örnek ikili karşılaştırma (A) matrisi Çizelge 3'de yer almaktadır.



Şekil 1. Ele alınan problemin hiyerarşik modeli

Çizelge 3. Kriterler arası karşılaştırma matrisinin oluşturulması (*A matrisi)*

	Kriter Karşılaştırma Matrisi			
	Zemin sınıfı	**Kullanım Tipi**	**Uzaklık**	**Gürültü düzeyi**
Zemin sınıfı	1	4	7	5
Kullanım tipi	1/4	1	6	4
Uzaklık	1/7	1/6	1	1
Gürültü düzeyi	1/5	1/4	1	1

Normalize değerlerin (b_{ij}) hesaplanması Çizelge 4, ağırlık değerlerinin yer aldığı W matrisi Çizelge 5 ve sonrasında ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığını gösteren Çizelge 6 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4. Normalize karşılaştırma matrisinin oluşturulması (b_{ij} *hesaplaması)*

	Kriter Normalize Karşılaştırma Matrisi			
	Zemin sınıfı	**Kullanım Tipi**	**Uzaklık**	**Gürültü düzeyi**
Zemin sınıfı	0.63	0.74	0.47	0.45
Kullanım tipi	0.16	0.18	0.40	0.36
Uzaklık	0.09	0.03	0.07	0.09
Gürültü düzeyi	0.13	0.05	0.07	0.09

Çizelge 5. Kriterlerin ağırlık değerleri (*W matrisi)*

	Ağırlık Değeri
Zemin sınıfı	0.572
Kullanım tipi	0.276
Uzaklık	0.070
Gürültü düzeyi	0.082
Toplam	1.000

Çizelge 6. İkili karşılaştırma matrisi tutarlığının hesaplanması

	***D* vektörü (*AxW*)**	λ_{max}	**CI**	**CR**
Zemin sınıfı	2.575	4.2042	0.0681	0.0756 (<0.10)
Kullanım tipi	1.166			
Uzaklık	0.280			
Gürültü düzeyi	0.335			

Anketlerden elde edilen veriler AHP yönteminde girdi olarak kullanılarak her bir anketten elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri için kriter ağırlıkları ve ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları hesaplanmıştır. 4 adet kritere bağlı olarak konusunda uzman karar vericilere anket uygulanmış ve AHP yöntemi ile anketlerden alınan cevapların tutarlılıkları test edilmiştir. Bir anketin tutarlılık oranı (CR) 0.10'dan büyük olduğu için yapılan bu anket değerlendirmeye alınmamıştır Karar vericilerin anketlere vermiş oldukları cevaplardan ortak bir yapıya gidebilmek için diğer anketlerin geometrik ortalaması alınarak tek bir ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Çizelge 7'de geometrik ortalama ile elde edilen bu matris ve Çizelge 8' de ise ilgili matrise göre belirlenen nihai kriter ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 7. Geometrik ortalama ile bütünleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi

	Kriter Karşılaştırma Matrisi			
	Zemin sınıfı	**Kullanım Tipi**	**Uzaklık**	**Gürültü düzeyi**
Zemin sınıfı	1	3.464	6.481	5.916
Kullanım tipi	0.289	1	4.899	4.472
Uzaklık	0.154	0.204	1	1.414
Gürültü düzeyi	0.169	0.224	0.707	1

Çizelge 8. Nihai kriter ağırlık değerleri

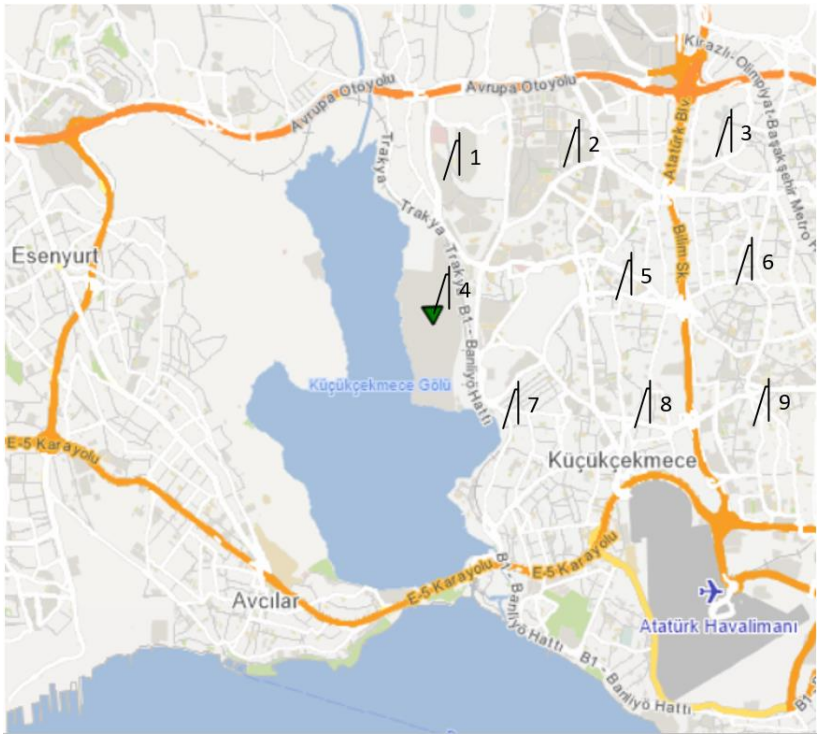
	Ağırlık Değeri
Zemin sınıfı	0.571
Kullanım tipi	0.277
Uzaklık	0.081
Gürültü düzeyi	0.071
Toplam	1.000

