

## SARSMA TABLASI TEST MODELİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE SEÇİLMESİ: BİR UYGULAMA

Handan KÜNKÇÜ<sup>1</sup>, Osman AYTEKİN<sup>2\*</sup>, Hakan KUŞAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-9839-640X>

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5916-0725>

<sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7689-2808>

Anahtar Kelimeler	Öz
Çok kriterli karar verme (ÇKKV) AHP TOPSIS ELECTRE Sarsma Tablası Seçimi	<i>Yapıların yer hareketi etkisindeki dinamik davranışlarının gözlemlenmesinde sarsma tablası test modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım ihtiyacına ve özelliklerine göre sarsma tablası test modeli seçimi, çok sayıda parametreye ve koşula bağlıdır. Bu nedenle, bu seçim problemi çok kriterli bir karar verme problemi olarak düşünülebilir. Bu çalışmanın temel amacı, sarsma tablası modellerini birçok kritere göre değerlendirmektir. Bu amaçla bu çalışmada beş alternatif belirlenmiş ve sırasıyla AHP, TOPSIS ve ELECTRE çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, beş farklı alternatifi karşılaştırarak aynı alternatifin üç yöntem için birinci olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, bu çalışmada farklı ÇKKV yöntemlerinin seçim problemi üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın bulgularının, sarsma tablası modellerinin mekanik ve teknik özellikleri konusunda bilgi almak isteyen tasarımcılara, uygulayıcılara ve araştırmacılara katkıda bulunması beklenmektedir.</i>

## SELECTING THE SHAKING TABLE TEST MODEL USING MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS: AN APPLICATION

Keywords	Abstract
Multi-criteria decision making (MCDM) AHP TOPSIS ELECTRE Shaking Table Selection	<i>Shaking table test models are widely used in observing the dynamic behavior of structures under the effects of ground motion. According to the user needs and characteristics, the selection of the shaking table test model depends on many parameters and conditions. Therefore, this selection problem can be considered as a multi-criteria decision making (MCDM) problem. The main purpose of this study is to evaluate shaking table models depending on many criteria. In this study, five alternatives were identified, and AHP, TOPSIS and ELECTRE methods were applied, respectively. The results revealed the same alternative is the first for three methods by comparing five different alternatives. In addition, the effect of different MCDM methods on the selection problem was observed in this study. The findings of this study are expected to contribute to designers, practitioners and researchers who want to learn about the mechanical and technical properties of shaking table models.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 06.02.2023

Submission Date : 06.02.2023

Kabul Tarihi : 28.04.2023

Accepted Date : 28.04.2023

\* Sorumlu yazar: [oaytekin@ogu.edu.tr](mailto:oaytekin@ogu.edu.tr)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1248370>

### 1. Giriş

Günümüze kadar pek çok deprem geçiren ülkemizde, bu depremler nedeniyle büyük hasarlar ve can kayıpları yaşanmıştır (Güler ve Canbaz, 2020). Bu olumsuzluklara maruz kalınmaması ve daha güvenli yapı inşa edilmesi için yapıların, yer hareketi etkisindeki dinamik

davranışlarının gözlemlenmesinde sarsma tablası testleri yaygın bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Kutaniş, 2007). Sarsma tablası, günümüzde inşaat mühendisliği yapılarının dinamik ve sismik performansının öğrenilmesinde en etkili araçlardan biri haline gelmiştir (Bairrao ve Vaz, 2000; Yuan, Yu, Li, Yan ve Yuan, 2018). Cimellaro ve Domaneschi (2018),



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sarsma tablasının deprem mühendisliği alanında araştırma yapmak için tüm dünyada kullanılan başlıca laboratuvar platformu olduğunu ifade etmiştir. Yapıların tasarım teorilerinin geliştirilmesinde ya da doğrulanmasında sarsma tablası testlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Yuan vd., 2018). Uzun süreli yer hareketlerine maruz kalan büyük yapı modellerinin yapı elemanları için büyük ölçekli sarsma tablası modelleri kullanılırken (Chung, Nagae, Hitaka ve Nakashima, 2010), küçük ölçekli numunelerin yapısal davranışlarını gözlemlemek için ise küçük ölçekli sarsma tablası modellerinin kullanıldığı görülmektedir (Cimellaro ve Domaneschi, 2018). Sarsma tablası testleri ile ayrıca, akıcı beton karışımlarının işlenebilirlik özellikleri, harç, kireç, çimento numunelerinin akışkanlık özellikleri de incelenebilir (Sağlam, 2003). Böylece, sarsma tablası test modeli ile eğitimde ve dinamik davranışın öğretilmesinde önemli fırsatlar sunulduğu sonucuna ulaşılabilir. Bu modellerin seçiminde çeşitli nitel ya da nicel kriterlerin varlığının yanı sıra çok sayıda test modeli alternatifinin de olması problemin çözümünü zorlaştırmaktadır (Uluskan, Topuz ve Çimen, 2022). Bu farklı kullanım ihtiyaçları dikkate alındığında sarsma tablası test modelleri eksen sayısına, büyüklüğüne, deplasman ve yük kapasitesine göre farklı özelliklerde üretilebilmektedir (Tayfur, Uslu, Can, Cihan ve Öztekin, 2020). Örneğin; Kanada'da gerçekleştirilen bir deneysel çalışmada tabla platformu 1000x1000 mm<sup>2</sup>, maksimum yük kapasitesi 1000 kg, maksimum taşıma kapasitesi 1000 kg, frekans aralığı 1-17 Hz, maksimum yer değiştirme miktarı ±120 mm özelliklerine sahip sarsma tablası modeli kullanılmıştır (Alshawmar ve Fall, 2023). Bu özelliklerin her biri test modelinin maliyetini de önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Tayfur vd., 2020).

