Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi
Van Yüzüncü Yıl University The Journal of Social Sciences Institute
e-ISSN: 2822 - 3136
Yıl / Year: 2025 - Sayı / Issue: 67

Farklı Normalizasyon Tekniklerinin Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Sonuçlarına Etkisi: CRITIC Yöntemi Temelinde Bir Uygulama

Effect Of Different Normalization Techniques On The Results Of Criteria Weightıng Methods: An Application Based On The CRITIC Method

Saadettin AYDIN
Asist. Prof., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gulhane Faculty of Medicine, Istanbul, Türkiye
Dr. Öğretim Üyesi, Topkapı Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0002-9559-0730 saadettin.aydin@sbu.edu.tr

Article Information/Makale Bilgisi

Cite as/Atıf: Aydın, S. (2025). Effect Of Different Normalization Techniques On The Results Of Criteria Weightıng Methods: An Application Based On The CRITIC Method. *Van Yüzüncü Yıl University the Journal of Social Sciences Institute,* 67, 121-130
Aydın, S. (2025). Farklı Normalizasyon Tekniklerinin Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Sonuçlarına Etkisi: CRITIC Yöntemi Temelinde Bir Uygulama. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 67, 121-130

Article Types / Makale Türü: Research Article/Araştırma Makalesi
Received/Geliş Tarihi: January 29, 2025/29 Ocak 2025
Accepted/Kabul Tarihi: March 4, 2025/4 Mart 2025
Published/Yayın Tarihi: March 18, 2025/18 Mart 2025
Pub Date Season/Yayın Sezonu: March/Mart
Issue/Sayı: 67
Pages/Sayfa: 121-130
Plagiarism/İntihal: This article has been reviewed by at least two referees and scanned via a plagiarism software. / Bu makale, en az iki hakem tarafından incelendi ve intihal içermediği teyit edildi.
Published by/Yayıncı: Van Yüzüncü Yıl University of Social Sciences Institute/Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Ethical Statement/Etik Beyan: It is declared that scientific and ethical principles have been followed while carrying out and writing this study and that all the sources used have been properly cited/ Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur (Yazar isim/lerl).
Conflict of Interest/Çıkar Beyanı
There are no conflicts of interest./Bu çalışma kapsamında herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile çıkar çatışması yoktur.
Declaration of Authors' Contribution/Yazarların Katkı Oran Beyanı
This article has one author and the contribution rate of the author is 100 %/Bu makale tek yazarlıdır ve yazarın katkı oranı yüzde 100'dür.
Copyright & License/Telif Hakkı ve Lisans: Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0./Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0lisansı altında yayımlanmaktadır

Öz

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, birden fazla kriter göz önünde bulundurularak birçok alternatif arasından en uygun seçimin yapılmasını sağlar. Bu yöntemlerde ilk olarak kriterlerin önem derecesini ortaya koymak için kriter ağırlıklandırma işlemi yapılmaktadır. Uygulamada kriterlerin farklı ölçü birimlerine sahip olması, bunların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmekte ve boyutsuz hale getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, normalizasyon teknikleri kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, belirli bir kriter ağırlıklandırma yöntemi için hangi normalizasyon tekniğinin en uygun olduğu konusunda literatürde ortak bir görüş bulunmamaktadır. Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak kullanılan 6 farklı normalizasyon tekniğinin kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sonuçları üzerindeki etkisi, CRITIC yöntemi kullanılarak kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi amaçlanmaktadır. 6 farklı normalizasyon tekniği kullanılarak elde edilen CRITIC yöntemi sonuçlarının normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilk testi kullanılarak incelenmiş, normal dağılım gösterdiği belirlenen ağırlık skorlarına Pearson korelasyon testi uygulanarak bu ağırlık skorları arasındaki ilişki incelenmiştir. Araştırma bulgularına göre, CRITIC yönteminin orijinal halinde kullanılan teknik olan Doğrusal Sabit Normalizasyonu yerine kullanılabilecek en iyi alternatif tekniğin z Skor Standartlaştırma Yöntemi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Doğrusal Orantı Normalizasyonu, Toplama Göre Doğrusal Normalizasyon ve Vektör Normalizasyonu tekniklerinin ağırlık skorları arasında yüksek düzeyde anlamlı korelasyon ilişkileri bulunduğu tespit edilmiş, bu üç normalizasyon tekniğinin birbirine alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür. Logaritmik normalizasyon tekniğinin en düşük performansı sergilediği ve CRITIC yöntemi kapsamında kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır

Anahtar Kelimeler

Normalizasyon, Kriter Ağırlıklandırma, CRITIC.

Abstract

Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods enable the selection of the most appropriate option among multiple alternatives by considering various criteria. In these methods, the first step involves the weighting of criteria to determine their relative importance. In practice, the presence of different measurement units among criteria complicates direct comparison and necessitates their transformation into a dimensionless form. Accordingly, normalization techniques play a crucial role in this process. However, there is no consensus in the literature regarding the most suitable normalization technique for a given criteria weighting method. This study aims to comprehensively analyze the impact of six widely used normalization techniques on the results of criteria weighting methods using the CRITIC method. The conformity of the CRITIC method results, obtained using six different normalization techniques, to a normal distribution was examined using the Shapiro-Wilk test. Pearson correlation analysis was then applied to the weight scores that followed a normal distribution to assess the relationships between them. According to the research findings, the Z-Score Standardization Method was identified as the best alternative to replace the Linear Constant Normalization technique, which is originally used in the CRITIC method. Additionally, a strong and significant correlation was found between the weight scores obtained from the Linear Ratio Normalization, Linear Normalization by Sum, and Vector Normalization techniques, indicating that these three techniques could be used interchangeably as alternatives. On the other hand, the Logarithmic Normalization technique exhibited the poorest performance, leading to the conclusion that it is not suitable for use within the CRITIC method.

Keywords

Normalization, Criterion Weighting, CRITIC.

