

PAPER DETAILS

TITLE: TÜRKİYE'DE İLLERİN DEPREM HASAR GÖREBİLİRLİK SIRALAMASINDA PROMETHEE, VIKOR, TOPSIS YÖNTEMLERİNİN BASARILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

AUTHORS: Ezgi GÜLER,Selen AVCI,Zerrin ALADAG

PAGES: 414-437

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1793239>

TÜRKİYE'DE İLLERİN DEPREM HASAR GÖREBİLİRLİK SIRALAMASINDA ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİNİN BAŞARISININ COPELAND YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ezgi GÜLER^{1*}, Selen AVCI², Zerrin ALADAĞ³

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Bilecik

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8789-8244>

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kocaeli

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-7433-5696>

³Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kocaeli

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5986-7210>

Anahtar Kelimeler	Öz
Afet Yönetimi, ÇKKV, Deprem Hasar Görebilirlik Değerlendirmesi Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı	<i>Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi; afet yönetiminde zarar azaltma, hazırlıklı olma, müdahale ve iyileştirme aşamaları için önemlidir. Söz konusu karar problemi, değerlendirme sürecinde birden fazla kriterin dikkate alınmasını gerektirdiğinden çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak modellenilmektedir. Bu çalışmada, deprem hasar görebilirlik değerlendirme için farklı ÇKKV yöntemlerinin sonuçlarını entegre eden bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda AHP, PROMETHEE, VIKOR, TOPSIS ve Copeland yöntemleri kullanılmıştır. Karar sürecinde altı deprem hasar görebilirlik değerlendirme kriteri kullanılarak Türkiye'de deprem tehlikesi altındaki yirmi dokuz ilin deprem hasar görebilirlik durumu değerlendirilmiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda AHP yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılmıştır. PROMETHEE, VIKOR ve TOPSIS yöntemleriyle illere ait deprem hasar görebilirlik sıralamaları elde edilmiştir. Sıralama sonuçları Copeland yöntemi ile uzlaşık sıra altında birleştirilmiş ve illere ait nihai sıralama sonucuna ulaşılmıştır. Spearman sıra korelasyon katsayıları hesaplanarak elde edilen sıralamalar arasındaki ilişkilerin yönü ve derecesi incelenmiştir. Copeland yöntemi ile elde edilen nihai sıralamanın PROMETHEE, VIKOR ve TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralama sonuçları ile ilişki yönü "pozitif" ve derecesi "çok yüksek" olarak elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, önerilen yaklaşımın ÇKKV yöntemlerinin farklı değerlendirme sonuçlarını entegre edebileceğini ve deprem hasar görebilirliğin kapsamlı bir değerlendirmesini üretebileceğini göstermektedir.</i>

EVALUATION OF THE SUCCESS OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING TECHNIQUES IN EARTHQUAKE VULNERABILITY RANKING OF PROVINCES IN TURKEY VIA THE COPELAND METHOD

Keywords	Abstract
Disaster Management, MCDM, Earthquake Vulnerability Assessment, Spearman Rank Correlation Coefficient	<i>Earthquake vulnerability assessment is important for mitigation, preparedness, response, and recovery stages in disaster management. The decision problem in question can be modeled as a multi-criteria decision-making (MCDM) problem since it requires the consideration of more than one criterion in the evaluation process. This study proposes an approach that integrates the results of different MCDM methods for earthquake vulnerability assessment. AHP, PROMETHEE, VIKOR, TOPSIS and Copeland methods are used in the proposed approach. In the decision process, the earthquake vulnerability of twenty-nine provinces in Turkey under earthquake risk is evaluated by using six earthquake vulnerability assessment criteria. In line with the expert opinions, the criteria are weighted with the AHP method. The earthquake vulnerability rankings of the provinces are obtained using PROMETHEE, VIKOR and TOPSIS methods. The ranking results are combined with the Copeland method under consensus order and the final ranking result for the provinces is achieved. The direction and degree of the relationships between the ranks obtained by calculating the Spearman rank correlation coefficients are examined. The relation direction of the final ranking obtained by Copeland method and the ranking results obtained by PROMETHEE, VIKOR and TOPSIS method is found to be "positive" and the degree "very high". The results show that the proposed approach can integrate different assessment results of MCDM methods and produce a comprehensive assessment of earthquake vulnerability.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 28.05.2021	Submission Date : 28.05.2021
Kabul Tarihi : 02.09.2021	Accepted Date : 02.09.2021

*Sorumlu yazar; e-posta : ezgigulerrr@gmail.com

1. Giriş

Afet, farklı kurumların iş birliğini gerektiren, fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara sebep olan, toplumsal faaliyetleri durduran ya da kesintiye uğratan doğal, teknolojik ve insan kökenli olaylardır (Erkal ve Değerliyurt, 2009). Deprem, sel, kasırga, heyelan, volkanik patlama gibi olaylar küresel doğal afetlerdir (Shayannejad ve Angerabı, 2014). Doğal afetler arasında özellikle depremlerin yıkıcı güçleri yüksek ve etki alanları geniştir. 1980-2020 yılları arası dönem için dünya çapındaki tüm afetlerin %12.2'sini depremler oluşturmaktadır. Kamranzad, Memarian ve Zare (2020) çalışmalarında depremlerin olası olumsuz sonuçlarından sık olarak etkilenen ilk 5 ülkenin sırasıyla Çin, Endonezya, İran, Türkiye ve Japonya olduğunu ifade etmişlerdir.

Son zamanlarda sismik faaliyetlerin oluşturduğu risklere ilişkin farkındalık artmıştır. Bu bağlamda deprem konusunda “afet yönetimi” kavramı afet sürecinin başarılı yönetimi ve fiziksel, sosyoekonomik, çevresel sistemlerin sürdürülebilirliği için gerekli ve önemlidir (Elwood, Filippova, Noy ve Paz, 2020). Afet yönetimi; zarar azaltma, hazırlıklı olma, müdahale ve iyileştirme olmak üzere dört aşamayı kapsamaktadır. Zarar azaltma ve hazırlık aşamaları afet öncesi yapılacak çalışmaları içermekte olup proaktif yaklaşımları ifade etmektedir. Müdahale ve iyileştirme aşamalarında ise afet sonrası reaktif çalışmalar planlanmaktadır (Özmen ve Özden, 2013). Zarar azaltma aşaması, tehlikelerin belirlenmesi, risk değerlendirmesi, afet etkilerini azaltma planlarının hazırlanması ve mevcut azaltma önlemlerinin iyileştirilmesi gibi faaliyetlerden oluşur. Hazırlık aşamasında, muhtemel afet ve acil durum bölgelerinin tespiti ve önleyici tedbirlerin ilan edilmesi, insani yardım esaslarının belirlenmesi gibi faaliyetler planlanmaktadır. Müdahale aşamasında, koruyucu ve kurtarıcı faaliyetlerin yürütülmesi, afet ve acil durum yönetimi merkezlerinin afet anında koordineli şekilde çalışmalarının sağlanması gibi faaliyetler bulunmaktadır. İyileştirme aşaması, afet ve acil durum sonrası hayatın normale dönmesini sağlayıcı tedbirleri almak, geçici yerleşmeyi sağlamak, afetzedelerin tedavi, sosyal ve psikolojik destek hizmetlerini yürütmek gibi faaliyetleri kapsamaktadır (Karaman, 2017).

Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi, tehlike afet yönetiminde zarar azaltma ve hazırlık aşamaları için kritik bir adımdır. Hasar görebilirlik, Birleşmiş Milletler / Uluslararası Afet Azaltma Stratejisi tarafından “fiziksel, ekonomik ve çevresel

faktörleri birleştiren ve sistemin tehlikeye karşı duyarlılığını artıran bir durum” olarak tanımlanmaktadır. Hasar görebilirlik kavramı olası bir depremin meydana gelmesi durumunda etkilenen alanların risk analizi ile ilgilidir (Joem, 2007; Peng, 2015). Depreme karşı alansal hasar görebilirliğin değerlendirilmesi ve ilgili alanların birbiriyle kıyaslanması karmaşık bir sorundur ve nüfus yoğunluğu, ekonomik kalkınma ve yaşamsal sistemler gibi birçok faktörü içerir. Bu nedenle, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak modellenebilir ve ÇKKV yöntemleriyle çözülebilir (Zavadskas ve Turskis, 2011).

Bu çalışmada, ÇKKV tekniklerinden TOPSIS, PROMETHEE ve VIKOR teknikleri kullanılarak alansal deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için hibrit bir yaklaşım önerilmektedir. Türkiye’de en büyük yer ivmesi bakımından deprem tehlikesi yüksek olan bazı iller değerlendirilmiştir. Farklı ÇKKV yöntemleri ile illere ait deprem hasar görebilirlik sıralamaları elde edilmiştir. Yöntemlerden elde edilen sıralamaları tek bir sıralamada birleştirmek için Copeland Tekniği kullanılmıştır. Sıralamalar arasındaki ilişkinin yönünü ve sıralamaların benzerliklerini ölçmek amacıyla Spearman Sıra Korelasyon Katsayıları hesaplanmıştır. Önerilen ÇKKV modeli, yirmi dokuz il ve altı adet deprem hasar görebilirlik değerlendirme kriterini kapsamaktadır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Deprem hasar görebilirlik ve risk değerlendirmesi birden fazla karar verme kriteri ve alternatifi içerdiği için çok kriterli karar verme yaklaşımları ile incelenabilmektedir. Konu ile ilgili çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanıldığı bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Shayannejad ve Angerabı (2014) çalışmalarında İran’daki Tahran belediyesinin 6. Bölgesinin deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için çok kriterli karar verme modeli önermişlerdir. Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesinde yer alan kriterlerin önem derecelerini elde etmek için AHP yöntemini kullanmışlardır. Normalizasyon işlemi için Bulanık Mantıktan yararlanmışlardır. Peng (2015), 31 adet Çin bölgesinin deprem risk değerlendirmesi için 6 farklı çok kriterli karar verme yönteminin sonuçlarını entegre eden bir yaklaşım önermiştir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden elde edilen sonuçlar için Spearman Sıra Korelasyon Katsayılarını hesaplamıştır. Alizadeh, Ngah, Hashim, Pradhan ve Pour (2018),