Tüm bu unsurlar göz önüne alındığında kullanım ihtiyacına ve özelliklerine göre sarsma tablası test modeli seçimi, çok sayıda parametreye ve koşula bağlıdır. Bu çeşitli parametre ve koşullar karşısında çözüm üretimi, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile sağlanabilir (Koca ve Eğilmez, 2020). Mardani ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada 2000-2014 yılları arasında ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı 393 çalışma incelenmiş; malzeme seçimi, üretim sistemleri, inşaat yapım ve proje yönetimi, üretim ve makine seçimi problemleri olmak üzere 15 farklı alanda bu yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Literatürde incelenen çalışmalarda hem inşaat hem de farklı alanlarda ürün, malzeme, makine ve ekipman seçim problemleri için ÇKKV yöntemlerinin sık sık kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntemlerin kullanıldığı alanlar ve yapılan çalışmalardan son yıllara ait bazı örnekler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Literatürdeki seçim problemleri için kullanılan ÇKKV yöntemleri

Problem	ÇKKV Yöntemleri	Referans
Makine/Ekipman Seçimi	AHP, TOPSIS	(Barrios, De Felice, Negrete, Romero, Arenas, & Petrillo, 2016)
	AHP, MARE, ELECTRE III	(Hodgett, 2016)
	Entropi Ağırlıklı TOPSIS	(Koca ve Eğilmez, 2020)
	AHP, TOPSIS, PROMETHEE	(Uzun ve Kazan, 2016)
	AHP, PROMETHEE	(Temiz ve Calis, 2017)
	AHP, GIA	(Gülçiçek Tolun ve Tümtürk, 2020)
Tedarikçi Seçimi	AHP, EDAS	(Ulutaş ve Çelik, 2019)
	Bulanık VIKOR	(Faydalı ve Erkan, 2020)
	AHP, Gri İlişki Analizi	(Kavitha ve Gladson, 2019)
	ELECTRE I	(Erbıyık, Kabakçı ve Erdil, 2021; Arslan ve Uysal, 2017)
	ANP, ELECTRE	Çakın ve Özdemir, 2013)
	Bulanık AHP, MOORA, COPRAS	(Over Özçelik ve Eryılmaz, 2019)
	AHP, PROMETHEE	(Nebati, Yürük, ve Kenar, 2021)
	AHP, TOPSIS, VIKOR	(Alakaş, Bucak, ve Kızıltaş, 2019)
AHP, TOPSIS	(Onder ve Dag, 2013)	
Banka Seçimi	AHP, TOPSIS, ELECTRE	(Yalçın ve Karaatlı, 2018)
Sürücü Seçimi	AHP, GRA, TOPSIS	(Özcan, İnan ve Korkusuz, 2020)
Kredi Kart Seçimi	AHP, ELECTRE	(Orçanlı ve Özdemir, 2013)
Konut Satın Alımı	AHP, TOPSIS, COPRAS, ELECTRE	(Yertutan ve Çetinyokuş, 2021)
Paket Program Seçimi	AHP, TOPSIS, ELECTRE	(Tunca, Aksoy, Bülbül ve Ömürbek, 2015)

İnşaat proje yönetimi özelinde ise literatürde çeşitli ÇKKV yöntemlerinin bazı örnekleri sunulmuştur. Örneğin; Aslan ve Türkakın (2022) inşaat planlamasında optimal bir çözüm elde etmek için AHP yöntemini kullanırken, Al-Harbi (2001) AHP yönteminin proje yönetimindeki uygulamasını araştırmış ve bir örnek olarak yüklenici önyeterlilik problemini ele almıştır. Szpotowicz ve Tóth (2020) tarafından yapılan çalışmada, yol projelerinde sürdürülebilirlik açısından derecelendirme sistemlerinin uygulanabilirliğinin incelenmesi için TOPSIS yöntemi kullanılmış ve en uygun olan sistem belirlenmiştir. İnşaat projeleri için önemli bir seçim problemi olan en uygun yüklenici seçimi için Alptekin ve Alptekin (2017) tarafından TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Samaras, Gkanas ve Vitsa (2014) baraj projelerinde risk değerlendirmesi için AHP ve ELECTRE I yöntemlerini kullanmıştır. Böylece, inşaat ya da diğer endüstrilerdeki problemlerde AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin uygulanabilirliği sonucuna ulaşılmış olup test modeli seçim problemimiz için gerekli kriterlerin belirlenmesine gerek duyulmaktadır. Bu yüzden, bu çalışmanın konusu ile benzer nitelikte olan makine veya ekipman seçimi için literatürde belirlenen kriterlerin bir özeti Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Literatürdeki makine/ekipman seçimi için belirlenen kriterler

Kriterler	Referans
Teknik özellikler (motor gücü, devir hızı, Z eksen, maksimum çap, fiyat)	(Koca ve Eğilmez, 2020)
Teknik özellikler, sözleşmeye bağlı kriterler, marka güvenilirliği, işletme ve bakım masrafları	(Uzun ve Kazan, 2016)
Fiyat, teknik özellikler (motor gücü, çalışma ağırlığı, hidrolik pompa debisi, yakıt tüketimi), servis olanakları, elden çıkarma ve yedek parça durumu, operatörün konforu	(Temiz ve Calis, 2017)
Teknik özellikler (dozaşlama süresi, hareket aralığı, motor gücü, yıkama sistemi gibi), fiyat, satış sonrası hizmet, ürün teslim süreci, dil seçeneği	(Gülçiçek Tolun ve Tümürk, 2020)
Fiyat, teknik özellikler (kaldırma kapasitesi, çatal boyu), yedek parça bulmanın kolaylığı, garanti süresi, marka güvenilirliği	(Ulutaş ve Çelik, 2019)
Fiyat, kalite, satış sonrası hizmetler, paketleme yapabilirliği, kullanım kolaylığı, güvenlik, performans	(Faydalı ve Erkan, 2020)