Giriş

Günlük yaşamda farklı alanlarda sıklıkla karar verme problemleriyle karşılaşılmakta ve bu sorunlara çözüm geliştirme çabaları sürdürülmektedir. Personel seçimi, makine seçimi, tedarikçi seçimi, malzeme seçimi gibi kritik seçim süreçleri, bu tür karar verme problemlerine örnek olarak verilebilir. Bu tip karar verme problemlerinde, bir alternatif değerlendirilirken değerlendirme süreci içerisinde birden fazla kriter dikkate alınmaktadır. Çünkü bazen bir alternatifin etkilendiği çok sayıda kriter olabilmektedir.

Çeşitli alternatifler arasından birden fazla kriter göz önünde bulundurularak yapılacak seçimlerde, karar üzerinde etkili olan en belirleyici faktör, söz konusu kriterlerin alternatifler üzerindeki ağırlık dereceleridir. Her bir kriterin farklı önem düzeylerine sahip olması nedeniyle, alternatifler arasında yapılacak sıralama, bu kriterlerin ağırlıklarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu bağlamda, ÇKKV yöntemlerinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, kriterlerin alternatifler üzerindeki öncelik derecelerine göre doğru bir şekilde ağırlıklandırılması büyük önem taşımaktadır (Bardakçı, 2018).

Kriter ağırlıklandırma işlemi, her bir kritere atfedilen önem derecelerini ifade etmektedir. Bu ağırlık değerleri genellikle [0,1] aralığında olup, toplamlarının 1'e eşit olması gerekmektedir. Karar verme sürecinde dikkate alınacak kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde, çeşitli kriter ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler, çok kriterli karar verme problemlerinde, karar alma aşamasına geçilmeden önce gerçekleştirilmesi gereken kritik adımlar olarak öne çıkmaktadır.

Literatür taramaları, çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan çeşitli kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin mevcut olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yöntemler, genel olarak üç ana kategoriye ayrılmaktadır: sübjektif (öznel), objektif (nesnel) ve karma yöntemler. Sübjektif ağırlıklandırma yöntemleri, karar vericinin kişisel değerlendirmelerine ve subjektif yargılarına dayanmaktadır. Bu tür yöntemlere SWARA, SMART, AHP ve Delphi gibi teknikler örnek olarak verilebilir. Öte yandan, objektif ağırlıklandırma yöntemleri, ham verilerin matematiksel analizine dayanmakta olup, karar vericinin tercihlerinden ziyade analitik modeller ve algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yaklaşımlar arasında ENTROPY, TOPSIS, varyasyon yöntemi, çoklu korelasyon yöntemi, temel bileşenler analizi, çok amaçlı optimizasyon yöntemleri, Linmap ve CRITIC gibi yöntemler yer almaktadır. Karma ağırlıklandırma yöntemleri ise, sübjektif ve objektif yaklaşımların birleşiminden türetilen çeşitli teknikleri kapsamaktadır (Bardakçı, 2018).

Değerlendirme ölçütleri olarak kullanılan kriterlerin aynı ölçüm birimine sahip olması, pratikte oldukça nadiren karşılaşılan bir durumdur. Farklı ölçüm birimlerine sahip kriterlerin bir arada incelenebilmesine imkan tanıyan çok kriterli karar verme yöntemleri, bu sorunun çözülmesinde temel olarak iki ana yaklaşıma başvurmaktadır: Birincisi, alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yaparak, ikincisi ise normalizasyon tekniklerini kullanarak verileri ortak bir ölçeğe dönüştürmektir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP), Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP), Bulanık Analitik Ağ Süreci (FANP), ELECTRE ve PROMETHEE gibi yöntemler, kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapmayı tercih ederken; MOORA, TOPSIS ve COPRAS gibi yöntemler, farklı ölçüm birimlerine sahip verileri karşılaştırılabilir hale getirmek için normalizasyon tekniklerinden faydalanmaktadır. WSM ve WPM yöntemleri, ortak bir değerlendirme ölçeği kullanmaya yönelmekte, ancak bu yaklaşım, subjektif yargıların değerlendirme sürecine dâhil edilmesi riskini taşımaktadır (Özdağoğlu, 2013; Wang vd., 2009). Literatürde, farklı ölçüm birimleri sorununu aşabilmek amacıyla geniş bir yelpazede normalizasyon tekniklerinin kullanıldığına dair birçok örnek bulunmaktadır. Aynı zamanda literatürde yer alan ÇKKV konulu çok sayıda çalışmada farklı normalizasyon tekniklerinin kullanıldığı görülmektedir (Satıcı, 2021).

Kullanılan normalizasyon tekniklerine ilişkin belirli bir uygulama birliğinin bulunmaması, bu çalışmanın gerekliliğini ortaya koyan temel bir unsurdur. Bu bağlamda, farklı normalizasyon tekniklerinin ÇKKV problemlerinde uygulanan kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sonuçları üzerindeki etkisini incelemek, önemli bir araştırma sorusu olarak gündeme gelmektedir. Bu araştırmada bu soruya cevap aranmış ve literatürde yaygın olarak kullanılan normalizasyon teknikleri olan Doğrusal Orantı Yöntemi, Doğrusal Sabit Yöntemi, Toplama Göre Doğrusal Normalizasyon Tekniği, Vektör Normalizasyonu, z Skor Standartlaştırma Yöntemi ve Logaritmik Normalizasyon tekniklerinin kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sonuçlarına etkisi CRITIC yöntemi temelinde incelenmiştir.

1. Yöntem

Bu bölümde araştırmada kullanılan normalizasyon teknikleri ve CRITIC ağırlıklandırma yöntemi hakkında bilgi verilmektedir.