deprem riski değerlendirmesinde bileşik bir sosyal, ekonomik, çevresel ve fiziksel kırılganlık indeksi oluşturmak için Analitik Ağ Süreci (ANP) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) modellerini kullanarak yeni bir hibrit çerçeve geliştirmişlerdir. Bir deprem zafiyet haritası oluşturmak ve sayısal zafiyet göstergelerini belirlemek için CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) kullanılmıştır. Nyimbili, Erden ve Karaman (2018), deprem afet izleme ve risk analizi için CBS ile entegre edilmiş Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP) ve İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (TOPSIS) kullanmışlardır. Örnek olay incelemesi için İstanbul, Küçükçekmece ilçesini belirlemişlerdir. Kumlu ve Tüdeş (2019), Yalova Şehir Merkezindeki deprem riski alanlarını belirlemek için CBS tabanlı AHP ve TOPSIS'i kullanmışlardır. Chen, Chen ve Chen (2019), Çin'in doğal afet riskini bölgesel ölçekte değerlendirmek için yeni çok kriterli karar verme yöntemi önermişlerdir. Değerlendirme endeksi sistemi, doğal afet tehlikesini ve etkilenen bölgenin savunmasızlığını yansıtan 28 göstergeden oluşmaktadır. Önerilen yöntem, Çin bölgelerinin kümelenmesini, görselleştirilmesini ve sıralanmasını içermektedir. Yariyan, Zabihi, Wolf, Karami ve Amirian (2020) depremden etkilenebilirliğin kapsamını demografik, çevresel ve fiziksel kriterlere göre değerlendirmeyi ve analiz etmeyi amaçlamışlardır. Yapay Sinir Ağları ile birleştirilen Bulanık AHP modeli (FAHP-YSA) kullanılarak bir deprem risk değerlendirme haritası oluşturulmuştur. FAHP-ANN uygulamasının CBS ile birleştirilmesi, depremden etkilenebilirlik kriterleri katmanlarına ağırlık atamayı mümkün kılmıştır. Jena, Pradhan, Beydoun, Nizamuddin, Sofyan ve Affan (2020 (a)), deprem risk haritası oluşturmak için Yapay Sinir Ağı-Analitik Hiyerarşi Süreci (YSA-AHP) yöntemlerini kullanarak bütünleşmiş bir model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Jena, Pradhan ve Beydoun (2020 (b)) AHP, VIKOR ve GIS kullanarak deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için çok kriterli karar verme modeli önermişlerdir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için ÇKKV yaklaşımı

önerilmiştir. Belirlenen deprem hasar görebilirlik değerlendirme kriterleri uzman görüşleri doğrultusunda AHP ile ağırlıklandırılmıştır. PROMETHEE, TOPSIS VE VIKOR yöntemleri ile illerin hasar görebilirlik sıralamaları elde edilmiştir. Yöntemlerden elde edilen sıralamalar Copeland yöntemi ile tek bir sıralamada birleştirilmiştir. Çalışma konusu ile alakalı olarak Copeland yöntemi ile uzlaşık sıranın elde edilmesine literatürde rastlanmamıştır. ÇKKV yöntemlerinden elde edilen tüm sıralamalar arasındaki ilişkilerin derecesi ve yönü için Spearman sıra korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

3. Yöntem

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyulmuş olup çalışma kapsamı herhangi bir yasal/özel izin alınmasını gerektirmemiştir. Asya ve Avrupa kıtalarının birleşim noktasında bulunan Türkiye, 36-42° kuzey enlemleri ve 26-45° doğu meridyenleri arasındadır ve 783.562 Km2 toplam alana sahiptir (Avcıoğlu, Dayıoğlu ve Türker, 2019). Aktif deprem bölgesi olan ülkenin deprem tehlike haritası Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanmıştır (AFAD, 2018). Bu çalışmada deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi bir karar problemi olarak ele alınmıştır. Alansal olarak deprem hasar görebilirlik durumunun sıralanması için belirlenen iller; Aydın, Balıkesir, Bilecik, Bolu, Bingöl, Burdur, Bursa, Çanakkale, Çankırı, Denizli, Düzce, Erzincan, Tunceli, Hatay, Isparta, İzmir, Karabük, Kırşehir, Kocaeli, Manisa, Muğla, Muş, Osmaniye, Sakarya, Siirt, Tokat, Kırıkkale, Bartın ve Yalova'dır. Değerlendirme kapsamındaki iller, AFAD tarafından hazırlanan deprem tehlike haritasında en büyük yer ivme değerlerine sahip olan ve deprem tehlikelerinin yüksek olduğu bilinen illerdir. İllerin belirlenmesi için çalışmada ayrıca İnşaat Mühendisleri Odası'nın (İMO) deprem bölge tablosu kullanılmıştır (İMO, 2018). Deprem hasar görebilirlik değerlendirme kriterleri literatür araştırması ile belirlenmiştir. Belirlenen kriterler Tablo 1'de bulunmaktadır.

Tablo 1
Deprem Hasar Görebilirlik Değerlendirme Kriterleri

Kod	Kriter	Birim	Tanım	Veri Kaynağı	Referans
C1	Nüfus Yoğunluğu	Toplam nüfus/Km ²	Nüfus yoğunluğu, birim alandaki nüfus miktarı veya yaygın tanımı ile Km ² başına düşen nüfus miktarıdır. Nüfus yoğunluğunun fazlalığı deprem hasar görebilirliğini yükseltir.	TÜİK Coğrafi İstatistik Portalı (TÜİK, 2021)	Tate, 2012; Yavaşoğlu ve Özden, 2017; Yariyan ve diğ., 2020; Jena ve diğ., 2020(a)
C2	Ortalama Hanehalkı Büyüklüğü	Toplam hanehalkı nüfusu / Toplam hanehalkı sayısı	Ortalama hane büyüklüğü, hanehalkı nüfusunun hane halkı sayısına oranı ile bulunur. Yüksek ortalama hane büyüklüğü deprem hasar görebilirliği artırmaktadır.	TÜİK Coğrafi İstatistik Portalı (TÜİK, 2021)	Yariyan ve diğ., 2020; Jena ve diğ., 2020(b)
C3	Toplam Konut Sayısı	Adet	Fazlalık konut inşaatları yerine kentsel dönüşüm anlayışını benimsemek ve konutların yoğunluk bakımından eşit şekilde dağılımını sağlamak deprem hasar görebilirliğini azaltır.	DASK Etkileşimli Deprem Haritası (DASK, 2021)	Jena ve diğ., 2020(a)
C4	Toplam OSB ve Ar-Ge Merkezi sayısı	Adet	Ar-Ge ve endüstriye yapılan yatırımlar beraberinde yüksek bir refah düzeyini getirir. Sanayi ve Ar-Ge merkezleri sayıca fazla olan gelişmiş bir bölgede olası bir deprem, ekonomiye ve insan ihtiyaçlarına olumsuz etki yaratır.	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021)	Jena ve diğ., 2020(a); Jena ve diğ., 2020(b)
C5	Kişi Başına GSYİH	Türk lirası	Kişi başına GSYİH, bir ülkenin veya bölgenin gayri safi yurtiçi hasılasının nüfusa bölünmesiyle elde edilir. Kişi başına düşen GSYİH yüksek olan bir alanda, ilgili bölgenin olası bir depremin olumsuz sonuçlarından etkilenmesi önemlidir.	TÜİK Coğrafi İstatistik Portalı (TÜİK, 2021)	Peng, 2015; Murnane ve diğ., 2017
C6	Örtüaltı Tarım Alanı	Dekar	Olası bir deprem sonrası yoğun tarım arazisine sahip bölgelerin hasar görebilirlik durumu insan sağlığını ve ekonomiyi etkiler.	Tarım ve Orman Bakanlığı (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021)	Sinha, Priyanka ve Joshi, 2016

İller ve deprem hasar görebilirlik değerlendirme kriterleri belirlendikten sonra 2019 yılına ait kriter verileri temin edilmiştir. Karar matrisi olarak kullanılacak veri seti Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2
İllere ait Veri Seti (Karar Matrisi)

Kriterler İller	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Aydın	136.887	2.89	284,97	17	37,889	12,717
Balıkesir	84.250	2.71	335,71	20	44,302	663
Bilecik	52.507	2.95	51,2	13	57,069	3,692
Bolu	38.028	3.00	58,66	7	54,156	57
Bingöl	34.959	3.75	30,78	1	27,322	44
Burdur	37.742	2.76	63,03	4	42,289	9,843
Bursa	282.634	3.26	670,75	147	58,957	1,193
Çanakkale	55.226	2.63	126,59	5	53,68	738
Çankırı	25.960	2.79	50,15	7	37,589	120
Denizli	85.479	2.98	251,5	18	46,529	1,683
Düzce	157.370	3.34	68,47	15	43,749	106
Erzincan	19.869	3.00	45,87	4	47,288	242
Tunceli	11.164	2.72	16,22	1	47,83	6
Hatay	294.876	3.80	274,47	10	31,899	11,456
Isparta	49.733	2.86	121,58	4	41,229	4,942
İzmir	367.274	2.95	1,120,220	107	60,554	14,016
Karabük	59.985	2.83	56,63	3	38,715	584
Kırşehir	36.898	3.10	60,69	3	33,772	170
Kocaeli	574.929	3.43	421,37	139	81,228	2,47
Manisa	108.000	3.07	309,46	40	49,467	2,738
Muğla	77.694	2.82	241,65	2	56,463	39,048
Muş	47.261	5.23	31,41	1	23,327	150
Osmaniye	162.277	3.80	89,67	5	29,967	50
Sakarya	213.443	3.43	194,19	32	49,757	689
Siirt	57.772	5.03	33,41	1	26,592	56
Tokat	61.018	3.18	127,32	5	26,902	1,17
Kırıkkale	59.073	2.98	75,15	3	39,246	16
Bartın	85.085	2.99	30,62	1	32,19	1,768
Yalova	339.569	3.03	79,59	11	55,029	3,879

Tablo 1’de bulunan kriterlerin karar verme sürecindeki maksimizasyon ve minimizasyon yönü tüm kriterler için “maksimizasyon” olarak belirlenmiştir. İlgili kriterlerdeki nicel artışlar deprem hasar görebilirlik düzeyi için artış anlamına gelmektedir.

Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için kullanılan ÇKKV yöntemleri sonraki bölümlerde anlatılmıştır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1 AHP (Analitik Hiyerarşi Proses)

ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemi, Thomas L. Saaty tarafından (1977) yılında geliştirilmiştir (Saaty, 1977). Bu yöntem sayesinde uzmanların kriter ağırlıklarını göz önüne alarak, maksimum faydayı sağlayacak kararları vermeleri amaçlanmıştır (Oral, Yumuşak ve Eren, 2021). AHP yönteminde alternatif ve kriterler hiyerarşik bir yapıyla değerlendirilmektedir (Deringöz, Danışan

ve Eren, 2021). AHP yönteminin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ceylan ve Gürsev, 2020):

Adım 1: Belirlenen karar problemi için alternatifleri ve kriterleri içeren hiyerarşik yapı oluşturulur.

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. İkili karşılaştırmalar 1-9 puanlık skalaya dayanarak

hazırlanır. Saaty tarafından önerilen önem skalası Tablo 3' de verilmiştir (Oral ve diğ., 2021). İkili karşılaştırma matrisinde i kriterinin j kriterine göre önem derecesi a olarak belirlendiyse j kriterinin i kriterine göre önem derecesi $1/a$ olarak tanımlanır.