Bu çalışmanın amacı, AHP, TOPSIS ve ELECTRE ÇKKV yöntemleri kullanılarak sarsma tablası test modeli alternatifleri arasından seçim sıralaması yapmak ve

yöntemlerin sonuçlarını karşılaştırmaktır. Bu çalışma şu şekilde düzenlenmiştir. 2. bölümde çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemleri açıklanmıştır. 3. bölümünde uygulanan bu yöntemlerin sonucunda alternatiflerin seçimlerinin sıralama sonuçları sunulmuş olup, 4. bölümde ise yöntemlerin sıralama sonuçları karşılaştırılmış ve gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Yöntem

Sarsma tablası test modeli seçim süreci birçok kritere bağlı olduğundan ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri uygulanmıştır. Literatürde incelenen birçok çalışmada görüldüğü gibi AHP, çok seviyeli hiyerarşik karar problemlerinde etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamış ve en çok benimsenen yöntemlerden biri haline gelmiştir. AHP yöntemi diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırıldığında, basit ve kolay uygulanabilir, problemin çözümünü kolaylaştıran hiyerarşik bir yapı sunmaktadır. Yöntemin aşamalarından biri olan tutarlılık oranlarının hesaplanması ile katılımcıların cevaplarının güvenilirliği sağlanmaktadır. Bu aşama yöntemin en güçlü özelliğini ifade etmektedir (Al-Harbi, 2001). AHP yöntemi ikili karşılaştırmalara dayanırken, TOPSIS yöntemi ideal çözüme en kısa mesafeyi ve negatif ideal çözüme en uzun mesafeyi dikkate alan bir çözüm yöntemi sunmaktadır. Bu durum TOPSIS yöntemini, insanın karar verme süreci doğası ile daha tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Zhang ve Wang, 2007). Grup karar verme sürecinde etkili karar verme yöntemlerinden olan ELECTRE, her bir çözüm çiftinin performans karşılaştırmalarının bağlantılarının oluşturulmasına dayanmaktadır. Ayrıca AHP ve TOPSIS yöntemleri ile karşılaştırıldığında, ELECTRE yönteminin çözüm süreci daha karmaşıktır. Yöntem sonucunda iki farklı sıralama sonucu elde edildiğinden, bu sonuçların doğruluğuna ilişkin sonuçların farklı yöntemler ile karşılaştırılmasına ihtiyaç duyulabilmektedir (Daugavietis, Soloha, Dace ve Ziemele, 2022).

Bu çalışmada, AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin seçilmesinin sebebi literatürde bulunan benzer çalışmalarda uygulan yöntemler olmasıdır. Böylece uygulanan yöntemlerin sıralama sonuçları da karşılaştırılacaktır. Bu yöntemlerin uygulama aşamaları aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Bu çalışma için etik kurul onayı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu tarafından 05/04/2019 tarihli ve 53893652-299-E.42845 sayılı kararı ile verilmiştir.

### 2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Thomas L. Saaty (1987) tarafından geliştirilen AHP yöntemi, karar verme ile ilgili tüm kriterlerin değerlendirilmesini hiyerarşik bir düzende yapılandıran

ve bu düzen içinde ilişkiler kurmak için ikili karşılaştırmalara ihtiyaç duyan ÇKKV aracıdır (Saaty, 1987; Kumar, Singh ve Jain, 2020). Bu yöntem karmaşık ve yapılandırılmamış sorunların ele alması ve ilgili sorunları daha basit alt sistemlere ayırarak karar vericilerin analiz etmelerini kolaylaştırması sebebiyle uygulamada tercih edilmektedir (Kumar vd., 2020; Sindhu, Nehra ve Luthra, 2017). AHP yönteminin uygulama aşamaları kısaca aşağıda verilmiştir (Uzun ve Kazan, 2016; Kumar vd., 2020).

1. Adım: Problemin tanımlanarak kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi.

2. Adım: Bir kriterin diğerine göre önem derecesini ifade eden ikili karşılaştırma matrislerinin Tablo 3'de verilen önem dereceleri kullanılarak oluşturulması.

Tablo 3. 1-9 puanlı önem dereceleri (Saaty, 1987)

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit derecede öneme sahip
3	Orta derecede öneme sahip
5	Güçlü derecede öneme sahip
7	Çok güçlü derecede öneme sahip
9	Aşırı derecede öneme sahip
2,4,6,8	Ara değerler

3. Adım: Normalize matrisin elde edilmesi.

4. Adım: Tutarlılık oranının hesaplanması. Bu oran belirlenen kriterlerin önem derecelerinin tutarlılığının kontrol edilmesi için hesaplanır. Öncelikle, tutarlılık oranının (TO) hesaplanması için ikili karşılaştırma matrisin tutarlılık indeksine (TI) ihtiyaç duyulmaktadır ve Eşitlik (1) ile hesaplanır, bu eşitlikte  $\lambda_{max}$  en büyük özvektör,  $n$  ise alternatif veya kriter sayısıdır. Eşitlik (2) kullanılarak TO hesaplanabilir, bu eşitlikte kriter sayısına bağlı olarak değişen uygun rassallık indeksi (RI) seçilir ve bu değerler Tablo 4'de verilmiştir (Temiz ve Calis, 2017; Saaty, 1987).

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad (2)$$

Tablo 4. Rassallık indeksi (RI) (Saaty, 1987)

n	1	2	3	4	5	6	7
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32
n	8	9	10				
RI	1.41	1.45	1.49				

5. Adım: Kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesi ve her alternatifin nihai ağırlığının hesaplanması ve sonrasında alternatiflerin ağırlık değerlerine göre sıralanması.