1.1. Normalizasyon Teknikleri

Çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan karar matrislerinde genellikle farklı ölçeklendirme işlemi sonucu

elde edilen ve farklı birimlerle ifade edilen kriterler bulunmaktadır. Matematiksel işlemler açısından, farklı birimlerle ifade edilen ölçüm değerlerinin toplanması veya çıkarılması, mantıklı ve anlamlı bir işlem olarak kabul edilmez. Bu tür işlemler, birimler arasındaki uyumsuzluk nedeniyle matematiksel geçerlilikten yoksundur (Akdemir, 2009). Bununla birlikte karar matrisinde yer alan kriterlerin yönü de çoğu zaman farklıdır. Bir kriterin alması gereken değerin maksimum ya da minimum olması durumu kriterin yönünü belirlemektedir. Karar problemlerinde genel olarak kar amacı durumunda maksimum değer, maliyet problemlerinde ise minimum değer amaçlanmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı karar verme problemindeki alternatifleri orijinal ölçüm değerlerini kullanarak birbiriyle kıyaslamak imkânsızdır. Bahsedilen olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla, karar matrisindeki orijinal değerlerin ortak bir ölçekle ifade edilmesi gerekmektedir. Bu süreç, tüm kriterlerin tek bir birimle ifade edilmesine olanak tanır. Sayısal verilerin ortak bir ölçekle ifade edilmesinde çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler, ÇKKV yöntemlerinde normalizasyon aşaması olarak öne çıkmaktadır. ÇKKV yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan ölçeklendirme tekniklerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır. (Arslan, 2018; Satıcı, 2021).

1.1.1. Doğrusal Orantı Normalizasyonu

Bu yöntemde, kriterlerin maksimum ve minimum değerleri belirlenerek, orijinal verilere belirli matematiksel işlemler uygulanır. Bu işlemler sonucunda, veriler ölçeklendirilmiş (R_{ij}) değerlere dönüştürülür (Clemen, 1990).

$$\text{Fayda kriteri için: } R_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{jmaks}}$$

$$\text{Maliyet kriteri için: } R_{ij} = \frac{X_{jmin}}{X_{ij}}$$

Burada X_{jmaks} j. kriterdeki en yüksek değeri, X_{jmin} ise j. kriterdeki en düşük değeri ifade etmektedir. Doğrusal orantı yönteminde, orijinal veriler arasındaki orantı korunarak ölçeklendirme işlemi gerçekleştirilir. Bu süreçte, maliyet kriterinin yönü, fayda kriterleriyle uyumlu hale getirilir. Ölçeklendirme sonucunda, tüm değerler 0 ile 1 arasındaki bir aralığa yerleştirilir. Hem maliyet hem de fayda kriterleri için 1 değeri, en iyi alternatifi; 0 değeri ise en kötü alternatifi temsil eden kritik değerleri göstermektedir.

1.1.2. Doğrusal Sabit Normalizasyonu

Doğrusal sabit yöntemi, doğrusal orantı yönteminde mevcut olan orijinal değerler arasındaki orantının korunma özelliğine sahip değildir. Bu yöntemde de ilk adım, fayda ve maliyet kriterlerinin belirlenmesi ve ardından her bir kritere ait maksimum ve minimum değerlerin tespit edilmesidir. Aşağıda verilen dönüşümler kullanılarak ölçeklendirilmiş değerler (R_{ij}) elde edilmektedir (Zavadskas, Turskıs, 2008).

$$\text{Fayda kriteri için: } R_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmaks} - X_{jmin}}$$

$$\text{Maliyet kriteri için: } R_{ij} = \frac{X_{jmaks} - X_{ij}}{X_{jmaks} - X_{jmin}}$$

Burada X_{jmaks} j. kriterdeki en yüksek değeri, X_{jmin} ise j. kriterdeki en düşük değeri ifade etmektedir. Ölçeklendirme işlemi tamamlandığında, tüm değerler 0 ile 1 arasındaki bir aralığa yerleştirilir. Hem maliyet hem de fayda kriterleri için 1 değeri, en iyi alternatifi; 0 değeri ise en kötü alternatifi temsil eden kritik değerleri ifade etmektedir. Bu süreçte, kriterlerin yönü değişmemekle birlikte, maliyet kriterinin yönü, kullanılan fayda kriterleriyle uyumlu hale getirilir.

1.1.3. Toplama Göre Doğrusal Normalizasyon

Bu yöntemde orijinal değerler kriterin aldığı değerlerin toplamı belirlenerek aşağıdaki işlemler yardımıyla ölçeklendirilmiş değerlere (R_{ij}) dönüştürülür (Çelen, 2014).

$$\text{Fayda kriteri için: } R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}}$$

$$\text{Maliyet kriteri için: } R_{ij} = \frac{1/X_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} 1/X_{ij}}$$

Ölçeklendirme işlemi sonunda elde edilen değerler 0-1 aralığında değer almaktadır. Hem maliyet hem de fayda kriterleri için, 1 değeri en iyi alternatifi, 0 değeri ise en kötü alternatifi temsil etmektedir. Bu yöntem kapsamında, maliyet kriterinin yönü, fayda kriterlerinin yönüyle uyumlu hale getirilmekte ve böylece tüm kriterler arasında tutarlı bir değerlendirme sağlanmaktadır.

1.1.4. Vektör Normalizasyonu

Vektör normalizasyonu yöntemi, her bir kriterin değeri ile o kriterin tüm değerlerinin karelerinin toplamının karekökü arasında bir oran hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, kriterlerin yönü ve orijinal değerler arasındaki orantı

korunmakta olup, verilerin ölçeklendirilmesi işlemi gerçekleştirilir. Yöntemde kullanılan ölçekleme fonksiyonu aşağıda verildiği gibidir (Zavadskas, Turskıs, 2008).

$$\text{Fayda ve Maliyet kriteri için: } R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}^2}}$$

Ölçeklendirme işlemi sonucunda, elde edilen tüm değerler 0 ile 1 arasında bir aralığa yerleşmektedir. Bu bağlamda, fayda kriterleri için en iyi alternatif 1 değeriyle, en kötü alternatif ise 0 değeriyle ifade edilmektedir. Maliyet kriteri için tam tersi bir durum söz konusudur. Çünkü kriterlerin yönü değişmemektedir.