Ortak grup kararının AHP ile test edilmesi sonrasında 4 adet kriterin ağırlıkları belirlenmiştir. Çalışmanın uygulamasına yönelik tamamlanan ilk safhada anket sonuçları ile elde edilen ağırlıklara göre;

- Zemin sınıfı kriterinin 0.571 önem katsayısı ile karar almada birinci önceliğe sahip olduğu,
- Arazi kullanım tipi kriterinin 0.277 önem katsayısı ile karar almada ikinci önceliğe sahip olduğu,
- Baz istasyonuna uzaklık kriterinin 0.081 önem katsayısı ile karar almada üçüncü önceliğe sahip olduğu,
- Gürültü düzeyi kriterinin 0.071önem katsayısı ile karar almada dördüncü önceliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

MOOSRA Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması ve Yer Seçimi

Çalışma kapsamında İstanbul ili Küçükçekmece bölgesinde 9 adet alternatif kurulum yeri belirlenmiştir. Alternatiflerin yerleri Şekil 2'de verilen bölge haritasında gösterilmiştir. Şekil 2'de gösterilen haritada yeşil ters üçgen şeklinde verilen yer, Küçükçekmece'de hâlihazırda AFAD tarafından belirlenmiş ancak pasif durumda bulunan *kuvvetli* deprem kayıt istasyonu yerini belirtmektedir (Anonim, 2020). Çalışma kapsamında söz konusu yer, 4. alternatif yer olarak değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca söz konusu bölgede AFAD tarafından kullanılan bir diğer istasyon tipi olan *zayıf* deprem kayıt istasyonu da bulunmamaktadır. Alternatif kurulum yerlerine ait, kriterler bazında özellikler Çizelge 9' da verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma kapsamında belirlenen alternatif istasyon kurulum yerleri haritası

Çizelge 9. Alternatif yerlerin özellikleri

Alternatif yerler	Zemin sınıfı	Kullanım Tipi	Uzaklık (m)	Gürültü düzeyi (dB)
#1	Z1	Yeşil alan	249	55-59
#2	Z3	Konut bölgesi	46	70-74
#3	Z3	Mezarlık	161	70-74
#4	Z2	Kışla	548	55 dB'den küçük
#5	Z3	Konut bölgesi	213	65-69
#6	Z2	Konut bölgesi	8	70-74
#7	Z3	Sahil	194	60-64
#8	Z3	Konut bölgesi	22	70-74
#9	Z3	Konut bölgesi	124	55-59

Alternatif yerlere ait özelliklerin tamamı sayısal verilerle ifade edilemediği için nitel verileri nicel verilere dönüştürebilmek amacıyla karar vericilere ayrı bir anket uygulanmıştır. Uygulanan anketler ile karar vericilerin alternatifleri kriter bazında değerlendirmesi sonucunda karar matrisi (Çizelge 10) oluşturulmuştur.

Çizelge 10. Karar matrisi

Alternatif yerler	Zemin sınıfı	Kullanım Tipi	Uzaklık (m)	Gürültü düzeyi (dB)
#1	9	7	249	3
#2	5	1	46	9
#3	5	9	161	9
#4	7	5	548	1
#5	5	1	213	7
#6	7	1	8	9
#7	5	3	194	5
#8	5	1	22	9
#9	5	1	124	3
Kriter ağırlıkları	0,571	0,277	0,081	0,071

Karar matrisinde yer alan başlangıç değerleri Eşitlik 9. da verilen vektörel uzaklık temelli normalizasyon formülü kullanılarak standart hale getirilir. Karar matrisindeki tüm başlangıç değerlerinin normalize edilmesi sonucu elde edilen standart karar matrisi Çizelge 11'de gösterilmiştir.