## 2.2. TOPSIS

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi, ideal alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın olması ve negatif ideal çözüme en uzak olması prensibine dayanan bir ÇKKV aracıdır (Koca ve Eğilmez, 2020; Yertutan ve Çetinyokuş, 2021). Karar verme problemleri üzerindeki önemli etkisinden dolayı daha çok tercih edilen bu yöntem, pratik problemlerin çözümü için oldukça yararlıdır ve ayrıca alternatiflerin sıralamasını ve optimal çözümü sağlamaktadır (Bathrinath, Bhalaji ve Saravanasankar, 2021). TOPSIS yönteminin uygulama aşamaları aşağıda verilmiştir (Yertutan ve Çetinyokuş, 2021; Bathrinath vd., 2021).

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması.

2. Adım: Normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması.

3. Adım: Ağırlık normalleştirilmiş karar matrisinin hesaplanması.

4. Adım: Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümün belirlenmesi.

5. Adım: Her bir alternatif için öklid uzaklığı yöntemini kullanarak pozitif ideal noktaya uzaklığın ( $S_i^*$ ) ve negatif ideal noktaya olan uzaklığının ( $S_i^-$ ) hesaplanması. Pozitif ideal çözüm için öklid uzaklığı yöntemi Eşitlik (3), negatif ideal çözüm için Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanabilir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

6.adım: Eşitlik (5) kullanılarak ideal çözüme göreceli yakınlığın hesaplanması ve alternatiflerin sıralanması. Göreceli yakınlık değeri ( $C_i^*$ ) 0 ile 1 arasındadır. Göreceli yakınlığın 1'e eşit olması pozitif ideal çözüme yakınlığı gösterir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

## 2.3. ELECTRE

ELECTRE yöntemi, alternatifler arasında ikili üstünlük karşılaştırmalarına ve kıyaslanmalarına dayanan bir ÇKKV aracıdır (Erbiyık vd., 2021; Arslan, 2018). Bu ÇKKV yönteminin ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS ve ELECTRE A farklı türevleri bulunmaktadır (Huang ve Chen, 2005). Seçim problemi

için tercih edilen ELECTRE I yönteminin uygulama aşamaları aşağıda verilmiştir (Erbıyık vd., 2021; Arslan ve Uysal, 2017; Pang, Zhang ve Chen, 2011; Çelik ve Ustasüleyman, 2014).

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması.

2. Adım: Fayda ve maliyet özelliklerini belirleyerek fayda için Eşitlik (6), maliyet için Eşitlik (7) kullanılarak normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması.

$$x_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m b_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$x_{ij} = \frac{1/b_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{b_{ij}}\right)^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

3. Adım: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin hesaplanması.

4. Adım: Uyum ve uyumsuzluk setinin oluşturulması.

5. Adım: Uyum ve uyumsuzluk setlerinin kullanılarak uyum ve uyumsuzluk matrislerinin oluşturulması.

6. Adım: Uyum ve uyumsuzluk eşik değerlerinin hesaplanması.

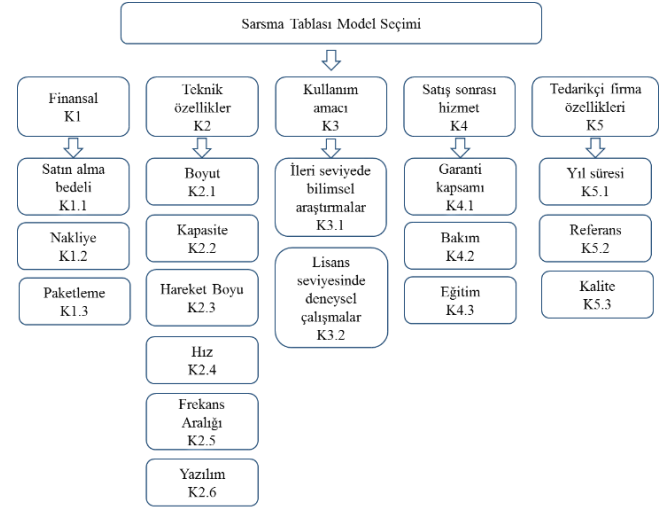
7. Adım: Uyum ve uyumsuzluk eşik değerlerinin uyum ve uyumsuzluk matrislerinin elemanlarıyla karşılaştırılması.

8. Adım: Uyum, uyumsuzluk ve toplam üstünlük matrislerinin oluşturulması.

9. Adım: Toplam üstünlük matrisine göre alternatiflerin sıralanması.

### 3. Uygulama ve Bulgular

Sarsma tablası test modeli seçimi için anket uygulaması ile toplam 45 uzman ve tasarım ekiplerinin görüşleri alınarak bu çalışma için beş alternatif belirlenmiştir. Belirlenen alternatiflerde firma isimlerinin yerine A1, A2, A3, A4, A5 ifadeleri kullanılmıştır. Seçim problemi için belirlenen ana kriterler, finansal, teknik özellikler, kullanım amacı, satış sonrası hizmet ve tedarikçi firma özelliklerinden oluşmaktadır. Finansal ana kriteri 3 alt kriterden, teknik özellikler ana kriteri 6 alt kriterden, kullanım amacı ana kriteri 3 alt kriterden, satış sonrası hizmet ana kriteri 3 alt kriterden ve tedarikçi firma özellikleri ana kriteri 3 alt kriterden oluşmaktadır. 5 ana kriter ve bu ana kriterler için belirlenen alt kriterler Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu kriterlerden yıl süresi tedarikçi firmanın sektördeki faaliyet gösterdiği ifade etmektedir. İleri düzey bilimsel araştırmalar kriteri ise daha kapsamlı ve özellikli bilimsel çalışmaları ifade etmektedir.