1.1.5. z Skor Standartlaştırma Yöntemi

Bu yöntemde bir kriterde yer alan her bir değerin z standart değeri elde edilerek ölçeklendirme işlemi yapılır. Bu yönteme ilişkin matematiksel fonksiyon aşağıda sunulmuştur (Aktaş ve ark., 2015).

$$z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{jort}}{\sigma_j}$$

Bu noktada, X_{jort} ifadesi, j. inci kriterin ortalama değerini, σ_j ise j-inci kriterin değerlerinin standart sapmasını temsil etmektedir. Ölçeklendirme işlemi sırasında, orijinal değerler ile ölçeklendirilmiş veriler arasındaki orantı değişmekte, ancak kriterlerin yönü korunmaktadır. Başka bir deyişle, eğer bir kriter maliyet olarak belirlenmişse, ölçeklendirilmiş verilerde de bu kriterin yönü maliyet olarak kalmakta; fayda kriteri ise yine fayda olarak değerlendirilmekte, dolayısıyla yön değişmemektedir.

1.1.6. Logaritmik Normalizasyon

Logaritmik normalizasyon yönteminde orijinal değerler aşağıdaki dönüşümler yardımıyla ölçeklendirilmiş değerlere (R_{ij}) dönüştürülmektedir (Jahan ve Edwards, 2015).

$$\text{Fayda kriteri için: } R_{ij} = \frac{lnx_{ij}}{\ln\left(\prod_{i=1}^{m} x_{ij}\right)}$$

$$\text{Maliyet kriteri için: } R_{ij} = \frac{1 - \frac{lnx_{ij}}{\ln\left(\prod_{i=1}^{m} x_{ij}\right)}}{m-1}$$

Araştırmada kullanılan bu altı normalizasyon tekniği aşağıdaki Tablo 1'de verildiği şekilde kodlanmıştır.

Tablo 1. Araştırmada Kullanılan Normalizasyon Teknikleri

Kod	Normalizasyon Tekniği
N1	Doğrusal Orantı Yöntemi
N2	Doğrusal Sabit Yöntemi
N3	Toplama Göre Doğrusal Normalizasyon
N4	Vektör Normalizasyonu
N5	z Skor Standartlaştırma Yöntemi
N6	Logaritmik Normalizasyon

1.2. CRITIC Yöntemi

CRITIC (The Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemi, Diakoulaki ve arkadaşları (1994) tarafından önerilen bir kriter ağırlıklandırma tekniğidir. Bu yöntemin öne çıkan temel özelliği, kriter ağırlıklandırma sürecinde kriterler arasındaki korelasyonu dikkate almasıdır (Ghorabaee vd., 2018). Ayrıca, bu yöntemde her bir kriterin kendi içindeki standart sapma değeri de hesaba katılmaktadır. Kriterler arasındaki korelasyon, kriterlerin birbirlerine olan zıtlıklarını belirlemeye yardımcı olurken, standart sapma, bu zıtlıkların ağırlıklandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Böylelikle, karar vericinin ya da diğer katılımcıların sübjektif görüşlerine ihtiyaç duyulmadan, kriterlerin nesnel bir şekilde ağırlıklandırılması sağlanmaktadır. CRITIC yönteminin işlem adımları şu şekilde sıralanabilir (Demir ve Kartal, 2020; Arslan, 2020; Demir ve ark., 2021).

1. Adım: Bir karar problemi, m alternatif ve n kriterden oluştuğu varsayılsın. Her bir j. kriter için sırasıyla en iyi (f^{maks}) ve en kötü (f^{min}) değerler belirlenmiştir. Normalleştirilmiş değerler, aşağıda belirtilen fonksiyon kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - f_j^{min}}{f_j^{maks} - f_j^{min}} \text{ (fayda kriterleri için)}$$

$$r_{ij} = \frac{f_j^{maks} - x_{ij}}{f_j^{maks} - f_j^{min}} \text{ (maliyet kriterleri için)}$$

Görüldüğü üzere CRITIC yönteminin orijinal işlem basamaklarında normalizasyon tekniği olarak Doğrusal Sabit Yöntemi (N2) kullanılmaktadır.

2. Adım: Normalleştirilmiş karar matrisindeki kriter değerleri (sütunlar) arasındaki korelasyon katsayıları l_{kj} ile gösterilmektedir. Bu katsayılar, j. kriter ile diğer kriterler arasındaki zıtlıkları ortaya koymakta ve bu zıtlıkların derecesini ölçmektedir. Kriterler arasındaki yüksek korelasyon, birbiriyle benzer özelliklere sahip olduklarını gösterirken, düşük korelasyon ise kriterler arasındaki farklılıkları ve bağımsızlığı yansıtmaktadır. Bu şekilde, kriterlerin karşılıklı ilişkileri dikkate alınarak, karar verme sürecinde her bir kriterin göreli önemi daha hassas bir biçimde belirlenmektedir.

$$\sum_{k=1}^{n}(1 - l_{kj})$$

formülü ile hesaplanır. Burada, kriterler arasındaki korelasyonların hesaplanmasında Spearman sıra korelasyon katsayısı kullanılmaktadır. Bu yöntem, sıralı veri setlerinde ilişkiyi ölçmek için özellikle etkili olup, kriterler arasındaki ilişkiyi belirler. Spearman korelasyonu, verilerin doğrusal olmayan ilişkilerini de dikkate alarak, kriterler arasındaki sıralı bağıntıları daha doğru bir şekilde ortaya koymaktadır. Böylece, karar verme sürecinde kriterlerin birbirleriyle olan zıtlıkları ve benzerlikleri daha güvenilir bir biçimde değerlendirilmekte ve sonuçlar daha tutarlı hale getirilmektedir.