Tablo 3

Saaty Tarafından Önerilen Karşılaştırma Skalası (Kaynak: Wang, Liu & Elhag, 2008)

Değer	Tanım
1	Eşit Önemli
3	Biraz daha fazla önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede daha önemli
9	En üstün şekilde önemli
2,4,6,8	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere ara değerler

Uzmanlara ait eşleştirilmiş karşılaştırma matrisleri Eşitlik (1)'deki gibi oluşturulur. Karar sürecinde birden fazla uzman var ise, uzmanların görüşlerini belirten matris elemanlarının geometrik ortalaması alınarak tek bir matris oluşturulur (Ceylan ve Gürsev, 2020).

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & d_{ij} & \vdots \\ d_{n1} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 3: Her sütun elemanı, bulunduğu sütunun toplamına bölünerek normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Elde edilen satırların ortalaması alınarak "öncelikler vektörü" bulunur ve "görelî önem ağırlıkları (W_i)" hesaplanır (Oral ve diğ., 2021).

Adım 4: En büyük özdeğer ve özdeğere karşılık gelen özvektör " $\lambda_{\max}$ " hesaplanır. Öncelikler vektörü

ile başlangıçtaki karşılaştırma matrisi çarpılarak "Tüm öncelikler matrisi" elde edilir. Tüm öncelikler matrisinin elemanları öncelikler vektörü elemanlarına bölünür. $\lambda_{\max}$ elde edilen değerlerin ortalamasıdır (Uzun ve Kazan, 2016).

Adım 5: Tutarlılık indeksi (CI) ve tutarlılık oranı (CR) Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Burada n kriter sayısını ve RI rassal indeksi ifade etmektedir. RI tablosu Tablo 4'te bulunmaktadır.

Tablo 4

RI Tablosu (Kaynak: Wang ve diğ., 2008)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

CR'nin 0.10'dan küçük çıkması durumunda karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğuna karar verilir.

3.2 PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Metod for Enrichment Evaluation)

PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Metod for Enrichment Evaluation), Brans (1982) tarafından geliştirilmiş çok kriterli bir öncelik belirleme yöntemidir. PROMETHEE, literatürde yer

alan mevcut yöntemlerin uygulama aşamasındaki zorluklarından yola çıkılarak geliştirilmiş ve günümüze kadar birçok çalışmada yer almıştır. Yöntemde, seçilen kriterler göz önünde bulundurularak alternatifler arasında tercih fonksiyonlarına dayanan ikili karşılaştırmalar yapılır (Dinçer, Ekin ve Karakaş, 2017).

PROMETHEE yönteminin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Dağdeviren ve Eraslan, 2008):

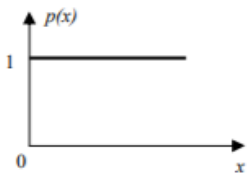
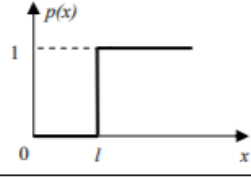
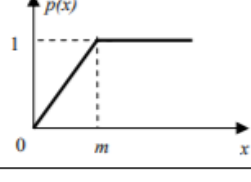
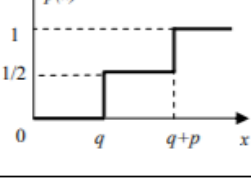
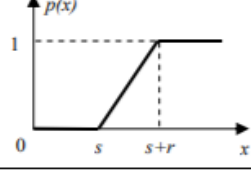
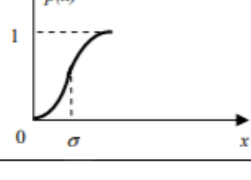
Adım 1: Tablo 5'te gösterildiği şekilde alternatifler, kriterler ve kriter ağırlıklarından oluşan karar matrisi oluşturulur (Oluşturulan karar matrisi çalışmadaki diğer yöntemler için de geçerlidir).

Tablo 5
Karar Matrisi

Kriterler/Alternatifler	a	b	c	...n	Kriter Ağırlıkları (W)
f_1	f_{1a}	f_{1b}	f_{1c}	...	W_1
f_2	f_{2a}	f_{2b}	f_{2c}	...	W_2
...	...	...	...	...	...
f_i	f_{ia}	f_{ib}	f_{ic}	... f_{ij}	W_i
...	...	...	...	...	...
f_m	f_{ma}	f_{mb}	f_{mc}	... f_{mn}	W_m

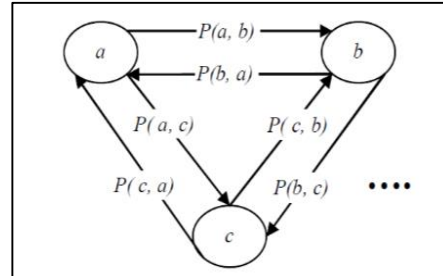
Adım 2: Her bir kriter için Şekil 1'de gösterilen altı tip tercih fonksiyonundan biri tanımlanır. (Dinçer ve diğ., 2017). Uzman, tercih fonksiyonları ile alternatifleri kriter bazında kendi belirlediği değerlerle sınırlandırabilir. PROMETHEE yönteminde tercih fonksiyonlarının doğru seçilmesi sonuçları güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Uzman için ilgili değerlendirme kriteri açısından herhangi bir tercih söz konusu değilse, o değerlendirme kriteri açısından seçilecek tercih fonksiyonu Birinci Tip (olağan) tercih fonksiyonu olmalıdır. Uzman, tercihi ilgili kriter açısından kendi belirlediği bir değer üstünde değere sahip alternatiflerden yana kullanmak istiyorsa, seçilecek tercih fonksiyonu İkinci Tip (U tipi) tercih fonksiyonu olmalıdır. Uzman, tercihi ortalamanın üstünde değere sahip

alternatiflerden yana kullanmak istiyorsa ancak bu değer altındaki değerleri de ihmal etmek istemiyorsa, seçilecek tercih fonksiyonu Üçüncü Tip (V tipi) tercih fonksiyonu olabilir. Uzmanın tercihi belirli bir değer aralığı belirleyecekse, seçilecek tercih fonksiyonu Dördüncü Tip (seviyeli) tercih fonksiyonu olmalıdır. Uzman ortalamanın üstünde değere sahip alternatifleri tercih etmek istiyorsa, kullanılacak tercih fonksiyonu Beşinci Tip (doğrusal) fonksiyon olmalıdır. Tercihi ilgili değerlendirme kriteri değerlerinin ortalamadan sapmaları belirleyici olacaksa, seçilecek tercih fonksiyonu Altıncı Tip (Gaussian) tercih fonksiyonu olmalıdır (Şenkayas ve Hekimoğlu, 2013).

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	l	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	m	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Lineer)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x \leq s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

Şekil 1. Kriterler için Tercih Fonksiyonları (Kaynak: Dağdeviren ve Eraslan, 2008)

Adım 3: Tercih fonksiyonları baz alınarak belirlenen alternatif çiftleri için ortak tercih fonksiyonları Şekil 2'de gösterilmiş olup; a ve b alternatifleri için ortak tercih fonksiyonu Eşitlik (4) ile belirlenir.



Şekil 2. Ortak Tercih Fonksiyonunun Şematik Gösterimi

$$p(a, b) = \begin{cases} 0, & f(a) \leq f(b) \\ P[f(a) - f(b)], & f(a) \geq f(b) \end{cases} \quad (4)$$

Adım 4: Ortak tercih fonksiyonlarından hareketle alternatiflerin birbiri üzerindeki indeksleri belirlenir. W_i ($i=1, 2, \dots, m$) ağırlıklarına sahip olan i kriter tarafından değerlendirilen a ve b alternatiflerinin tercih indeksi Eşitlik (5) ile hesaplanır.

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^m W_i \times P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^m W_i} \quad (5)$$

Adım 5: Alternatiflerin pozitif üstünlükleri (Φ^+) ve negatif üstünlükleri (Φ^-) belirlenir. Pozitif üstünlükler Eşitlik (6), negatif üstünlükler ise Eşitlik (7) ile hesaplanır.

$$\Phi^+(a) = \sum \pi(a, x) \quad x = (a, c, d \dots) \quad (6)$$

$$\Phi^-(a) = \sum \pi(x, a) \quad x = (b, c, d \dots) \quad (7)$$

Adım 6: PROMETHEE I ile kısmi öncelikler elde edilir. Ancak uzman PROMETHEE I her zaman alternatiflerin tam sıralanmasını sağlamayabilir. Kısmi öncelikler alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırılamayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar. a ve b gibi iki alternatif için kısmi önceliklerin belirlenmesinde üç durum söz konusudur (Dağdeviren ve Eraslan, 2008):

Durum 1: Eşitlik (8), Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) koşullardan biri sağlanırsa, a alternatifi b alternatifine üstündür.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (8)$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (9)$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (10)$$

Durum 2: Eşitlik (11) koşulu sağlanırsa a alternatifi b alternatifinden farksızdır.

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (11)$$

Durum 3: Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) koşullarından biri sağlanıyorsa a alternatifi ile b alternatifi karşılaştırılmaz.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \quad (12)$$

$$\Phi^+(a) < \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (13)$$

Adım 7: PROMETHEE II ile alternatifler için tam öncelikler Eşitlik (14) ile hesaplanır. Hesaplanan tam öncelik değerleri ile nihai sıralama bulunur.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (14)$$

3.3 VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) Opricovic (1998) tarafından literatüre kazandırılmıştır. VIKOR, birden fazla kriter ile değerlendirilmesi gereken karar problemlerinde en iyi alternatifin ve uzlaşık çözümün belirlenmesi yönelik mantıksal bir arama sürecidir (Mardani, Zavadskas, Govindan, Amat Senin ve Jusoh, 2016).

VIKOR yönteminin temel adımları kısaca açıklanmıştır (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008):

Adım 1: Tablo 5'teki karar matrisinde her bir kriter için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlenir. Kriterin model üzerinde fayda etkisi varsa Eşitlik (15) ve Eşitlik (16); maliyet etkisi varsa Eşitlik (17) ve Eşitlik (18) kullanılır. Denklemlerde i kriterleri j ise alternatifleri ifade etmektedir.

$$f_i^* = \min f_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (15)$$

$$f_i^- = \max f_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (16)$$

$$f_i^* = \max f_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (17)$$

$$f_i^- = \min f_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (18)$$

Adım 2: Karar matrisi normalize edilir ve ağırlıklandırılır (w_i). Eşitlik (19) ve Eşitlik (20) kullanılarak her bir alternatif için S_j ve R_j değerleri hesaplanır. S_j j . alternatifin pozitif ideal çözüme uzaklığını; R_j ise aynı alternatifin negatif ideal çözüme uzaklığını ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \frac{(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

$$R_j = \max[w_i \frac{(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)}] \quad (20)$$

Adım 3: v , maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin ağırlığı; $(1-v)$, karşıt görüştekilerin pişmanlığını gösteren stratejinin ağırlığı olmak üzere Eşitlik (21) kullanılarak her bir alternatif için Q_j değeri hesaplanır. v değeri 0.50'den büyük seçildiğinde, çoğunluğun Q_j endeksine olumlu tutumda olduğu, v değeri 0.50'den küçük seçildiğinde çoğunluğun Q_j endeksine olumsuz

tutumunda olduğu anlamı yüklenmektedir. Maksimum grup faydası için $v > 0,5$ çoğunluk tercihini, $v=0,5$ uyuşmayı ve $v < 0,5$ vetoyu temsil etmektedir (Ertuğrul ve Özçil, 2014).