Çizelge 11. Normalize karar matrisi

Alternatif yerler	Zemin sınıfı	Kullanım Tipi	Uzaklık (m)	Gürültü düzeyi (dB)
#1	0.02736	0.04142	0.00051	0.00719
#2	0.01520	0.00592	0.00009	0.02158
#3	0.01520	0.05325	0.00033	0.02158
#4	0.02128	0.02959	0.00112	0.00240
#5	0.01520	0.00592	0.00044	0.01679
#6	0.02128	0.00592	0.00002	0.02158
#7	0.01520	0.01775	0.00040	0.01199
#8	0.01520	0.00592	0.00004	0.02158
#9	0.01520	0.00592	0.00025	0.00719
Kriter ağırlıkları	0.571	0.277	0.081	0.071

Sonraki adımda normalize edilmiş karar matrisinde bulunan her bir değer, AHP ile hesaplanmış kriter ağırlık değerleri (w_j) ile birlikte kullanılarak Eşitlik 10. yardımıyla alternatif yerlerin performans skorları hesaplanmıştır. Bu aşamada ele alınan kriterlerin hangisinin fayda hangisinin kayıp kriteri olduğunun ayırt edilerek gruplanması gereklidir. Kriterlerin tanımlarından hareketle çalışma kapsamında ele alınan Zemin sınıfı ve Kullanım tipi kriterleri fayda, Uzaklık ve Gürültü düzeyi ise kayıp kriterleri olarak dikkate alınmıştır. MOOSRA sonucu elde edilen alternatiflere ait performans skorları Çizelge 12'de verilmiştir.

Çizelge 12. Alternatif yerlerin genel performans skorları

Alternatif yerler	Skor değeri	Sıralama sonucu
#1	49.081	2
#2	6.699	9
#3	15.028	5
#4	77.951	1
#5	8.407	7
#6	8.990	6
#7	15.389	4
#8	6.717	8
#9	19.417	3

Genel performans skorları değerlendirildiğinde AFAD tarafından Deprem kayıt istasyonu olarak belirlenen ancak pasif durumda olan 4 numaralı alternatif yerin yöntemsel hesaplama sonucunda da en fazla tercih edilen kurulum yeri olduğu gösterilmiştir. Eğer başka bir alternatif yerin seçimi söz konusu olursa, bir sonraki alternatif olan 1 numaralı yer deprem kayıt istasyonu kurulum yeri olarak belirlenebilir. Bu şekilde, MOOSRA yöntemi ile dikkate alınan alternatifler için bir tercih sıralaması elde edilmiştir.

SONUÇ

Deprem kayıt istasyonlarının kuruluş yerinin seçilmesi de genel anlamda bir yer seçim problemidir. Deprem kayıt istasyonlarının kurulacağı yerlerin sağlam zemin üzerinde olması, kurulacağı çevrenin gürültü seviyesinin düşük olması, baz istasyonuna yakın olması, istasyonun kurulacağı arazinin kullanım tipi gibi bazı kriterleri sağlaması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bu tür problemlerin belli matematiksel modellerle ve/veya ÇKKV teknikleri kullanılarak değerlendirildiği ve tesis için uygun yer seçiminin bu şekilde yapıldığı görülmüştür. Çalışmada deprem kayıt istasyonunun kurulabileceği alternatif yer seçimi analizi İstanbul ili için gerçekleştirilmiştir. İstanbul'daki mevcut Deprem kayıt istasyonları incelenmiş ve alternatif yer seçimi yapılacak bölge belirlenmiştir. Alternatif yerler İstanbul ili haritası üzerinden belirlenmiştir. Küçükçekmece gölü etrafında 9 adet alternatif yer belirlenmiştir. Deprem kayıt istasyonu yer seçimi için kullanılan kriterler AFAD tarafından belirlenen kriterler arasından seçilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi, alternatif yerlerin sıralamasında MOOSRA yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntem adımlarının uygulanması sonucunda dikkate alınan alternatif yerler için 4, 1, 9, 7, 3, 6, 5, 8 ve 2 şeklinde bir tercih sıralaması elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında anket çalışmaları yoluyla yeterli bilgiye ulaşılmasında katkıları bulunan, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı uzmanlarından Jeofizik Yük. Müh. Ömer KILIÇARSLAN'a teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

Ahn BS, 2011. Compatible Weighting Method with Rank Order Centroid: Maximum Entropy Ordered Weighted Averaging Approach. European Journal of Operational Research, 212 (3): 552-559.