3. Adım: Karar problemlerinde, karar matrisinin içerdiği bilgi, kriterler arasındaki zıtlık ve etkileşimin yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, j. kriterdeki bilgi yoğunluğunu ifade etmek için, kriterler arasındaki zıtlıklar ve standart sapmalar dikkate alınarak bir bütünleştirme yaklaşımı kullanılır. Bu doğrultuda, j. kriterde yayılmış olan bilgi miktarı C_j aşağıdaki çarpımsal bütünleştirme formülü ile hesaplanır:

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^{n}(1 - l_{kj})$$

Burada hesaplanan C_j değerinin yüksek olması ilgili kriterin göreceli öneminin yani ağırlık değerinin de yüksek olduğunu göstermektedir. Bu yükseklik, temelde iki farklı kaynaktan kaynaklanmaktadır: İlki, kriterin kendi içerisindeki varyans değeri (σ_j), diğeri ise kriterler arası etkileşimleri temsil eden korelasyon değerleridir (l_{kj}). Kriterin kendi içerisindeki varyans değeri arttıkça, o kriterin taşıdığı bilgi düzeyi de artmaktadır. Yüksek bir varyans, kriterin değerlerinin geniş bir dağılım gösterdiğini ve dolayısıyla daha fazla bilgi içerdiğini işaret eder. Öte yandan, kriterler arasındaki korelasyonlar, kriterlerin birbirleriyle olan ilişkisini ve zıtlıklarını belirler. Bu korelasyonlar, kriterlerin birbirine ne kadar bağımlı veya zıt olduğunu göstererek, bilgi yoğunluğunun nasıl şekilleneceğini etkiler. Bu iki faktörün birleşimi, karar verme sürecindeki bilgi zenginliğini belirleyen temel unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

4. Adım: Nihayetinde, nesnel ağırlıklar, aşağıda verilen normalleştirme formülü aracılığıyla belirlenmektedir (Diakoulaki vd., 1994):

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^{n} C_k}$$

Burada, W_j, j. kriterin ağırlığını, C_j ise j. kriterin taşıdığı bilgi miktarını ifade etmektedir. Bu normalleştirme işlemi, tüm kriterlerin ağırlıklarının toplamının bir birime eşit olmasını sağlayarak, kriterler arasındaki bilgi yoğunluğuna dayalı nesnel bir ağırlıklandırma süreci sunmaktadır.

2. Uygulama ve Bulgular

Araştırmanın uygulama aşamasında Satıcı (2021) tarafından incelenen örnek karar problemi ele alınmıştır. Bu karar verme probleminde, belirlenen kriterler doğrultusunda alternatifler arasından en uygun özelliklere sahip elektrikli süpürgenin seçilmesi amaçlanmaktadır. Söz konusu problemde, farklı markaları temsil eden 7 alternatif elektrikli süpürge (A1, A2, ..., A7) bulunmaktadır. Değerlendirmeye alınan kriterler ise; Motor Gücü (K1), Ses Seviyesi (K2), Toz Kapasitesi (K3), Kablo Boyu (K4), Ağırlık (K5) ve Fiyat (K6) olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede, alternatiflerin performanslarının karşılaştırılabilmesi amacıyla oluşturulan karar matrisi aşağıdaki Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Araştırmada Kullanılan Karar Matrisi

	Motor Gücü (W)	Ses Seviyesi (dBA)	Toz Kapasitesi (L)	Kablo Boyu (m)	Ağırlık (kg)	Fiyat (TL)
	K1	K2	K3	K4	K5	K6

A1	800	74	2,5	7	7,05	1450
A2	800	70	3,5	6	5,13	1900
A3	800	77	2,2	8	6,2	3300
A4	750	69	3	9	9,5	2500
A5	450	63	3	9	10,1	3000
A6	800	77	2,2	8	6,2	4000
A7	800	76	5,5	6	5,9	1450
Kriter	Fayda	Maliyet	Fayda	Fayda	Maliyet	Maliyet

Araştırmada kullanılan karar matrisi göz önüne alındığında K1, K3 ve K4 kriterlerinin maksimum değer alması beklenen fayda kriterleri; K2, K5 ve K6 kriterlerinin ise minimum değer alması beklenen maliyet kriterleri olduğu ifade edilebilir (Tablo 2).

Bu aşamada, araştırmada kullanılan 6 farklı normalizasyon tekniği ile Tablo 2'de yer alan karar matrisi normalize edilmiştir. Örnek olarak, A4 alternatifi için K1 fayda kriteri ve K2 maliyet kriteri üzerinden N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 normalizasyon tekniklerine dayalı hesaplamalar aşağıda sunulmaktadır. Bu hesaplamalar, alternatiflerin her bir kriterdeki performansını objektif bir şekilde değerlendirebilmek amacıyla yapılan normalizasyon işlemlerini detaylı bir şekilde yansıtmaktadır.

$$R_{41}^{N1} = \frac{750}{800} = 0{,}9375; \quad R_{42}^{N1} = \frac{63}{69} = 0{,}9130$$

$$R_{41}^{N2} = \frac{700 - 450}{800 - 450} = 0{,}8571; \quad R_{42}^{N2} = \frac{77 - 69}{77 - 63} = 0{,}5714$$

$$R_{41}^{N3} = \frac{750}{800 + 800 + \cdots + 800} = 0{,}1442; \quad R_{42}^{N3} = \frac{1/69}{1/74 + 1/70 + \cdots + 1/76} = 0{,}1490$$

$$R_{41}^{N4} = \frac{750}{\sqrt{800^2 + 800^2 + \cdots + 800^2}} = 0{,}3767; \quad R_{42}^{N4} = \frac{69}{\sqrt{74^2 + 70^2 + \cdots + 76^2}} = 0{,}3599$$

$$Z_{41}^{N5} = \frac{750 - 742{,}85}{130{,}47} = 0{,}0547; \quad Z_{42}^{N5} = \frac{69 - 72{,}29}{5{,}22} = -0{,}6296$$

$$R_{41}^{N6} = \frac{ln\,(750)}{ln(800 * 800 * \ldots * 800)} = 0{,}1434; \quad R_{42}^{N6} = \frac{1 - \frac{ln\,(69)}{ln(74*70*\ldots*76)}}{7 - 1} = 0{,}1431$$

Yine örnek olması bakımından bu hesaplamalar sonucunda elde edilen altı farklı normalizasyon matrisinden N1 ve N4 normalizasyon tekniklerine ait olan iki tanesi aşağıda verilmiştir.