Genel olarak, v değeri 0.50 olarak belirlenerek uzman grubunun uzlaşmacı bir tavırda olduğu varsayılmaktadır (Paksoy, 2015). Grup kararı ile belirlenen v ağırlığı, n kriter sayısını göstermek üzere; $v = (n + 1)/2n$ işlemi ile de belirlenebilmektedir (Opricović, 2009; Çakır ve Özdemir, 2016).

$$Q_j = v \frac{(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (21)$$

Burada;

$$S^* = \min_j S_j, \quad S^- = \max_j S_j \\ R^* = \min_j R_j, \quad R^- = \max_j R_j$$

Adım 4: Alternatifler Q_j değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır.

Adım 5: Elde edilen sıralamada birinci olarak yer alan alternatifin en iyi alternatifi temsil edip etmediğine dair kararının verilmesi için geçerlilik testleri uygulanır. Sonuçların geçerli olması durumunda minimum Q değerine sahip alternatif en iyi alternatiftir. Geçerlilik testinin iki koşulu bulunmaktadır.

Koşul 1: Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu

Birinci ve ikinci seçenek arasında belirgin bir fark olup olmadığını araştırır. $Q_2 - Q_1 \geq DQ$ olduğunda bu koşul sağlanır.

Burada;

Q_1 : İlk sırada yer alan alternatifin Q değeri,

Q_2 : İkinci sırada yer alan alternatifin Q değeri,

j alternatif sayısı olmak üzere $j < 4$ ise; DQ 0.25 olarak alınır. Diğer durumlarda; $DQ = 1/(j - 1)$ 'dir.

Koşul 2: Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu

Elde edilen sıralamada uzlaşık çözümün istikrarının kabul edilmesi için sağlanması gereken diğer şarttır. Bu koşula göre, en küçük Q (Q_1) değerine sahip alternatifin S ve R değerlerinin en az bir tanesi de en iyi değere sahip olmalıdır.

İki koşul da sağlanırsa, elde edilen sıralamanın istikrarlı ve kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmış olur. Eğer koşullardan bir tanesi sağlanmazsa,

uzlaşık çözüm kümesi oluşturulur. Koşul 1 sağlanmıyor ise tüm alternatifler ($j=1, 2, \dots, m$) için Eşitlik (22)'de verilen koşul araştırılır ve bu koşulu sağlayan alternatifler çözüm kümesine dahil edilir.

$$QA_j - QA_1 < DQ \quad (22)$$

Eğer Koşul 2 sağlanmaz ise çözüm kümesi A_1 ve A_2 alternatiflerinden oluşur.

3.4 TOPSIS (Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution)

ÇKKV tekniklerinden biri olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi Yoon ve Hwang (1981) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, en çok tercih edilen alternatifin, pozitif ideal çözüme en yakın uzaklıkta ve aynı zamanda negatif ideal çözüme en uzak alternatifin olduğu fikrine dayanmaktadır (Özcan, Ünlüsoy ve Eren, 2017). TOPSIS yönteminin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Adım 1: Tablo 5'teki karar matrisi oluşturulduktan sonra matristeki tüm değerlerin, bu değerlerin bulunduğu sütundaki değerlerin toplam karelerinin kareköküne bölünmesiyle standart karar matrisi (R) oluşturulur. Normalleştirme işlemi için Eşitlik (23)'teki formül kullanılır (Korkmaz, 2019).

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m f_{ij}^2}} \quad (23)$$

R matrisi Eşitlik (24)'teki gibi elde edilir. m toplam kriter sayısı ve n toplam alternatif sayısı olmak üzere $i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, n$ 'dir.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Adım 2: Ağırlıklı standart karar matrisi (V) oluşturulur. Değerlendirme kriterlerine ilişkin ağırlık değerleri (W_i) belirlendikten sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili W_i değeri ile çarpılır.

Adım 3: İdeal (A^+) ve negatif ideal (A^-) çözümler Eşitlik (25) ve Eşitlik (26)'daki denklemler ile oluşturulur. Denklemlerde I fayda (maksimizasyon), I' ise kayıp (minimizasyon) kriter fonksiyonlarını göstermektedir (Orçun ve Eren, 2017).

$$A^+ = \left\{ (\max_j v_{ij} | i \in I), (\min_j v_{ij} | i \in I') \right\} \quad (25)$$

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$$

$$A^- = \left\{ (\min_j v_{ij} | i \in I), (\max_j v_{ij} | i \in I') \right\} \quad (26)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

Adım 4: Pozitif ideal ayırım (S_j^+) ve negatif ideal ayırım (S_j^-) ölçüleri Eşitlik (27) ve Eşitlik (28)'deki gibi hesaplanır.

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (27)$$

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (28)$$

Adım 5: Alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlığı (RC) Eşitlik (29)'daki denklem ile hesaplanır. Elde edilen değerler, büyükten küçüğe doğru sıralanır ve en büyük değere sahip alternatif en iyi olarak seçilir.

$$RC = \frac{S_j^-}{S_j^- + S_j^+} \quad (29)$$

3.5 Copeland Yöntemi

Literatürde “toplamsal sıralama kuralı”, “çarpımsal sıralama kuralı”, “Borda yöntemi” ve “Copeland yöntemi” gibi farklı ÇKKV yöntemlerinin sonuçlarından ortak ağırlıklı sıralama sonucu ortaya koyan bazı yöntemler bulunmaktadır (Özçil, 2020). Çalışmalarda sıklıkla kullanılan Borda yönteminin öznel yargılara açık olması nedeniyle Copeland yönteminin Borda yönteminden daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (Favardin, Lepelley ve Serais, 2002). Buna ek olarak diğer yöntemlere göre daha etkili ve istikrarlı bir yöntem olan Copeland yöntemi geniş bir nesne koleksiyonunun kısmi analizini kolaylaştırabilmektedir (Lestari, Adji ve Permanasari, 2018). Bu nedenle bu çalışmada Copeland yöntemi tercih edilmiştir.

Copeland yöntemi, Saari ve Merlin tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir (Saari ve Merlin, 1996). Copeland yöntemi, karar problemi için ikiden fazla ÇKKV yöntemi tercih edildiğinde yöntemlerden elde edilen sıralama başarıları hakkında

değerlendirmeyi sağlamakta ve elde edilen sıralamaları tek bir sıraya dönüştürebilmektedir. Yöntem adımları aşağıda verilmiştir (Yakut, 2020):

Adım 1: Alternatifler önem durumuna göre sıralanır. ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilen alternatif bir diğer alternatifte göre daha öncelikli bir sıradaysa 1 değerini; tersi durumda 0 değerini alarak ikili karşılaştırma matrisinde gösterimi yapılır. Bu ifade Eşitlik (30)'da verilmiştir.

$$f_s(i, j) = \begin{cases} 1, & s_k(A_i) < s_k(A_j) \\ 0, & s_k(A_i) > s_k(A_j) \quad i \neq j \\ \text{boş}, & s_k(A_i) = s_k(A_j) \end{cases} \quad (30)$$

Adım 2: Toplam oy sayısı hesaplanır. Alternatiflerin, ÇKKV yöntemlerinden elde ettiği toplam oy sayısı Eşitlik (31)'deki gibi belirlenir. Denklemde k sıra sayısı ve y kullanılan ÇKKV yöntem sayısıdır.

$$T(i, j) = \sum_{k=1}^y f_s(i, j), \quad i \neq j \quad (31)$$

Adım 3: Galibiyet, yenilgi ve beraberlik değerlendirmesi yapılır. Bu adımda $T(i, j)$ değerlerine göre her bir alternatif için Eşitlik (32)'deki denklemler uygulanır.

$$G(i, j) = \begin{cases} 1, & T(i, j) > (y - T(i, j)) \\ \frac{1}{2}, & T(i, j) = (y - T(i, j)) \quad i \neq j \\ -1, & T(i, j) < (y - T(i, j)) \end{cases} \quad (32)$$

Adım 4: Alternatifler için Copeland puanı (CP_i) Eşitlik (33)'teki denklemlerle hesaplanır. n ; alternatif sayısıdır. Elde edilen puanlar küçükten büyüğe doğru sıralanarak karar problemindeki alternatifler için nihai sıralama belirlenir. GP_i = galibiyet puanı; BP_i = beraberlik puanı ve YP_i = yenilgi puanı olmak üzere;

$$GCP_i = GP_i + BP_i - YP_i \quad (33)$$

$$GP_i = \sum_{j=1}^n G(i, j), \quad G(i, j) > 0, \quad n$$

$$BP_i = \sum_{j=1}^n G(i, j), \quad G(i, j) = 1/2, \quad n$$

$$YP_i = \sum_{j=1}^n G(i, j), \quad G(i, j) < 0, \quad n$$

3.6 Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı

Spearman sıra korelasyon katsayısı, iki farklı stokastik dizi arasındaki istatistiksel bağımlılığın parametrik olmayan ölçüsüdür (Liu, Cho, Sun ve Qiu, 2010). Spearman sıra korelasyon katsayısı günümüzden yaklaşık bir asır önce literatüre kazandırılmıştır (Spearman, 1906). Bir popülasyon için Spearman sıra korelasyon katsayısı " ρ " sembolü ile gösterilir. Popülasyondan alınan bir örnek için ise " r " olarak belirtilir. Spearman sıra korelasyon katsayısı, analize tabi değişkenlerden biri veya her ikisi sıralı özellikler gösterdiğinde kullanılır. x ve y dizisi için Spearman sıra korelasyon katsayısının formülü Eşitlik (34)'de verilmiştir.

$$r = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \quad (34)$$

Denklemden, " d " farklı stokastik diziler arasındaki farktır. n toplam dizi sayısıdır. İki dizi söz konusu ise $n = 2$ olur. Değişkenler aynı sayıda gözleme sahip olmalıdır. r değeri $[0,1]$ aralık değerinde yer almaktadır. Spearman sıra korelasyon katsayısının mutlak değeri ne kadar yüksekse, iki değişken arasındaki ilişki o kadar güçlü kabul edilir. r değeri için 0.00-0.30 arası önemsiz ilişki, 0.30-0.50 arası düşük ilişki, 0.50-0.70 arası orta ilişki, 0.70-0.90 arası yüksek ilişki, 0.90-1.00 arası çok yüksek ilişkiyi ifade eder. Pozitif r değerleri değişkenler arasındaki pozitif ilişkiyi gösterirken, negatif

r değerleri değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğunu gösterir (Mukaka, 2012).