Şekil 1. Seçim problemi için kriterler

### 3.1. AHP Yönteminin Uygulanması

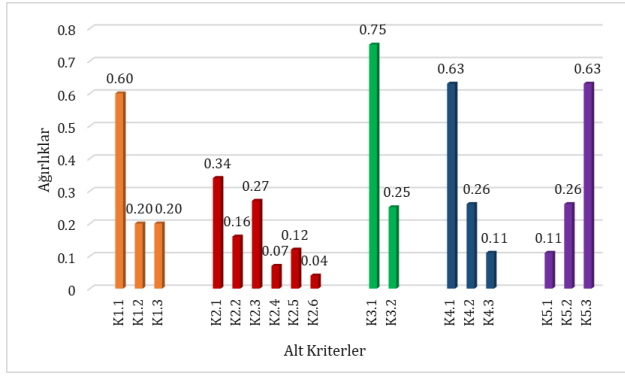
AHP yöntemi kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için öncelikle Tablo 5'de verilen ana kriterler için ikili karşılaştırma yapılmış ve ağırlık değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Ana kriterlerin ikili karşılaştırılması

Ana kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	Ağırlık
K1	1	1/3	1/5	1/4	2	0.079
K2	3	1	1/3	1/3	3	0.156
K3	5	3	1	4	5	0.457
K4	4	3	1/4	1	4	0.250
K5	1/2	1/3	1/5	1/4	1	0.058
$\Sigma = 1.000$						

$$\lambda_{\max} = 5.336, CI = 0.084, RI = 1.12, CR = 0.075 < 0.100 \checkmark$$

İkili karşılaştırma matrisleri, çalışmaya katılan uzman ve tasarım ekiplerinin görüşlerinin geometrik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Grup değerlendirmeleri için geometrik ortalama yöntemi uygulanabilmektedir (Saaty, 2008). Her bir ana kriter için belirlenen alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları oluşturulmuş ve tutarlılık oranları hesaplanmıştır. İkili karşılaştırmalar sonucu tutarlılık oranlarının 0.1 değerinden küçük veya bu değere eşit olması ile karşılaştırma sonuçlarının tutarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Saaty, 1987). Hesaplanan tüm alt kriterler için ağırlık değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Alt kriterlerin ağırlıkları

Çalışmada belirlenen beş alternatif için toplam ağırlıkları hesaplanmış ve sıralama sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. AHP yöntemi sonucuna göre en yüksek ağırlık değerine sahip alternatif A2 olarak bulunmuştur.

Tablo 6. AHP yönteminin sonuçları

Alternatifler	Genel Ağırlıklar	Sıralama
A1	0.159	4
A2	0.299	1
A3	0.242	2
A4	0.185	3
A5	0.115	5

### 3.2. TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Bu çalışmadaki belirlenen beş alternatif için tanımlanan kriterlerde sayısal ifadeler için gerçek değerler, sözel ifadeler için 1-5 puanlı önem dereceleri kullanılmıştır. Bu değerler ile Tablo 7'de TOPSIS metodunun ilk aşaması olan karar matrisi oluşturulmuştur.

AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinden elde edilen pozitif ideal (A\*) ve negatif ideal (A-) çözüm setleri elde edilmiş ve aşağıda bu setler sunulmuştur.

Tablo 7. Karar matrisi

	K1			K3	
	K1.1	K1.2	K1.3	K3.1	K3.2
(TL)	-	-	-	-	-
A1	2762900	4	2	2	5
A2	1274000	5	1	4	2
A3	1650000	3	3	5	3
A4	55582	2	5	3	4
A5	14700	1	4	1	1

Tablo 7. Karar matrisi (devamı)

	K2					
	K2.1	K2.2	K2.3	K2.4	K2.5	K2.6
	(m <sup>2</sup> )	(kN)	(mm)	(mm/sn)	(Hz)	-
A1	16.00	667.24	200	500	50	3
A2	25.00	350.00	800	630	25	5
A3	6.25	250.00	350	1000	12	4
A4	0.48	1.00	200	500	20	2
A5	1.00	80.00	300	400	50	1

Tablo 7. Karar matrisi (devamı)

	K4			K5		
	K4.1	K4.2	K4.3	K5.1	K5.2	K5.3
	(Yıl)	-	-	-	-	-
A1	2	3	5	18	4	1
A2	5	5	3	21	5	4
A3	2	2	4	18	3	3
A4	2	4	2	18	2	2
A5	2	1	1	19	1	5

A\* = {0.002548, 0.026968, 0.026968, 0.279216, 0.132967, 0.221196, 0.049505, 0.078938, 0.026968, 0.505650, 0.168550, 0.494290, 0.175966, 0.071465, 0.052850, 0.175966, 0.426769}

"A" "-" "-" "-" = {0.478898, 0.134840, 0.134840, 0.005361, 0.000199, 0.055299, 0.019802, 0.018945, 0.005394, 0.101130, 0.033710, 0.197716, 0.035193, 0.014293, 0.045300, 0.035193, 0.085354}

Pozitif ve negatif ideal çözüm setleri kullanılarak öklid uzaklığı yöntemi uygulanmış ve sonrasında göreceli yakınlık değerleri hesaplanmıştır. Bu göreceli yakınlık değerleri, alternatiflerin tercih sıralama sonuçlarını oluşturmuştur. Her bir alternatif için bu sonuçlar Tablo 8'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en uygun alternatif A2'dir.