Tablo 3. Elde Edilen Normalizasyon Matrisleri

	N1 Normalizasyon Matrisi							N4 Normalizasyon Matrisi					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6		K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	1	0,8514	0,4545	0,7778	0,7277	1	A1	0,4018	0,3861	0,2860	0,3453	0,3617	0,2052
A2	1	0,9	0,6364	0,6667	1	0,7632	A2	0,4018	0,3652	0,4003	0,2960	0,2632	0,2688
A3	1	0,8182	0,4000	0,8889	0,8274	0,4394	A3	0,4018	0,4017	0,2516	0,3946	0,3181	0,4669
A4	0,9375	0,9130	0,5455	1	0,5400	0,5800	A4	0,3767	0,3600	0,3432	0,4439	0,4874	0,3537
A5	0,5625	1	0,5455	1	0,5079	0,4833	A5	0,2260	0,3287	0,3432	0,4439	0,5181	0,4245
A6	1	0,8182	0,4000	0,8889	0,8274	0,3625	A6	0,4018	0,4017	0,2516	0,3946	0,3181	0,5659
A7	1	0,8289	1	0,6667	0,8695	1	A7	0,4018	0,3965	0,6291	0,2960	0,3027	0,2052

Araştırmada kullanılan altı farklı normalizasyon tekniği kullanılarak normalizasyon matrisleri elde edildikten sonra önce karar matrislerindeki her bir kriter için $\sum_{k=1}^{n}(1 - l_{kj})$ formülü kullanılarak kriterler arasındaki zıtlık değerleri, daha sonra ise her bir kriter için σ_j standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Ardından $C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^{n}(1 - l_{kj})$ eşitliği kullanılarak altı normalize edilmiş matrisin her bir kriteri için C_j bilgi miktarları Tablo 4'te verildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 4. Kriterlere Ait Bilgi Miktarı (C_j) Değerleri

Normalizasyon Tekniği	K1	K2	K3	K4	K5	K6	$\sum C_j$

N1	0,9427	0,3451	0,8528	1,0368	0,9073	1,1109	5,1956
N2	2,1548	1,9240	1,4214	3,1103	1,9419	1,6119	12,1643
N3	0,1450	0,0563	0,2142	0,1761	0,1712	0,2400	1,0028
N4	0,3788	0,1405	0,5365	0,4603	0,4951	0,5816	2,5927
N5	5,7802	5,1612	4,0840	7,3332	5,0770	4,2158	31,6515
N6	0,0269	0,0021	0,1712	0,0900	0,0157	0,0052	0,3111

Son adım olarak altı normalize edilmiş matrislerde yer alan her bir kriter için $W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^{n} C_k}$ eşitliği kullanılarak nesnel ağırlık değerleri (w_j) hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir. Örneğin, N1 normalizasyon tekniği altında kriterlere ait kriter ağırlıkları aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$w_1^{N1} = \frac{C_1}{\sum_{k=1}^{6} C_k} = \frac{0,9427}{5,1956} = 0,1814 \qquad w_4^{N1} = \frac{C_4}{\sum_{k=1}^{6} C_k} = \frac{1,0368}{5,1956} = 0,1995$$

$$w_2^{N1} = \frac{C_2}{\sum_{k=1}^{6} C_k} = \frac{0,3451}{5,1956} = 0,0664 \qquad w_5^{N1} = \frac{C_5}{\sum_{k=1}^{6} C_k} = \frac{0,9073}{5,1956} = 0,1746$$

$$w_3^{N1} = \frac{C_3}{\sum_{k=1}^{6} C_k} = \frac{0,8528}{5,1956} = 0,1641 \qquad w_6^{N1} = \frac{C_6}{\sum_{k=1}^{6} C_k} = \frac{1,1109}{5,1956} = 0,2138$$

Tablo 5. Kriter Ağırlık Değerleri (w_j)

Normalizasyon Tekniği	K1	K2	K3	K4	K5	K6
N1	0,1814	0,0664	0,1641	0,1995	0,1746	0,2138
N2	0,1771	0,1582	0,1168	0,2557	0,1596	0,1325
N3	0,1446	0,0561	0,2136	0,1756	0,1707	0,2394
N4	0,1461	0,0542	0,2069	0,1775	0,1910	0,2243
N5	0,1826	0,1631	0,1290	0,2317	0,1604	0,1332
N6	0,0864	0,0069	0,5502	0,2892	0,0506	0,0167

Tablo 5'teki bulgulara göre N1, N3 ve N4 normalizasyon teknikleri kullanılarak yapılan CRITIC ağırlıklandırma işlemi sonucunda Fiyat (K6) kriteri en önemli kriter olarak belirlenmiştir. N2 ve N5 normalizasyon teknikleri kullanılarak yapılan işlem sonucunda Kablo Boyu (K4) kriterinin en önemli kriter olarak belirlendiği görülmektedir. N6 normalizasyon tekniğinin kullanıldığı ağırlıklandırma işlemi sonucunda ise Toz Kapasitesi (K3) kriteri en önemli kriter olarak ön plana çıkmıştır.