4. Bulgular

4.1 AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Karar süreci için uzman grubun bulunması durumunda, her uzmanın ayrı ayrı oluşturduğu ikili karşılaştırma matrisleri "geometrik ortalama yöntemi" kullanılarak tek bir ikili karşılaştırma matrisine dönüştürülür (Barzilai, 1996; Okan, Sarı ve Peker, 2016; Kocakaya, Engin, Tektaş ve Aydın, 2021).

Bu çalışmada kriter ağırlıklarını belirlemek için problem niteliklerine uygun olarak bir araya gelen ekibin uzmanlık alanları; şehir planlama, jeoloji mühendisliği ve endüstri mühendisliğidir. Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için ilgili uzmanların görüşleri alınmış ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Matris elemanlarının geometrik ortalaması alınarak "birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi" elde edilmiştir. AHP yöntem adımları izlenerek her bir kriterin görece önem ağırlıkları elde edilmiştir. CR (tutarlılık oranı) 0.046 olarak hesaplanmıştır. Dolayısı ile elde edilen karar matrisinin tutarlı olduğu söylenmektedir. Kriter temelinde ikili karşılaştırma matrisi ve kriterlerin görece önem ağırlıkları (w_i) Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6

Geometrik Ortalama Alınarak Elde Edilen İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	W_i (Kriter Ağırlıkları)
C1	1	1.817	2.621	1.817	2.621	3.000	0.296
C2	0.550	1	1.587	3.000	2.884	2.466	0.236
C3	0.382	0.630	1	1.817	1.260	4.642	0.172
C4	0.550	0.333	0.550	1	0.550	1.587	0.099
C5	0.382	0.347	0.794	1.817	1	2.621	0.130
C6	0.333	0.405	0.215	0.630	0.382	1	0.066

Elde edilen sonuçlara göre deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için belirlenen kriterler arasında önem düzeyi bakımından ilk öncelikteki kriter "nüfus yoğunluğu"dur. Daha sonra sırasıyla "ortalama hanehalkı büyüklüğü, toplam konut sayısı, kişi başına GSYİH, toplam OSB ve Ar-Ge merkezi sayısı ve örtüaltı tarım alanı" gelmektedir. Elde edilen kriter ağırlıkları (w_i) PROMETHEE,

VIKOR ve TOPSIS yöntem adımlarındaki kriter ağırlıklandırma için kullanılmıştır.

4.2 PROMETHEE ile Değerlendirme

Çalışmada öncelikle uzman görüşleri doğrultusunda tüm kriterler Beşinci Tip (doğrusal) tercih fonksiyonu ile değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları Tablo 6'da verilmiş olup Bölüm 4.1'de açıklandığı

üzere AHP yöntemiyle elde edilmiştir. Bölüm 4.1’de elde edilen kriter ağırlıkları ve Tablo 2’de yer alan illere ait karar matrisi kullanılarak PROMETHEE yöntem adımları uygulanmıştır. PROMETHEE

yöntemiyle elde edilen ilk sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7

PROMETHEE Yöntemi Sonuçları (Tüm Kriterler için Tercih Fonksiyonu: Beşinci Tip)

İller	Ph_i	Ph_i^+	Ph_i^-	Sıralama
Aydın	0.1835	0.3827	0.1992	8
Balıkesir	0.1205	0.3394	0.2189	12
Bilecik	0.0811	0.3075	0.2264	13
Bolu	-0.1516	0.1933	0.3448	19
Bingöl	-0.4397	0.0454	0.4851	29
Burdur	-0.1898	0.1640	0.3537	22
Bursa	0.4338	0.5092	0.0754	3
Çanakkale	-0.0265	0.2412	0.2677	15
Çankırı	-0.3262	0.1171	0.4433	25
Denizli	0.1445	0.3501	0.2056	10
Düzce	0.1627	0.3697	0.2070	9
Erzincan	-0.2899	0.1278	0.4176	23
Tunceli	-0.3909	0.0847	0.4756	28
Hatay	0.2170	0.3990	0.1820	7
Isparta	-0.1193	0.1947	0.3140	17
İzmir	0.5376	0.5621	0.0245	2
Karabük	-0.1452	0.1806	0.3258	18
Kırşehir	-0.3297	0.0935	0.4232	26
Kocaeli	0.5404	0.5635	0.0231	1
Manisa	0.2568	0.4217	0.1649	6
Muğla	0.1252	0.3311	0.2059	11
Muş	-0.3670	0.0769	0.4439	27
Osmaniye	-0.0006	0.2773	0.2779	14
Sakarya	0.3126	0.4496	0.1370	5
Siirt	-0.3019	0.1036	0.4055	24
Tokat	-0.1722	0.1730	0.3452	20
Kırıkkale	-0.1833	0.1602	0.3435	21
Bartın	-0.0794	0.2295	0.3089	16
Yalova	0.3975	0.4897	0.0922	4

İşlem adımları sonucunda deprem hasar görebilirlik bakımından ilk sırada yer alan il Kocaeli olarak bulunmuştur. Hasar görebilirlik değerlendirilmesinde son il Bingöl’dür.

Çalışmada uzmanların yargılarına göre değişim gösterebilen tercih fonksiyonları ile ilgili farklı bir yaklaşımda bulunabilmek adına tüm kriterler için

Dördüncü Tip tercih fonksiyonu da kullanılmıştır. Fonksiyonda q farksızlık değeri ve p kesin tercih eşiği olmak üzere iki parametre bulunmaktadır. Her bir kriter için alternatiflerin aldığı değerlerin ortalaması alınarak ortalamanın 0.33 katı p ; 0.67 katı ise $p+q$ olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu parametreler Tablo 8’de verilmiştir:

Tablo 8
Dördüncü Tip Fonksiyon için Parametreler

Kriter	p	p+q
C1: Nüfus yoğunluğu	41.574	83.148
C2: Ortalama hanehalkı büyüklüğü	1.072	2.145
C3: Toplam konut sayısı	61,164.713	122,329.425
C4: Toplam OSB ve Ar-Ge merkezi sayısı	7.195	14.391
C5: Kişi başına GSYİH	14,655.011	29,310.022
C6: Örtüaltı tarım alanı	1,313.862	2,627.724

PROMETHEE yönteminde tüm kriterler için belirlenen Dördüncü Tip tercih fonksiyonunun kullanılmasıyla edilen sonuçlar Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9
PROMETHEE Yöntemi Sonuçları (Tüm Kriterler için Tercih Fonksiyonu: Dördüncü Tip)

İller	Phi	Phi+	Phi-	Sıralama
Aydın	0.2403	0.3713	0.1309	6
Balıkesir	0.0794	0.2423	0.1629	9
Bilecik	-0.1125	0.1068	0.2193	15
Bolu	-0.2236	0.0308	0.2544	22
Bingöl	-0.3070	0.0042	0.3112	29
Burdur	-0.1913	0.0619	0.2532	19
Bursa	0.5004	0.5613	0.0609	3
Çanakkale	-0.1603	0.0712	0.2315	18
Çankırı	-0.2817	0.0000	0.2817	27
Denizli	0.0785	0.2284	0.1499	10
Düzce	0.0454	0.2249	0.1795	12
Erzincan	-0.2532	0.0166	0.2698	25
Tunceli	-0.3036	0.0166	0.3202	28
Hatay	0.3400	0.4471	0.1071	4
Isparta	-0.1500	0.0774	0.2274	17
İzmir	0.6088	0.6437	0.0349	2
Karabük	-0.2527	0.0076	0.2603	24
Kırşehir	-0.2768	0.0000	0.2768	26
Kocaeli	0.6460	0.6818	0.0358	1
Manisa	0.2187	0.3484	0.1297	8
Muğla	0.0619	0.2266	0.1647	11
Muş	-0.1088	0.1884	0.2972	14
Osmaniye	0.0301	0.2402	0.2101	13
Sakarya	0.3070	0.4290	0.1221	5
Siirt	-0.1270	0.1518	0.2788	16
Tokat	-0.2129	0.0428	0.2558	21
Kırıkkale	-0.2337	0.0076	0.2414	23
Bartın	-0.2000	0.0490	0.2490	20
Yalova	0.2388	0.3545	0.1157	7

PROMETHEE yöntemi işlem adımları sonucunda deprem hasar görebilirlik bakımından ilk sırada yer alan il yine Kocaeli olarak bulunmuştur. Hasar görebilirlik değerlendirmesinde son il Bingöl'dür. ROMETHEE yönteminde Beşinci Tip ve Dördüncü Tip tercih fonksiyonları kullanılarak elde edilen sıralama sonuçları diğer iller açısından farklılık göstermektedir.

4.3 VIKOR ile Değerlendirme

Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için karar probleminde kullanılan ÇKKV yöntemlerinden bir diğeri VIKOR yöntemidir. İlk olarak alternatif iller ve deprem hasar görebilirlik değerlendirme kriterleri temelinde Tablo 2'deki karar matrisi oluşturulmuştur. Bölüm 4.1'de elde edilen kriter

Tablo 10
VIKOR Yöntemi Sonuçları ($v=0.5$ olarak belirlendiğinde)

İller	S_j	R_j	Q_j	Sıralama
Aydın	0.803	0.230	0.666	9
Balıkesir	0.843	0.258	0.793	15
Bilecik	0.854	0.275	0.857	17
Bolu	0.872	0.282	0.899	23
Bingöl	0.874	0.284	0.906	24
Burdur	0.906	0.282	0.927	25
Bursa	0.517	0.179	0.255	2
Çanakkale	0.888	0.273	0.881	19
Çankırı	0.936	0.289	0.973	28
Denizli	0.826	0.257	0.776	14
Düzce	0.795	0.220	0.623	8
Erzincan	0.901	0.292	0.955	27
Tunceli	0.937	0.296	1	29
Hatay	0.659	0.147	0.268	3
Isparta	0.892	0.276	0.894	22
İzmir	0.432	0.207	0.278	4
Karabük	0.913	0.271	0.894	21
Kırşehir	0.912	0.283	0.934	26
Kocaeli	0.340	0.164	0.055	1
Manisa	0.774	0.245	0.693	10
Muğla	0.771	0.261	0.744	11
Muş	0.742	0.277	0.773	13
Osmaniye	0.785	0.217	0.607	7
Sakarya	0.712	0.190	0.455	5
Siirt	0.747	0.272	0.759	12
Tokat	0.894	0.270	0.876	18
Kırıkkale	0.897	0.271	0.882	20
Bartın	0.903	0.258	0.842	16
Yalova	0.697	0.200	0.475	6

ağırlıkları ve Tablo 2'de yer alan illere ait karar matrisi kullanılarak VIKOR yöntem adımları uygulanmıştır.