Tablo 8. TOPSIS yönteminin sonuçları

Alternatifler	S <sub>i</sub> <sup>*</sup>	S <sub>i</sub> <sup>-</sup>	C <sub>i</sub> <sup>*</sup>	Sıralama
A1	0.758520	0.326289	0.300781	5
A2	0.306150	0.688348	0.692156	1
A3	0.542257	0.507802	0.483593	2
A4	0.587816	0.545874	0.481502	3
A5	0.652114	0.600407	0.479359	4

### 3.3. ELECTRE Yönteminin Uygulanması

Bu çalışmada ELECTRE yönteminin ailesinden olan ELECTRE I yönteminin uygulama aşamasında Tablo 7'de verilen kriterlerin maliyet veya fayda özelliklerine göre normalize karar matrisi oluşturulmuştur. AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra ağırlıklı normalize edilerek matristen uyum ve uyumsuzluk setleri elde edilmiş ve bu setler sonucuna göre uyum ve uyumsuzluk matrisleri Tablo 9 ve Tablo 10'da sunulmuştur. Bu

setlerin hesaplanmasına ait detaylı işlem adımlarına Küncü (2019) çalışmasında ulaşılabilmektedir.

Tablo 9. Uyum matrisi (C)

	-	0.839	2.439	2.556	3.194
	4.161	-	3.623	3.950	3.443
C =	3.300	1.377	-	3.565	3.337
	3.521	1.050	2.174	-	2.372
	2.563	1.557	2.296	3.261	-

Tablo 10. Uyumsuzluk matrisi (D)

	-	1.000	1.000	0.867	1.000
	0.341	-	0.341	0.495	1.000
D =	0.359	1.000	-	0.733	1.000
	1.000	1.000	1.000	-	1.000
	0.290	0.529	0.704	0.474	-

Üstünlük matrisinin elde edilmesi için uyum eşik değeri 2.729, uyumsuzluk eşik değeri ise 0.757 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin uyum ve uyumsuzluk matrislerinin elemanlarıyla karşılaştırılması ile Tablo 11 ve Tablo 12'de verilen üstünlük matrisleri elde edilmiştir.

Tablo 21. Uyum (F) ve uyumsuzluk (G) üstünlük matrisi

	-	0	0	0	1		-	0	0	0	0
	1	-	1	1	1		1	-	1	1	0
F =	1	0	-	1	1	G =	1	0	-	1	0
	1	0	0	-	0		0	0	0	-	0
	0	0	0	1	-		1	1	1	1	-

Tablo 32. Toplam üstünlük matrisi (E)

	-	0	0	0	0	$\sum A1=0$
	1	-	1	1	0	$\sum A2=3$
E =	1	0	-	1	0	$\sum A3=2$
	0	0	0	-	0	$\sum A4=0$
	0	0	0	1	-	$\sum A5=1$

Tablo 12'de gösterilen toplam üstünlük matrisi sonuçlarına göre A2 alternatifi ilk sırada yer alırken, bu sırayı A3, sonrasında ise A5 takip etmektedir. A1 ve A4 alternatifi ise son sırada yer almaktadır. Bu iki alternatif arasında bir sıralama sonucuna ulaşmak için Pang vd. (2011)'in önerdiği gibi Cp ve Dp değerleri hesaplanmış ve Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 43. Cp ve Dp değerleri

	Ortalama (Cp)			Ortalama (Dp)			
C <sub>1</sub>	9.028	13.545	-4.517	D <sub>1</sub>	3.867	1.990	1.877
C <sub>2</sub>	15.177	4.823	10.354	D <sub>2</sub>	2.177	3.529	-1.353
C <sub>3</sub>	11.579	10.532	1.047	D <sub>3</sub>	3.092	3.045	0.047
C <sub>4</sub>	9.117	13.332	-4.215	D <sub>4</sub>	4.000	2.569	1.431
C <sub>5</sub>	9.677	12.346	-2.669	D <sub>5</sub>	1.997	4.000	-2.003

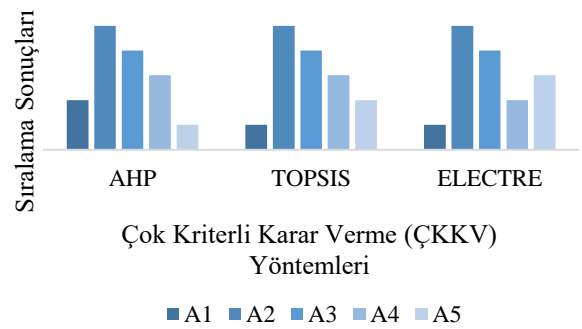
C<sub>p</sub> ve D<sub>p</sub> değerleri hesaplanarak elde edilen sıralama sonucu ve toplam üstünlük matrisine göre yöntem sonucunda elde edilen nihai sıralama sonucu Tablo 14'de gösterilmiştir.

Tablo 54. ELECTRE I yönteminin sonuçları

C <sub>p</sub>	D <sub>p</sub>	(E)	Alternatiflerin	
			Sıralama Sonuçları	Sıralama
C <sub>2</sub>	D <sub>5</sub>	E <sub>2</sub>	A2	1
C <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	A3	2
C <sub>5</sub>	D <sub>3</sub>	E <sub>5</sub>	A5	3
C <sub>4</sub>	D <sub>4</sub>	E <sub>1</sub> = E <sub>4</sub>	A4	4
C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	E <sub>1</sub> = E <sub>4</sub>	A1	5

#### 4. Sonuçlar

Sarsma tablası test modellerinin mühendislik eğitimleri ve depreme dayanıklı yapıların tasarımına katkısı nedeniyle uygun test modelinin seçimi son derece önemlidir. Bu çalışmada test modeli seçimi için bir karar hiyerarşisi oluşturulmuş ve bu noktada ÇKKV yöntemlerinden olan AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri uygulanarak yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin uygulanması için tasarım ekipleri ve uzmanların görüşleri alınarak sarsma tablası test modellerinin özelliklerine göre kriterler ve alternatifler belirlenmiştir. İlk olarak AHP yöntemi uygulanmış ve kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. AHP yöntemi ile hesaplanan bu ağırlıklar TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinde de kullanılmıştır. Yöntemlerin elde edilen sıralama sonuçları Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. Çalışmada uygulanan ÇKKV yöntemlerinin sıralama sonuçları

Yöntemlerin sonuçlarına göre en uygun alternatif A2'dir ve diğer alternatiflerin sıralama sonuçları ise birbirine çok yakındır. A1 ve A5 alternatiflerinin ise son sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bu sıralama sonuçları arasındaki tutarlılık AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin başka bir seçim problemi için karar verilmesi gerektiğinde kolaylıkla uygulanabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada, farklı ÇKKV yöntemlerinin

seçim sıralamasındaki etkisi gözlemlenmiştir. Bu yöntemler, bir karar problemini çözmek için olası alternatifler için karar vericilerin tercihini temsil etmek için kullanılmıştır.