Bu aşamada, Tablo 5'te verilen altı farklı normalizasyon tekniği kullanılarak elde edilen CRITIC ağırlıklandırma işlemlerine ait sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığı, ikili korelasyon analizleri ile incelenmiştir. Bu analizler, farklı normalizasyon yöntemlerinin CRITIC ağırlıklandırma sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirmek ve söz konusu ilişkilerin güvenilirliğini istatistiksel açıdan belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Korelasyon analizi öncesinde elde edilen ağırlık değerlerinin normal dağılım gösterip göstermediği analiz edilmiştir. Örneklem büyüklüğü 50'den küçük (n=6) olduğu için Mayers'e (2013) göre bu durumda en güçlü olan ve dolayısıyla kullanılması en uygun test olan Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Shapiro-Wilk testi sonucunda elde edilen bulgular, Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Shapiro-Wilk Normallik Testi Sonuçları

Normalizasyon Tekniği	Test İstatistiği	Serbestlik derecesi	p-değeri
N1	0,813	6	0,077
N2	0,880	6	0,269
N3	0,933	6	0,607
N4	0,870	6	0,226
N5	0,908	6	0,422
N6	0,800	6	0,059

Tablo 6'da yer alan Shapiro-Wilk testi sonuçları incelendiğinde, tüm p-değerlerinin 0,05'ten büyük olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, her bir normalizasyon tekniği için elde edilen CRITIC kriter ağırlık değerlerinin normal dağılıma uygun olduğunu göstermektedir. Bu bulgu doğrultusunda, korelasyon analizi için parametrik bir yöntem olarak Pearson korelasyon katsayısı tercih edilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonucunda elde edilen bulgular, Tablo 7'de sunulmuştur. Bu analiz, kriter ağırlıkları arasındaki ilişkilerin derecesini ve yönünü belirleyerek, kullanılan normalizasyon tekniklerinin birbirleriyle ne kadar tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 7. Korelasyon Analizi Sonuçları

	N1	N2	N3	N4	N5	N6
N1	1	0,188	0,865*	0,885*	0,122	0,176
N2		1	0,217	0,164	0,990**	0,034
N3			1	0,983**	0,301	0,397
N4				1	0,245	0,380
N5					1	0,036
N6						1

* Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.
** Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Korelasyon katsayısı, 0-0,25 aralığında çok zayıf, 0,26-0,49 aralığında zayıf, 0,50-0,69 aralığında orta düzeyde, 0,70-0,89 aralığında yüksek düzeyde ve 0,90-1,00 aralığında ise çok yüksek düzeyde bir ilişkiyi ifade etmektedir (Kalaycı, 2010). Tablo 7'de yer alan sonuçlar incelendiğinde, en yüksek anlamlı korelasyon ilişkisinin 0,990 korelasyon katsayısı ile N2 ve N5 normalizasyon teknikleri arasında bulunduğu söylenebilir. Bunu takiben, 0,983 korelasyon katsayısı ile N3 ve N4 teknikleri arasında da yüksek düzeyde bir anlamlı ilişki tespit edilmiştir. Kalaycı (2010) tarafından belirtilen korelasyon aralıklarına göre, her iki ilişki de çok yüksek düzeyde korelasyon olarak nitelendirilebilir. Ayrıca, N1 tekniği ile N3 ve N1 tekniği ile N4 arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0,865 ve 0,885 olarak hesaplanmış olup, bu iki ilişki de yüksek düzeyde bir korelasyonu göstermektedir. Bu bulgular, söz konusu normalizasyon teknikleri arasındaki güçlü ve anlamlı korelasyonları ortaya koymakta ve yöntemlerin birbirine olan yakınlıklarını göstermektedir.

3. Tartışma ve Sonuç

Gündelik hayatın hemen hemen her alanında karşılaşılan çok kriterli karar verme süreçlerinde göz önüne alınan kriterler farklı ölçüm birimlerine sahip olmaktadır. Bu durum değerlendirme süreci bakımından matematiksel olarak uygun olmamakta, çoğu zaman kriterlerin yönü de aynı olmamaktadır. Diğer bir ifadeyle, maksimizasyonu amaçlayan kriterler fayda kriteri, minimizasyonu amaçlayan kriterler ise maliyet kriteri olmak üzere iki farklı yönde olabilmektedir. Normalizasyon teknikleri, farklı ölçüm birimlerine sahip kriterlerin boyutsuz hale gelmesini sağlamakta ve sıklıkla bu kriterlerin aynı yönde ifade edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, farklı birimlerdeki verilerin karşılaştırılması mümkün hale gelirken, aynı zamanda analizde kullanılan kriterler arasındaki uyumsuzluklar da ortadan kaldırılmaktadır. Diğer taraftan, literatürde ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan birçok çalışmada farklı farklı normalizasyon tekniklerinin kullanıldığı, hangi yöntemde hangi normalizasyon tekniğinin kullanılabileceğine yönelik bir fikir birliğinin bulunmadığı görülmektedir. Bu bağlamda, farklı normalizasyon tekniklerinin çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinde uygulanan kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sonuçları üzerindeki etkileri, önemli bir araştırma konusu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu konu, kriterlerin sıralanması ve karar destek sistemlerinin doğruluğu üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olup, karar vericilerin en iyi alternatifleri belirlemede karşılaştıkları zorlukları çözmede kritik bir rol oynamaktadır.

Bu araştırmada ÇKKV tekniklerinde yaygın olarak tercih edilen farklı normalizasyon tekniklerinin kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sonuçlarına etkisi CRITIC yöntemi temelinde incelenmiştir. Bu amaçla elektrikli süpürge seçimine yönelik örnek bir karar problemi ele alınmıştır. Bu problemde 7 farklı elektrik süpürgesi markasının 6 farklı kritere göre sıralanması amaçlanmaktadır. Bu çok kriterli karar verme probleminin karar matrisi kullanılarak CRITIC kriter ağırlıklandırma yöntemi ile 6 farklı normalizasyon tekniğinin her biri için kriterlere ait ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen kriter ağırlık değerleri arasındaki ikili ilişkiler korelasyon analizi ile incelenmiştir.