Çalışmada VIKOR yöntemi için farklı parametre değerlerinin sonuçlara yansımaları değerlendirilerek adına farklı iki v değeri kullanılmıştır. VIKOR yönteminde genel olarak uzman grubunun uzlaşmacı bir tavırda olduğu varsayılmış ve $v=0.50$ olarak seçilmiştir. Ayrıca $v = (n + 1)/2n$ işlemi kullanılarak v ağırlığı belirlenmiştir. $v=0.58$ olarak hesaplanmış ve analiz VIKOR yöntemi için tekrar edilmiştir.

VIKOR yöntem adımlarının uygulanması ile hesaplanan S_j , R_j , Q_j değerleri ve elde edilen sıralamalar Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11

VIKOR Yöntemi Sonuçları ($v=0.58$ olarak belirlendiğinde)

İller	S_j	R_j	Q_j	Sıralama
Aydın	0.803	0.230	0.684	9
Balıkesir	0.843	0.258	0.801	15
Bilecik	0.854	0.275	0.858	16
Bolu	0.872	0.282	0.898	21
Bingöl	0.874	0.284	0.904	23
Burdur	0.906	0.282	0.930	25
Bursa	0.517	0.179	0.261	3
Çanakkale	0.888	0.273	0.887	19
Çankırı	0.936	0.289	0.977	28
Denizli	0.826	0.257	0.782	14
Düzce	0.795	0.220	0.646	8
Erzincan	0.901	0.292	0.952	27
Tunceli	0.937	0.296	1	29
Hatay	0.659	0.147	0.310	4
Isparta	0.892	0.276	0.899	22
İzmir	0.432	0.207	0.258	2
Karabük	0.913	0.271	0.905	24
Kırşehir	0.912	0.283	0.937	26
Kocaeli	0.340	0.164	0.046	1
Manisa	0.774	0.245	0.698	10
Muğla	0.771	0.261	0.741	11
Muş	0.742	0.277	0.757	13
Osmaniye	0.785	0.217	0.629	7
Sakarya	0.712	0.190	0.482	5
Siirt	0.747	0.272	0.747	12
Tokat	0.894	0.270	0.884	18
Kırıkkale	0.897	0.271	0.890	20
Bartın	0.903	0.258	0.858	17
Yalova	0.697	0.200	0.495	6

VIKOR yöntemi işlem adımları sonucunda deprem hasar görebilirlik bakımından ilk sırada yer alan il Kocaeli olarak bulunmuştur. Tablo 10'a göre en küçük Q değerine sahip olan Kocaeli ili ($Q=0.055$), geçerlilik testi için "Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu" ve "Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu"nu sağlamıştır. Hasar görebilirlik değerlendirmesinde son il ise Tunceli'dir. Tablo 11'e göre en küçük Q değerine sahip olan Kocaeli ili ($Q=0.046$), geçerlilik testi için "Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu" ve "Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu"nu sağlamıştır. Hasar görebilirlik değerlendirmesinde son il yine Tunceli'dir.

4.4 TOPSIS ile Değerlendirme

Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için karar probleminde kullanılan ÇKKV yöntemlerinden bir diğeri TOPSIS yöntemidir. İlk olarak alternatif iller ve deprem hasar görebilirlik değerlendirme kriterleri temelinde Tablo 2'deki karar matrisi oluşturulmuştur. Bölüm 4.1'de elde edilen kriter ağırlıkları ve Tablo 2'de yer alan illere ait karar matrisi kullanılarak TOPSIS yöntem adımları uygulanmıştır. TOPSIS yöntemi ile elde edilen S_j^+ , S_j^- , RC değerleri ve elde edilen sıralamalar Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12
TOPSIS Yöntemi Sonuçları

İller	S_j^+	S_j^-	RC	Sıralama
Aydın	0.179	0.053	0.227	8
Balıkesir	0.193	0.044	0.184	12
Bilecik	0.214	0.024	0.100	18
Bolu	0.219	0.020	0.082	22
Bingöl	0.222	0.017	0.071	25
Burdur	0.217	0.020	0.083	21
Bursa	0.119	0.127	0.516	3
Çanakkale	0.212	0.024	0.103	16
Çankırı	0.223	0.010	0.043	29
Denizli	0.196	0.037	0.161	13
Düzce	0.191	0.048	0.200	11
Erzincan	0.225	0.014	0.060	26
Tunceli	0.229	0.013	0.054	28
Hatay	0.147	0.094	0.391	5
Isparta	0.212	0.021	0.088	20
İzmir	0.081	0.171	0.677	1
Karabük	0.215	0.018	0.076	24
Kırşehir	0.220	0.013	0.054	27
Kocaeli	0.095	0.190	0.666	2
Manisa	0.184	0.049	0.210	9
Muğla	0.193	0.066	0.255	7
Muş	0.219	0.037	0.143	14
Osmaniye	0.190	0.050	0.207	10
Sakarya	0.169	0.069	0.289	6
Siirt	0.216	0.035	0.140	15
Tokat	0.211	0.021	0.091	19
Kırıkkale	0.215	0.019	0.080	23
Bartın	0.211	0.024	0.101	17
Yalova	0.157	0.103	0.395	4

TOPSIS yöntemi uygulaması sonucunda deprem hasar görebilirlik bakımından ilk sırada yer alan il İzmir iken; hasar görebilirlik değerlendirmesinde son il Çankırı'dır.

4.5 Copeland Yöntemi ile Sıralamaların Birleştirilmesi

PROMETHEE, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanması sonucunda illerin deprem hasar görebilirlik durumlarına ilişkin sıralama sonuçları tek bir sırada birleştirilmiştir. Bu doğrultuda Copeland yöntemi dört adımda uygulanmıştır. İlk adımda her bir il bazında deprem hasar görebilirlik durumuna ilişkin PROMETHEE, VIKOR ve TOPSIS

yöntemlerindeki sıralama değeri diğer illerin sıralama değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sıralama sonucuna göre il daha öncelikli ise "1" tersi durumda "0" puan atanmış ve illerin puanları için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. 2 adımda illerin ÇKKV yöntemlerinden aldığı toplam puanlar hesaplanmıştır. 3. adımda illerin galibiyet, beraberlik ve yenilgi puanları elde edilmiştir. Son aşamada Copeland puanları hesaplanarak bu puan değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve illerin deprem hasar görebilirlik sıralaması elde edilmiştir.

Tercih fonksiyonlarının Dördüncü Tip ve Beşinci Tip olarak belirlenmesi sebebiyle PROMETHEE yönteminden iki farklı sıralama sonucu elde

edilmiştir. Aynı şekilde VIKOR yöntemi için $v=0.5$ ve $v=0.58$ olarak belirlendiğinden iki farklı sıralama sonucu elde edilmiştir. Elde edilen sıralama sonuçlarına göre Copeland yöntemi için dört farklı sıralama sonucu elde edilmiştir. Elde edilen

galibiyet puanı (GP_i), yenilgi puanı (YP_i), Copeland puanı (CP_i) ve sıralama sonuçlarına ait bulgular Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13
Copeland Yöntemi Sonuçları

Yöntemler	TOPSIS		TOPSIS		TOPSIS		TOPSIS	
	PROMETHEE (TF= Beşinci Tip)		PROMETHEE (TF= Dördüncü Tip)		PROMETHEE (TF= Beşinci Tip)		PROMETHEE (TF= Dördüncü Tip)	
	VIKOR ($v=0.5$)		VIKOR ($v=0.5$)		VIKOR ($v=0.58$)		VIKOR ($v=0.58$)	
İller	CP_i	Sıra	CP_i	Sıra	CP_i	Sıra	CP_i	Sıra
Aydın	16	7	16	7	16	7	16	7
Balıkesir	5	13	7	12	5	13	7	12
Bilecik	-4	17	-4	16	-2	16	-2	16
Bolu	-14	21	-14	21	-12	21	-14	22
Bingöl	-20	25	-20	25	-20	25	-20	25
Burdur	-18	24	-14	21	-18	24	-12	21
Bursa	24	3	24	3	24	3	24	3
Çanakkale	-2	16	-4	16	-2	16	-2	16
Çankırı	-26	28	-26	28	-26	28	-26	28
Denizli	6	12	6	13	6	12	4	13
Düzce	10	9	8	11	10	9	8	11
Erzincan	-22	26	-22	26	-22	26	-22	26
Tunceli	-28	29	-28	29	-28	29	-28	29
Hatay	20	5	22	4	20	5	22	4
Isparta	-10	20	-10	20	-10	20	-10	20
İzmir	26	2	26	2	26	2	26	2
Karabük	-14	21	-14	21	-14	22	-18	24
Kırşehir	-24	27	-24	27	-24	27	-24	27
Kocaeli	28	1	28	1	28	1	28	1
Manisa	14	8	14	8	14	8	14	8
Muğla	10	9	10	9	10	9	12	9
Muş	0	15	2	14	0	15	2	14
Osmaniye	10	9	10	9	10	9	10	10
Sakarya	18	6	20	6	18	6	20	5
Siirt	2	14	2	14	2	14	0	15
Tokat	-8	19	-8	19	-8	19	-8	18
Kırıkkale	-14	21	-14	21	-14	22	-16	23
Bartın	-6	18	-4	16	-6	18	-8	18
Yalova	22	4	22	4	22	4	18	6

TF: Tercih Fonksiyonu; CP_i : Copeland Puanı

Copeland yöntemi ile elde edilen dört farklı birleştirilmiş sıralama sonucuna göre deprem hasar görebilirlik değerlendirmesinde ilk 3 sıradaki il sırasıyla Kocaeli, İzmir, Bursa olarak elde edilmiştir.

Birleştirilmiş sıralamada son üç il ise Kırşehir, Çankırı ve Tunceli olarak belirlenmiştir.

Tablo 13'te görüldüğü gibi yöntemler arasında sıralama farklılıkları bulunmaktadır. Copeland yönteminde bazı iller ortak sırada olacak şekilde birleştirilmiştir. Örneğin PROMETHEE yönteminde kullanılan tercih fonksiyonu Dördüncü Tip olarak belirlendiğinde ve VIKOR için $v=0.5$ olarak belirlendiğinde elde edilen birleştirilmiş sıralama sonuçlarına göre; Yalova ve Hatay 4. sırada; Osmaniye ve Muğla 9. sırada; Siirt ve Muş 14. sırada; Bilecik, Çanakkale ve Bartın 16. sırada, Karabük, Burdur, Bolu ve Kırıkkale 21. sırada bulunmaktadır. Bu bağlamda sıralamalar arasındaki ilişkinin incelenmesi önemlidir.