Anonim, 2002. İstanbul Büyükşehir Belediyesi(İBB), Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı(JICA), Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dâhil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması, http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/DepremSite/PublishingImages/JICA-TUR.pdf. (Erişim Tarihi: 24.11.2017)

Anonim, 2017. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Bilgilendirme ve Strateji Çalışma Grubu, https://deprem.afad.gov.tr/icerik?id=6&menuId=102 (Erişim Tarihi: 24.11.2017)

Anonim, 2020. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Kayıt İstasyonları Haritası, https://deprem.afad.gov.tr/istasyonlar# (Erişim Tarihi: 30.11.2020).

Ar İM, Baki BN, Özdemir F, 2014. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık AHS-VIKOR Yaklaşımının Kullanımı: Otel Sektöründe Bir Uygulama. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 7 (13): 93-114.

Aragones-Beltran P, Pastor-Ferrando JP, Garcia-Garcia F, Pascual-Agulló A, 2010. An Analytic Network Process Approach for Siting a Municipal Solid Waste Plant in The Metropolitan Area of Valencia (Spain). Journal of Environmental Management, 91 (5): 1071-1086.

Arıbaş M, Özcan U, 2016. Akademik Araştırma Projelerinin AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi. Politeknik Dergisi, 19 (2): 163-173.

Ashrafzadeh M, Rafiel FM, Zare Z, 2012. The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach for the Selection of Warehouse Location: A Case Study. International Journal of Business and Social Science, 3 (4): 112-125.

Awasthi A, Chauhan SS, Goyal SK, 2011. A Multi-criteria Decision Making Approach for Location Planning for Urban Distribution Centers Under Uncertainty. Mathematical and Computer Modelling, 53 (1): 98–109.

Aytaç Adalı E, Tuş Işık A, 2017. The Multi-objective Decision Making Method Based on MULTIMOORA and MOOSRA for The Laptop Selection Problem. Journal of Industrial Engineering International, 13 (2): 229-237.

Baran T, 2017. AHP ve 0 -1 Hedef Programlama ile Depo Konumlarının Belirlenmesi ve Bir Uygulama, Galatasaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Bose S, Mandal N, Nandi T, 2020. Selection and Experimentation of the Best Hybrid Green Composite Using Advanced MCDM Methods for Clean Sustainable Energy Recovery: A Novel Approach. International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences, 5 (3): 556-566.

Choudhary D, Shankar R, 2012. An STEEP-Fuzzy AHP-TOPSIS Framework for Evaluation and Selection of Thermal Power Plant Location: A Case Study from India. Energy, 42 (1): 510-521.

Das MC, Sarkar B, Ray S, 2012. Decision Making Under Conflicting Environment: A New MCDM Method. International Journal of Applied Decision Sciences, 5 (2): 142-162.

Durmuş M, Tayyar N, 2017. AHP ve TOPSIS ile Farklı Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Kullanılması ve Karar Verici Görüşleriyle Karşılaştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 12(3): 65-80.

Erden T, Coşkun MZ, 2010. Acil durum servislerinin yer seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve CBS entegrasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/Mühendislik, 9 (6): 37-50.

Eroğlu H, 2018. Güneş Enerji Santralleri için Uygunluk Haritasının Elde Edilmesi: Bir Uygulama. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8 (4): 97-106.

Farahani RZ, Steadieseifi, M, Asgari, N, 2010. Multiple Criteria Facility Location Problems; A Survey. Applied Mathematical Modelling, 34 (7): 1689-1709.

Günaydın N, 2016. Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bir Uygulama, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Hosseini SMA, De La Fuente A, Pons O, 2016. Multi-criteria Decision-making Method for Sustainable Site Location of Post-disaster Temporary Housing in Urban Areas. Journal of Construction Engineering and Management, 142 (9): 04016036.

Ka B, 2011. Application of Fuzzy AHP and ELECTRE to China Dry Port Location Selection. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 27 (2): 331-353.

Kabak M, Erbaş M, Çetinkaya C, Özceylan E, 2018. A GIS-based MCDM approach for the evaluation of bike-share stations. Journal of Cleaner Production, 201: 49-60.

Karabay S, Köse E, Kabak M, 2014. Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi ile Bir Kamu Kurumu için Tesis Yeri Seçimi. Ege Akademik Bakış, 14 (3): 361-369.