Bu çalışmada benimsenen yaklaşımlarda alt kriterlerin birbiri ile olan ilişkileri incelenmediği için bu ilişkilerin dahil edilerek sıralama sonuçlarının elde edilmesi için Analitik Ağ Süreci (Analytical Network Process (ANP)) yöntemi kullanılabilir. Bu çalışma sonuçlarının, sarsma tablası modellerinin mekanik ve teknik özellikleri konusunda, bilgi almak ve uygulama deneyimi gerçekleştirmek isteyen tasarımcılara, uygulayıcılara ve araştırmacılara yardımcı olması beklenmektedir. Ayrıca, gelecekteki çalışmalar için alternatif ve kriter sayısı artırılabilir veya farklı ÇKKV yöntemleri uygulanabilir. Bu çalışmada önerilen çerçevenin literatürdeki diğer seçim problemleri için faydalı olması beklenmektedir.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; H. KÜNKCÜ, bilimsel yayın araştırması, veri toplama, makalenin oluşturulması; O. AYTEKİN ve H. KUŞAN, araştırma tasarımı ve uygulanması ile makalenin genel kontrolünün yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

Alakaş, H. M., Bucak, M. Y. & Kızıldaş, Ş. (2019). AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemleri ile ambulans tedarik firması seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(1), 93-101.

Al-Harbi, K. M. A. S. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19(1), 19-27. doi: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-1)

Alptekin, O. & Alptekin, N. (2017). Analysis of criteria influencing contractor selection using TOPSIS method. *In IOP conference series: materials science and engineering*, 245(6), 062003. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/6/062003>

Alshawmar, F. & Fall, M. (2023). Investigation of drying and wetting effects on response of highly densified tailings to cyclic loadings: Shaking table test results. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 166, 107769. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.107769>

Arslan, H. M. (2018). ELECTRE ve maksimum kapsama modeli yöntemleri ile bilim merkezlerinin optimum tesis yeri seçimi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(65), 337-355. doi: <https://doi.org/10.17755/esosder.339495>

Arslan, H. M. & Uysal, H. T. (2017). ELECTRE I yöntemi ile en uygun tedarikçinin belirlenmesi: Ahşap sektörü uygulaması. *Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 44-57.

Aslan, S. & Türkakın, O. H. (2022). A construction project scheduling methodology considering COVID-19 pandemic measures. *Journal of Safety Research*, 80, 54-66.

Bairrao, R. & Vaz, C. (2000). *Shaking table testing of civil engineering structures-The LNEC 3D simulator experience*, In Proceedings 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand.

Barrios, M. A. O., De Felice, F., Negrete, K. P., Romero, B. A., Arenas, A. Y. & Petrillo, A. (2016). An AHP-topsis integrated model for selecting the most appropriate tomography equipment. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(04), 861-885. doi: <https://doi.org/10.1142/S021962201640006X>

Bathrinath, S., Bhalaji, R. K. A. & Saravanasankar, S. (2021). Risk analysis in textile industries using AHP-TOPSIS. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1257-1263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.722>

Chung, Y. L., Nagae, T., Hitaka, T., & Nakashima, M. (2010). Seismic resistance capacity of high-rise buildings subjected to long-period ground motions: E-Defense shaking table test. *Journal of Structural Engineering*, 136(6), 637-644. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000161](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000161)

Cimellaro, G. P. & Domaneschi, M. (2018). Development of dynamic laboratory platform for earthquake engineering courses. *Journal of Professional issues in engineering education and practice*, 144(4), 05018015. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000393](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000393)

Çakın, E. & Özdemir, A. (2013). Tedarikçi seçim kararında Analitik Ağ Süreci (ANP) ve ELECTRE yöntemlerinin kullanılması ve bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(2), 339-364.