Tablo 14
Spearman Sıra Korelasyon Katsayıları

Yöntemler	TOPSIS	PROMETHEE (TF= Beşinci Tip)	VIKOR ($v=0.5$)	Copeland Yöntemi
TOPSIS	-	0.892	0.967	0.989
PROMETHEE (TF= Beşinci Tip)		-	0.851	0.908
VIKOR ($v=0.5$)			-	0.982
Copeland Yöntemi				-
Yöntemler	TOPSIS	PROMETHEE (TF= Dördüncü Tip)	VIKOR ($v=0.5$)	Copeland Yöntemi
TOPSIS	-	0.969	0.967	0.993
PROMETHEE (TF= Dördüncü Tip)		-	0.931	0.970
VIKOR ($v=0.5$)			-	0.979
Copeland Yöntemi				-
Yöntemler	TOPSIS	PROMETHEE (TF= Beşinci Tip)	VIKOR ($v=0.58$)	Copeland Yöntemi
TOPSIS	-	0.892	0.971	0.991
PROMETHEE (TF= Beşinci Tip)		-	0.849	0.909
VIKOR ($v=0.58$)			-	0.983
Copeland Yöntemi				-
Yöntemler	TOPSIS	PROMETHEE (TF= Dördüncü Tip)	VIKOR ($v=0.58$)	Copeland Yöntemi
TOPSIS	-	0.969	0.971	0.995
PROMETHEE (TF= Dördüncü Tip)		-	0.934	0.979
VIKOR ($v=0.58$)			-	0.976
Copeland Yöntemi				-

Tablo 14'e göre Copeland yöntemi ile birleştirilmiş sıralamaların tüm yöntemlerden elde edilen sıralamalar ile yüksek düzeyde ilişkisi olduğu görülmüştür.

4.6 Spearman Sıra Korelasyon Katsayılarının Hesaplanması

Çalışmada değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarını bulmak için kullanılan AHP yöntemi dışında dört farklı yöntem ile deprem hasar görülebilirlik sıralamaları elde edilmiştir. Yöntemler arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla elde edilen sıralamalar dikkate alınarak Eşitlik (34) kullanılmıştır. Hesaplanan Spearman sıra korelasyon katsayıları Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14'e göre PROMETHEE yöntemi için tercih fonksiyonları Beşinci Tip yerine Dördüncü Tip olarak seçildiğinde PROMETHEE yönteminin diğer yöntemlerle arasındaki ilişkilerinin derecesini

veren Spearman sıra korelasyon katsayıları artmıştır.

-VIKOR yönteminde $v=0.5$ alındığında ilişki dereceleri için,

TOPSIS-PROMETHEE: 0.892'den 0.969'a;
VIKOR-PROMETHEE: 0.851'den 0.931'e;
Copeland-PROMETHEE: 0.908'den 0.970'e yükselmiştir.

-VIKOR yönteminde $v=0.58$ alındığında ilişki dereceleri için,

TOPSIS-PROMETHEE: 0.892'den 0.969'a;
VIKOR-PROMETHEE: 0.849'dan 0.934'e;
Copeland-PROMETHEE: 0.909'dan 0.979'a yükselmiştir.

Tablo 14'e göre VIKOR yöntemi için $v=0.5$ yerine $v=0.58$ olarak seçildiğinde VIKOR yönteminin diğer yöntemlerle arasındaki ilişkilerinin derecesini veren Spearman sıra korelasyon katsayıları incelenmiştir. Sadece PROMETHEE-VIKOR ve Copeland-PROMETHEE yöntemler arasındaki ilişkinin derecesi azalmıştır, diğer ikili yöntemler arasındaki ilişki derecesi artmıştır.

-PROMETHEE yönteminde Beşinci Tip tercih fonksiyonu belirlendiğinde ilişki dereceleri için,

TOPSIS-VIKOR: 0.967'den 0.971'e yükselmiş; PROMETHEE-VIKOR: 0.851'den 0.849'a düşmüş ve Copeland-VIKOR: 0.982'den 0.983'e yükselmiştir.

-PROMETHEE yönteminde Dördüncü Tip tercih fonksiyonu belirlendiğinde ilişki dereceleri için,

TOPSIS-PROMETHEE: 0.969'da sabit kalmış;
VIKOR-PROMETHEE: 0.931'den 0.934'e yükselmiş ve Copeland-PROMETHEE: 0.979'dan 0.976'ya düşmüştür.

Kullanılan ÇKKV yöntemlerinden elde edilen sıralamalar arasındaki ikili ilişkilerin yönü "pozitif" ve ilişkinin derecesi "çok yüksek"tir. PROMETHEE, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinden elde edilen sıralamalar Copeland yöntemi ile birleştirilerek illere ait deprem hasar görebilirlik sıralaması elde edilmiştir. Copeland yöntemi ile elde edilen her bir sıralamanın diğer yöntemlerden elde edilen sıralamalar ile arasındaki ilişki de pozitif yönlü ve çok yüksek derecededir. Çalışmada PROMETHEE yöntemi uygulanırken Beşinci Tip yerine Dördüncü Tip tercih fonksiyonlarının kullanılması, diğer yöntemlerden elde edilen sıralama sonuçları ile uyumluluk düzeyini arttırmıştır. Aynı şekilde VIKOR yöntemi için v parametresinin uygun düzeydeki

artışı yöntemler arasındaki ilişkilere olumlu şekilde yansımıştır.

5. Sonuç ve Tartışma

Alansal ya da bölgesel deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi, afet yönetiminin zarar azaltma, hazırlıklı olma, müdahale ve iyileştirme aşamaları için önemli bir adımdır. Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi, nüfus, ekonomik kalkınma ve altyapı gibi birden fazla kriteri içerdiğinden, ÇKKV problemi olarak modellenebilmektedir. Bir karar sorunu üzerinde daha güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için çeşitli ÇKKV yöntemlerini kullanmak avantajlıdır. Bu bağlamda algoritma yapıları farklı ÇKKV yöntemleri farklı sıralamalar ürettiğinde, uzlaşık ve kapsamlı bir sonuç elde etmek gerekmektedir. Bu çalışmada ÇKKV yöntemleri ile Türkiye'de deprem tehlikesi bulunan yirmi dokuz il için deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla altı farklı değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Deprem hasar görebilirlik değerlendirmesinde en öncelikli kriter 0.296 kriter ağırlığı ile "C1: nüfus yoğunluğu" iken, kriter ağırlığı en az olan kriter 0.066 kriter ağırlığı ile "C6: örtüaltı tarım alanı" olarak elde edilmiştir. Karar matrisinin diğer elemanları için değerlendirme kapsamındaki illere dair Tablo 2'de bulunan gerçek veri seti (karar matrisi) farklı kaynaklardan temin edilmiştir. AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları PROMETHEE, VIKOR ve TOPSIS yöntem adımlarına dahil edilmiştir ve illere ait hasar görebilirlik sıralamaları elde edilmiştir. Bu çalışmanın yenilikçi yönü, Copeland yöntemi ile elde edilen nihai sıralama için PROMETHEE ve VIKOR yöntemlerine dair farklı deneme setlerinin değerlendirilmesidir. Bu bağlamda farklı ÇKKV yöntemleri ile üretilen sıralamalar arasındaki ilişki, Spearman sıra korelasyon katsayıları elde edilerek incelenmiştir.

TOPSIS yönteminde yöntem sonuçlarını etkileyecek durumlar, normalizasyon tekniği, kriter ağırlıkları ve kriter yönleridir. PROMETHEE ve VIKOR yöntemlerinde ise bu durumların yanı sıra yöntem sonuçlarını direkt etkileyecek parametreler ve fonksiyonlar bulunmaktadır. Bu amaçla, farklı deneme setleri oluşturulmuştur. PROMETHEE yönteminde tercih fonksiyonlarının etkisini incelemek amacıyla Dördüncü ve Beşinci Tip tercih fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçlar ayrı şekilde değerlendirilmiştir. VIKOR yöntemi için de v parametresi sorgulanmış, $v=0.5$ ve $v=0.58$ olacak

şekilde analizler yapılmıştır. PROMETHEE yönteminde kriterler için Dördüncü Tip tercih fonksiyonu kullanılması durumunda yöntemlerden elde edilen sıralamaların korelasyon sonuçlarının daha iyi olduğu görülmüştür. VIKOR yöntemi için $v=0.58$ olarak belirlendiğinde elde edilen sıralamaların korelasyon sonuçlarının daha iyi olduğu görülmüştür. Nihayetinde, PROMETHEE, VIKOR ve TOPSIS yöntemleri ile elde edilen sıralamalar arasındaki ikili ilişkilerin yönü “pozitif” ve derecesi “çok yüksek” olarak belirlenmiştir. Copeland yöntemi ile elde edilen uzlaşık çözüme en yakın sıralamayı veren yöntem Tablo 14’teki 0.995 değeri ile TOPSIS yöntemi olarak elde edilmiştir. Bu bağlamda TOPSIS, VIKOR ($v=0.58$) ve PROMETHEE (TF=Dördüncü Tip) yöntemlerinin analizi sonucu Copeland yönteminden elde edilen sıralama, nihai sıralama olarak önerilmiştir. Deprem hasar görebilirlik sıralamasında ilk üç il Kocaeli, İzmir ve Bursa olurken, sıralamadaki son üç il Kırşehir Çankırı ve Tunceli olarak belirlenmiştir. Copeland yönteminin özelliğine bağlı olarak birden fazla alternatif için aynı sıralama sonucu elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Bölüm 4.5’te belirtilen iller (“Tokat-Bartın”; “Bilecik-Çanakkale”) bir grup olarak değerlendirilmiştir.

Karar sürecinde ÇKKV yöntemlerinin bazı temel ayırt edici özelliklerine de değinmek gerekmektedir. PROMETHEE yönteminde değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları ve her bir kriter için belirlenen tercih fonksiyonları değiştirildiğinde değerlendirme sonuçları farklılık gösterebilmektedir. VIKOR yönteminde kriter ağırlıkları ve “ v : maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin ağırlığı” uzmanların kararlarına bağlı olarak değiştiğinde yine değerlendirme sonuçlarında farklılık olabilecektir. TOPSIS yönteminde de kriter ağırlığı sonuçlar üzerinde etkilidir. Çalışmada kullanılan tüm ÇKKV yöntemlerinden elde edilen sıralama sonuçlarının uyumluluğu, Spearman sıra korelasyon katsayıları hesaplanarak elde edilmiştir. Copeland yöntemi ile elde edilen nihai sıralama deprem hasar görebilirlik değerlendirmesinde karar vericiler için bir rehber niteliğindedir.