Karasan A, İlbahar E, Kahraman C, 2019. A Novel Pythagorean Fuzzy AHP and Its Application to Landfill Site Selection Problem. Soft Computing, 23 (21): 10953-10968.

Kaya Ö, Tortum A, Alemdar KD, Çodur MY, 2020. Site Selection for EVCS in İstanbul by GIS and Multi-criteria Decision-making. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 80: 102271.

Keleş MK, Tunca MZ, 2015. Hiyerarşik ELECTRE Yönteminin Teknokent Seçiminde Kullanımı Üzerine Bir Çalışma. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 20 (1): 199-223.

Khadivi MR, Fatemi Ghomi SMT, 2012. Solid Waste Facilities Location Using of Analytical Network Process and Data Envelopment Analysis Approaches. Waste Management, 32 (6): 1258-1265.

Kuo MS, 2011. Optimal Location Selection for an International Distribution Center by Using A New Hybrid Method. Expert Systems with Applications, 38: 7208-722.

Menou A, Benallou A, Lahdelma R, Salminen P, 2010. Decision Support for Centralizing Cargo at A Moroccan Airport Hub Using Stochastic Multi-criteria Acceptability Analysis. European Journal of Operational Research, 204 (3): 621-629.

Mokhtarian MN, Hadi-Vencheh A, 2012. A New Fuzzy TOPSIS Method Based on Left and Right Scores: An Application for Determining an Industrial Zone for Dairy Products Factory. Applied Soft Computing, 12 (8): 2496-2505.

Nyimbili PH, Erden T, 2020. GIS-based Fuzzy Multi-criteria Approach for Optimal Site Selection of The Fire Stations in İstanbul, Turkey. Socio-Economic Planning Sciences, 71: 100860.

Ömürberk N, Üstündağ S, Helvacıoğlu ÖC, 2013. Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı: Isparta Bölgesi'nde Bir Uygulama. Yönetim Bilimleri Dergisi, 11 (21): 101-116.

Önüt S, Efendigil T, Kara SS, 2010. A Combined Fuzzy MCDM Approach for Selecting Shopping Center Site: An Example from İstanbul, Turkey. Expert Systems with Applications, 37 (3): 1973-1980.

Özcan T, Çelebi N, Esnaf Ş, 2011. Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methodologies and Implementation of a Warehouse Location Selection Problem. Expert Systems with Applications, 38 (8): 9773-9779.

Özdağoğlu A, 2011. A Multi-Criteria Decision-Making Methodology on The Selection of Facility Location: Fuzzy ANP. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 59 (5): 787-803.

Sarkar A, Panja SC, Das D, Sarkar B, 2015. Developing an Efficient Decision Support System for Non-traditional Machine Selection: An Application of MOORA and MOOSRA. Production & Manufacturing Research, 3 (1): 324-342.

Song S, Zhou H, Song W, 2019. Sustainable Shelter-site Selection Under Uncertainty: A Rough QUALIFLEX Method. Computers and Industrial Engineering, 128: 371-386.

Şahin S, 2017. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Bulanık Ortamda Afet Yönetimi Sisteminde Geçici Barınma Alanları Yer Seçimi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Teniwut WA, Marimin M, Djatna T, 2019. GIS-based Multi-criteria Decision Making Model for Site Selection of Seaweed Farming Information Centre: A Lesson from Small Islands, Indonesia. Decision Science Letters, 8 (2): 137-150.

Uslu A, Kızıloğlu K, İşleyen SK, Kahya E, 2017. Okul yeri seçiminde coğrafi bilgi sistemine dayalı AHP-TOPSIS yaklaşımı: Ankara ili örneği. Politeknik Dergisi, 20 (4): 933-943.

Wang JJ, Jing YY, Zhang CF, Zhao JH, 2009. Review On Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (9): 2263-2278.

Wu Y, Liu L, Gao J, Chu H, Xu C, 2017. An Extended VIKOR-based Approach for Pumped Hydro Energy Storage Plant Site Selection with Heterogeneous Information. Information (Switzerland), 8 (3): 106.

Yalçınkaya M, Teke K, 2006. San Andreas Fayında Yapılan Jeodezik ve Yer Dinamiği Çalışmaları. Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2. Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 16-18 Kasım 2006, Trabzon.

Zavadskas EK, Turskis Z, Bagocius V, 2015. Multi-criteria selection of deep-water port in the Eastern Baltic Sea. Applied Soft Computing Journal, 26: 180-192.