- Çelik, P. & Ustasüleyman, T. (2014). ELECTRE I ve PROMETHEE yöntemleri ile GSM operatörlerinin hizmet kalitesinin değerlendirilmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (12), 137-160. doi: <https://doi.org/10.18092/ijeas.19566>
- Daugavietis, J. E., Soloha, R., Dace, E. & Ziemele, J. (2022). A comparison of multi-criteria decision analysis methods for sustainability assessment of district heating systems. *Energies*, 15(7), 2411. doi: <https://doi.org/10.3390/en15072411>
- Erbıyık, H., Kabakçı, G. & Erdil, A. (2021). ELECTRE yöntemi ile otomotiv sektöründe tedarikçi seçimi: Yeşil tedarikçi seçimi uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı 24, 421-429. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.903952>
- Faydalı, R. & Erkan, E. F. (2020). Makine seçim probleminin bulanık VIKOR yöntemiyle incelenmesi. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 3(1), 7-12. doi: <https://doi.org/10.38016/ijsta.677785>
- Gülççek Tolun, B. & Tümtürk, A. (2020). AHP ile bütünlük gri ilişkisel analiz yöntemi ile makine seçimi: tarım makinaları üretim işletmesinde bir uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 27(1), 21-34. doi: <https://doi.org/10.18657/yonveek.610281>
- Güler, E. & Canbaz, M. (2020). Yapıların deprem riskinin sokak tarama yöntemi ile belirlenmesi: Sivrihisar örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3), 227-234. doi: <https://doi.org/10.31796/ogummf.736221>
- Hodgett, R. E. (2016). Comparison of multi-criteria decision-making methods for equipment selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85, 1145-1157. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7993-2>
- Huang, W.C. & Chen, C.H. (2005). Using the ELECTRE II method to apply and analyze the differentiation theory. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 2237-2249.
- Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making methods and application. New York: Springer-Verlag
- Kavitha, T. S. & Frank, Gladson. (2019). Evaluation of best supplier using multi criteria decision making methods. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 10(2), 2176-2183.
- Koca, G. & Eğilmez, Ö. (2020). Makine seçimi probleminin entropi ağırlıklı TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi: Bir doğal taş işletmesi örneği. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 714-729. doi: <https://doi.org/10.35193/bseufbd.726608>
- Kumar, R., Singh, K. & Jain, S. K. (2020). A combined AHP and TOPSIS approach for prioritizing the attributes for successful implementation of agile manufacturing. *International Journal of Productivity and Performance Management*. 69(7), 1395-1417. doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-05-2019-0221>
- Kutaniş, M. (2007). Deprem simülasyonu tasarımı ve yapımı. Sakarya Üniversitesi. MAG-HD-11 (105m082)'nolu TÜBİTAK Projesi.
- Küncü, H. (2019). Mekanik laboratuvarlarında kullanılacak sarsma tablası deney modeli seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic research-Ekonomika istraživanja*, 28(1), 516-571. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>
- Nebati, E. E., Yürük, H. & Kenar, Z. (2021). Bir otobüs işletmesi için tedarikçi seçimi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 1-14. doi: <https://doi.org/10.38002/tuad.790761>
- Onder, E. & Dag, S. (2013). Combining analytical hierarchy process and TOPSIS approaches for supplier selection in a cable company. *Journal of Business Economics and Finance*, 2(2), 56-74.
- Orçanlı, K. & Özdemir, A. (2013). Kredi kartı seçimine yönelik bir karar modeli ve uygulama: Analitik hiyerarşi prosesi (AHP)-ELECTRE yöntemi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 77-106.
- Over Özçelik, T. & Eryılmaz, S. (2019). Traktör imalatında çok kriterli karar verme yöntemleri ile tedarikçi seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 498-512. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.590418>
- Özcan, İ., İnan, U. H. & Korkusuz, A. Y. (2020). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle metro sürücüsü seçimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 15(3), 1185-1202. doi: <https://doi.org/10.17153/oguibf.573735>

- Pang, J., Zhang, G. & Chen, G. (2011). ELECTRE I decision model of reliability design scheme for computer numerical control machine. *Journal of Software*, 6(5), 894-900.
- Sağlam, A. R. (2003). Kendiliğinden yerleşen betonun reolojik özelliklerine bileşim parametrelerinin etkisi (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, 9(3-5), 161-176.
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making: Why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors - The Analytic Hierarchy/Network Process. *RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics)*, 102(2), 251-318.
- Samaras, G. D., Gkanas, N. I. & Vitsa, K. C. (2014). Assessing risk in dam projects using AHP and ELECTRE I. *International Journal of Construction Management*, 14(4), 255-266.
- Sindhu, S., Nehra, V. & Luthra, S. (2017). Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 496-511. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.135>
- Szpotowicz, R. & Tóth, C. (2020). Revision of sustainable road rating systems: selection of the best suited system for Hungarian road construction using TOPSIS method. *Sustainability*, 12(21), 8884. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su12218884>
- Tayfur, B., Uslu, E., Can, Ö., Cihan, A. & Öztekin, E. (2020). 2 Eksenli sarsma tablası tasarımı ve imalatı. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 131-137.
- Temiz, I. & Calis, G. (2017). Selection of construction equipment by using multi-criteria decision making methods. *Procedia Engineering*, 196, 286-293.
- Tunca, M. Z., Aksoy, E., Bülbül, H. & Ömürbek, N. (2015). AHP temelli TOPSIS ve ELECTRE yöntemiyle muhasebe paket programı seçimi. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 53-71.
- Uluskan, M., Topuz, D. & Çimen, C. (2022). AHP, Bulanık AHP, LBWA ve COPRAS yöntemleri ile tedarikçi değerlendirme: demiryolu sektöründe bir uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (3), 412-430. doi: <https://dx.doi.org/10.31796/ogummf.1068384>
- Ulutaş, A. & Çelik, D. (2019). Transpalet seçimi probleminin AHP ve EDAS yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(2), 668-686. doi: <https://dx.doi.org/10.15295/bmij.v7i2.1028>
- Uzun, S. & Kazan, H. (2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE karşılaştırılması: Gemi inşada ana makine seçimi uygulaması. *Journal of Transportation and Logistics*, 1(1), 99-113. doi: <https://dx.doi.org/10.22532/jtl.237889>
- Yalçiner, D. & Karaatlı, M. (2018). Mevduat bankası seçimi sürecinde TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin kullanılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 401-423.
- Yertutan, D. İ. & Çetinyokuş, T. (2021). Sürdürülebilir konut satın alımının çok kriterli karar verme metotlarıyla değerlendirmesi ve bir uygulama. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(1), 32-54. doi: <https://doi.org/10.29137/umagd.677636>
- Yuan, Y., Yu, H., Li, C., Yan, X. & Yuan, J. (2018). Multi-point shaking table test for long tunnels subjected to non-uniform seismic loadings—Part I: Theory and validation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 108, 177-186. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.08.017>
- Zhang, X. & Wang, Y. (2007). *Research on the evaluation and selection of partner in knowledge share between logistics enterprises based on AHP-TOPSIS*. In 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 4367-4370.