Gelecekteki çalışmalarda deprem hasar görebilirlik değerlendirmesi için sürece daha fazla değerlendirme kriteri dahil edilebilir. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılabilir. Seçilen bölge daha dar bir alanı kapsayacak şekilde özelleştirilebilir. Değerlendirme sürecine uzmanların ağırlıkları dahil edilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Ezgi GÜLER, literatür araştırması, verilerin hazırlanması, karar yöntemlerinin uygulanması, bulguların elde edilmesi; Selen AVCI, verilerin hazırlanması, karar yöntemlerinde ek analizlerin yapılması, bulguların elde edilmesi; Zerrin ALADAĞ, makale fikrinin hazırlanması, bulguların elde edilmesi ve gözden geçirilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2018). Turkey Earthquake Hazard Map (Türkiye Deprem Tehlike Haritası) Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>
- Alizadeh, M., Ngah I., Hashim M., Pradhan B., & Pour, A.B. (2018). A hybrid analytic network process and artificial neural network (ANP-ANN) model for urban earthquake vulnerability assessment. *Remote Sensing*, 975(10), 1-34. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs10060975>
- Avcıoğlu, A. O., Dayıoğlu M.A., & Türker U. (2019). Assessment of the energy potential of agricultural biomass residues in Turkey. *Renewable Energy*, 138, 610-619. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.053>
- Barzilai, J. (1996). On the derivation of AHP priorities. *ISAIT 1996*, 244-250, Canada.
- Brans J. P. (1982). Lingenierie de la decision. Elaboration dinstruments daide a la decision. Methode PROMETHEE, R. Nadeau, M. Landry (Eds.), Laide a la decision: Nature, instruments et perspectives davenir, *Presses de Universite Laval*, 183-214, Canada.
- Ceylan, Z., ve Gürsev, S. (2020). AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Bilgi Teknolojileri Projelerinde Scrum-Kanban-Şelale Uygulamaları Karşılaştırması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(3), 329-339. Doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.672234>
- Chen, N., Chen, L., Ma, Y., & Chen, A. (2019). Regional disaster risk assessment of China based on self-

- organizing map: clustering, visualization and ranking. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33, 196-206. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.10.005>
- Çakır, E., ve Özdemir, M. (2016). Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin altı sigma projeleri seçiminde uygulanması. *Business & Economics Research Journal*, 7(2), 167-201. Doi: <https://doi.org/10.20409/berj.2016217536>
- Dağdeviren, M., ve Eraslan, E. (2008). Promethee sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23, 69-75. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6675/88291>
- DASK. (2021). Etkileşimli Deprem Haritası. Erişim adresi: <https://dask.gov.tr/toplumsal-paylasim-etkilesimli-deprem.html>
- Deringöz, A., Danışan, T., ve Eren T. (2021). Endüstriyel giyilebilir teknolojilerin ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmesi ve seçimi. *Ergonomi*, 4(1), 10-21. Doi: <https://doi.org/10.33439/ergonomi.882303>
- Dinçer, S. E., Ekin, E. ve Karakaş, K. S. (2017). Promethee yöntemiyle uçak komponentlerinin önceliklendirilmesi problemlerine çözüm yaklaşımı. *Social Sciences Research Journal*, 6(3), 106-125. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ssrj/issue/31284/341106>
- Elwood, K., Filippova, O., Noy, I., & Paz, J. P. (2020). Seismic Policy, Operations, and Research Uses for a Building Inventory in an Earthquake-Prone City. *International Journal of Disaster Risk Science*, 11(6), 709-718. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00313-7>
- Erkal, T., ve Değerliyurt, M. (2009). Türkiye’de afet yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunidcd/issue/2437/31194>
- Ertuğrul, İ., ve Karakaşaoğlu, N. (2009). Banka şube performanslarının Vikor yöntemi ile değerlendirilmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20(1), 19-28. Erişim adresi: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/c4692732b25c1ee_ek.pdf
- Ertuğrul, İ., ve Özçil, A. (2014). Çok kriterli karar vermede TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle klima seçimi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 267-282.
- Favardin, P., Lepelley, D., & Serais, J. (2002). Borda rule, Copeland method and strategic manipulation. *Rev. Econ. Des.*, 7(2), 213-228, Doi: <https://doi.org/10.1007/s100580200073>
- İMO. (2018). Erişim adresi: https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f019c60caaf76b_ek.pdf?tipi=84&туру=X&sube=0
- Jena, R., Pradhan, B., Beydoun, G., Nizamuddin, Ardiansyah, Sofyan, H., & Affan, M. (2020(a)). Integrated model for earthquake risk assessment using neural network and analytic hierarchy process: Aceh province, Indonesia. *Geoscience Frontiers*, 11(2), 613-634. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.07.006>
- Jena R., Pradhan, B., & Beydoun, G. (2020(b)). Earthquake vulnerability assessment in Northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46, 1-14. 101518. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101518>
- Joem, B. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, 7(1), 20-31. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.04.002>
- Kamranzad, F., Memarian, H., & Zare, M. (2020). Earthquake risk assessment for Tehran, Iran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 430. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi9070430>
- Karaman, Z. T. (2017). Afet Yönetimine Giriş ve Türkiye’de Örgütlenme. Bütünleşik Afet Yönetimi (Ed. Zerrin Toprak Karaman, Asuman Altay), Birleşik Matbaacılık, İzmir, 1-39.
- Kocakaya, K., Engin, T., Tektaş, M., ve Aydın, U. (2021). Türkiye’de Bölgesel Havayolları için Uçak Tipi Seçimi: Küresel Bulanık AHP-TOPSIS Yöntemlerinin Entegrasyonu. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 4(1), 59-73. Doi: <https://doi.org/10.51513/jitsa.903996>
- Korkmaz, O. (2019). Personnel selection method based on TOPSIS multi-criteria decision making method. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (23), 1-16. Doi: <https://doi.org/10.18092/ulikidince.468486>

- Kumlu K. B. Y., & Tüdeş, S. (2019). Determination of earthquake-risky areas in Yalova City Center (Marmara region, Turkey) using GIS-based multicriteria decision-making techniques (analytical hierarchy process and technique for order preference by similarity to ideal solution). *Natural Hazards*, 96(3), 999-1018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03583-7>
- Lestari, S., Adj, T. B., & Permanasari, A. E. (2018). Performance comparison of rank aggregation using borda and copeland in recommender system. In *2018 International Workshop on Big Data and Information Security (IWBIS)*, 69-74, IEEE.
- Liu, D., Cho, S. Y., Sun, D. M. & Qiu, Z. D. (2010). *A Spearman correlation coefficient ranking for matching-score fusion on speaker recognition*. TENCON 2010-2010 IEEE Region 10 Conference, IEEE. Fukuoka, Japan. Doi: <https://doi.org/10.1109/TENCON.2010.5686608>
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Govindan, K., Amat Senin, A., & Jusoh, A. (2016). VIKOR technique: A systematic review of the state of the art literature on methodologies and applications. *Sustainability*, 8(1), 37. Doi: <https://doi.org/10.3390/su8010037>
- Mukaka, M. M. (2012). A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24 (3), 69-71. Erişim adresi: <https://www.ajol.info/index.php/mmj/article/view/81576>
- Murnane, R. J., Daniell, J. E., Schäfer, A. M., Ward, P. J., Winsemius, H. C., Simpson, A., & Toro, J. (2017). Future scenarios for earthquake and flood risk in Eastern Europe and Central Asia. *Earth's Future*, 5(7), 693-714. Doi: <https://doi.org/10.1002/2016EF000481>
- Nyimbili, P. H., Erden, T., & Karaman, H., (2018). Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis. *Natural Hazards*, 92(3), 1523-1546. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3262-7>
- Okan, T., Sarı, S., ve Peker, İ. (2016). Girişimcilik başarı faktörü olarak sosyal sermaye kriterlerinin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile ağırlıklandırılması ve bir ölçek önerisi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12, 177-194.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 2(1), 5-21.
- Oral N., Yumuşak, R., ve Eren T. (2021). AHP ve ANP yöntemleri kullanılarak tehlikeli madde depo yeri seçimi: Kırıkkale ilinde bir uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 115-124. Doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.744734>
- Orçun, Ç., ve Eren, B. S. (2017). TOPSIS yöntemi ile finansal performans değerlendirmesi: XUTEK üzerinde bir uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (75), 139-154. Doi: <https://doi.org/10.25095/mufad.399899>
- Opricović, S. (2009). Compromise in cooperative game and the VIKOR method. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 19(2), 225-238.
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., ve Eren T. (2017). ANP ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219. Doi: <https://doi.org/10.15317/Scitech.2017.82>
- Özçil, A. (2020). *Çok kriterli karar verme yöntemlerine alternatif bir yöntem önerisi: bütünleştirici referans noktası yaklaşımı* (Doktora tezi). Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Özmen, B., ve Özden, T. (2013). Türkiye'nin afet yönetim sistemine ilişkin eleştirel bir değerlendirme. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 49, 1-28. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/iusiyasal/issue/631/6426>
- Paksoy, S. (2015). Ülke göstergelerinin VIKOR yöntemi ile değerlendirilmesi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(2), 153-169. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/esad/issue/38966/456085>
- Peng, Y. (2015). Regional earthquake vulnerability assessment using a combination of MCDM methods. *Annals of Operations Research*, 234(1), 95-110. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1253-8>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281. Doi: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saari, D. G., ve Merlin, V. R. (1996). The Copeland method. *Econ Theory*, 8, 51-76. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF01212012>
- Shayannejad, A., & Angerabi, B. A. (2014). Earthquake Vulnerability Assessment in urban

- areas using MCDM Case study: The central part of 6 district of Tehran Municipality. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 2(2), 39-51. Doi: <https://doi.org/10.14246/irspsd.2.2.39>
- Sinha, N., Priyanka, N., & Joshi, P. K. (2016). Using spatial multi-criteria analysis and ranking tool (SMART) in earthquake risk assessment: A case study of Delhi region, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(2): 680-701. Doi: <https://doi.org/10.1080/19475705.2014.945100>
- Spearman, C. (1906). 'Footrule' for measuring correlation. *Brit. J. Psychol.*, 2, 89-108. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1906.tb00174.x>
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). Erişim adresi: <https://www.sanayi.gov.tr/istatistikler/istatistiki-bilgiler/mi0203011502>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021). Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tarla-Ve-Bahce-Bitkileri/Ortu-Alti-Yetistiricilik>
- Tate, E. (2012). Social vulnerability indices: a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis. *Natural Hazards*, 63(2), 325-347. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0152-2>
- TÜİK. (2021). Coğrafi İstatistik Portalı. Erişim adresi: <https://cip.tuik.gov.tr/>
- Uzun S., ve 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://doi.org/10.22532/jtl.237889>
- Wang, Y. M., Liu, J., & Elhag, T. M. (2008). An integrated AHP-DEA methodology for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering*, 54(3), 513-525. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.09.002>
- Yakut, E. (2020). OECD Ülkelerinin Bilgi ve İletişim Teknolojileri Gelişmişliklerinin MOORA ve WASPAS Yöntemiyle Değerlendirilerek Kullanılan Yöntemlerin Copeland Yöntemiyle Karşılaştırılması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(3), 1275-1294. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ataunisobil/issue/57299/770658>
- Yariyan, P., Zabihi, H., Wolf, I. D., Karami, M., & Amirian, S. (2020). Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 1-17. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101705>
- Yavaşoğlu, F., ve Özden Ç.V. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak deprem hasar riski analizi: Kadıköy örneği. *TÜBAV Journal of Science*, 10(3), 28-38. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/tubav/issue/31124/337906>
- Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397-427. Doi: <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>