Araştırma bulgularına göre, en güçlü ilişkinin Doğrusal Sabit Normalizasyonu (N2) ile z Skor Standartlaştırma Yöntemi (N5) sonuçları arasında olduğu belirlenmiştir. Diakoulaki vd. (1994) tarafından önerilen CRITIC ağırlıklandırma yönteminin orijinal işlem adımlarında normalizasyon yöntemi olarak Doğrusal Sabit Normalizasyonu (N2) kullanılmaktadır. Araştırmanın bu sonucuna göre CRITIC yönteminde kullanılabilecek diğer normalizasyon teknikleri arasında orijinal tekniğe en iyi alternatifin z Skor Standartlaştırma Yöntemi (N5) olduğu ifade edilebilir.

Araştırmanın bir diğer bulgusuna göre Doğrusal Orantı Normalizasyonu (N1), Toplama Göre Doğrusal Normalizasyon (N3) ve Vektör Normalizasyonu (N4) tekniklerinin ağırlık skorları arasında yüksek ve çok yüksek düzeyde anlamlı korelasyon ilişkileri bulunduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre ise bu üç normalizasyon tekniğinin birbirine yakın ve aynı yönde değerler verdiği, dolayısıyla üç yöntemin birbirine alternatif olarak kullanılabileceği ifade edilebilir. Bununla birlikte üç yöntemin de CRITIC ağırlıklandırma yönteminin orijinal işlem adımlarında kullanılan Doğrusal Sabit Normalizasyonu (N2) ile anlamlı korelasyon ilişkilerine sahip olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçtan hareketle Doğrusal Orantı Normalizasyonu (N1), Toplama Göre Doğrusal Normalizasyon (N3) ve Vektör Normalizasyonu (N4) tekniklerinin CRITIC yönteminde normalizasyon adımında

kullanılmaya elverişli teknikler olmadığı ifade edilebilir.

Araştırma kapsamında son olarak Logaritmik Normalizasyon (N6) tekniği kullanılarak elde edilen CRITIC ağırlık skorlarının CRITIC yönteminin orijinal normalizasyon tekniği olan Doğrusal Sabit Normalizasyonu (N2) de dâhil olmak üzere diğer beş tekniğin ağırlık skorları ile anlamlı korelasyon ilişkilerine sahip olmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda Logaritmik Normalizasyon (N6) tekniğinin CRITIC kriter ağırlıklandırma yönteminde normalizasyon işleminde kullanılmasının uygun olmadığı söylenebilir.

Araştırmanın uygulama bölümünde kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden sadece CRITIC yöntemi dikkate alınmıştır. Aynı zamanda normalizasyon tekniklerinden en yaygın kullanıldığı düşünülen altı tanesi analizlerde kullanılmıştır. Bunlar araştırmanın sınırlılıkları olarak ifade edilebilir. Araştırmanın bulgularıyla birlikte bahsedilen bu sınırlılıkları göz önüne alınarak araştırmacılara aşağıdaki öneriler sunulabilir:

Yapılacak çalışmalarda diğer kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sonuçlarının farklı normalizasyon tekniklerinin kullanılmasından ne derece etkilendiği araştırılabilir.

Bu çalışmada kullanılan normalizasyon tekniklerinin haricinde literatürde kullanılan farklı normalizasyon teknikleri de ele alınarak CRITIC yönteminin ve diğer kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılabilir.

Yapılacak daha kapsamlı çalışmalar ile çok sayıda farklı ÇKKV problemi kullanılarak bu araştırmanın sonuçlarının genelleştirilebilir olup olmadığı incelenebilir.

Kaynakça | References

Akdemir, B. (2009). Tahmin Uygulamalarında Performans Geliştirmek İçin Kullanılan Normalizasyon Metotlarına Yeni Bir Yaklaşım. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aktaş, R., Doğanay, M. M., Gökmen, Y., Gazibey, Y. & Türen, U. (2015). Sayısal Karar Verme Yöntemleri. Beta Yayınevi.

Arslan, R. (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bütünleştirilmesi: OECD Verileri Üzerine Bir Uygulama. Doktora Tezi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Arslan, R. (2020). CRITIC Yöntemi. Editör: H. Bircan (Ed.). Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri. Nobel Akademik Yayıncılık.

Bardakçı, S. (2020). SWARA Yöntemi. H. Bircan (Ed.). Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri. Nobel Akademik Yayıncılık.

Demir, G., Özyalçın, T. ve Bircan, H. (2021). Çok kriterli karar verme yöntemleri ve ÇKKV yazılımı ile problem çözümü. Nobel, Ankara.

Demir, G. ve Kartal, M. (2020). Güncel Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri. Akademisyen Kitabevi. Ankara.

Clemen, R. (1990). Making Hard Decision. Duxbury Press.

Çelen, A. (2014). Comparative Analysis of Normalization Procedures in TOPSIS Method: With an Application to Turkish Deposit Banking Market. Informatica, 25(2), 185-208.

Diakoulaki, D., Mavrotas, G. & Papayannakis, L. (1994). Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method. Computers Ops Res, 22(7), 763-770.

Ghorabaee, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K. & Antucheviciene, J. (2018). A New Hybrid Fuzzy MCDM Approach for Evaluation of Construction Equipment with Sustainability Considerations. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 18, 32-49.

Jahan, A., & Edwards, K. L. (2015). A State-Of-The-Art Survey On The Influence Of Normalization Techniques in Ranking: Improving The Materials Selection Process in Engineering Design. Materials and Design, 65, 335-342.

Kalaycı, Ş. (2010). SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayın Dağıtım.

Mayers, A. (2013). Introduction to Statistics and SPSS in Psychology. Pearson Education Limited.

Özdağoğlu, A. (2013). Çok Ölçütlü Karar Verme Modellerinde Normalizasyon Tekniklerinin Sonuçlara Etkisi: COPRAS Örneği. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 8(2), 229-252.

Satıcı, S. (2021). Farklı Normalizasyon Tekniklerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Etkisi: WASPAS Örneği. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 2, 350-361.

Wang, J-J. Jing, Y-Y. Zhang, C-F & Zhao, J-H. (2009), Review On Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2263–2278.

Zavadskas, E. K. & Turskis, Z. A. (2008). New Logarithmic Normalization Method in Games Theory. Informatica, 19(2), 303–314.