

Farklı Normalizasyon Yöntemlerinin TOPSIS'te Karar Verme Sürecine Etkisi

The Effects of Different Normalization Methods to Decision Making Process in TOPSIS

Aşkın ÖZDAĞOĞLU¹

ÖZET

Çok sayıda alternatifin olması durumu bir karar verme problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu alternatiflerin karşılaştırılırken de birden çok değerlendirme ölçütünün bir arada incelenmesi kaçınılmaz bir durumdur. Bu tür karar verme problemlerinde kullanılabilen çeşitli çok ölçütlü karar verme yöntemleri mevcuttur. Bazı çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin işleyiş aşamalarında ölçüm birimleri birbirinden farklı olan değerlendirme ölçütlerinin birlikte incelenmesini sağlamak amacıyla normalizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak aynı çok ölçütlü karar verme yönteminde farklı normalizasyon yöntemlerinin kullanıldığı da görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi için tüm normalizasyon yöntemlerinin örnek veri setleri üzerinde denenip sonuçlarının karşılaştırılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Normalizasyon yöntemleri, çok ölçütlü karar verme, TOPSIS yöntemi.

ABSTRACT

Existing of many different alternatives has revealed a decision making problem. The analysis of many different evaluation criteria when comparing the alternatives is an inevitable situation. There are various multi criteria decision making methods which can be used in these decision making problems. Normalization methods have been used for analyzing the evaluation criteria which have got different measurement units in some multi criteria decision making method. However, different normalization methods can be used for the same multi criteria decision making method. The purpose of this study is to compare of the results by trying of all normalization methods in TOPSIS method via sample data sets.

Keywords: Normalization methods, multi criteria decision making, TOPSIS method.

1. GİRİŞ

İşletmeler karşılaştıkları problemleri çözebilmek için bir çok değerlendirme ölçütünü birlikte göz önüne almak zorundadırlar. Bir karar verme olayından söz edilebilmesi için de elde mevcut çok sayıda alternatiften söz edilmesi gerekmektedir. İşte çok sayıda değerlendirme ölçütünü bir arada göz önüne alarak farklı alternatiflerin karşılaştırılması gerekliliği çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Karar verme sürecindeki diğer bir sorun da, karar verme süreci üzerinde etkisi olan değerlendirme ölçütlerinin doğal olarak farklı ölçüm birimlerine sahip olabilmesidir. Farklı birimlere sahip olan ölçütleri aynı potada eritebilmek amacıyla çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin bazılarının işleyişinde normalizasyon yöntemlerine başvurulmaktadır. Ancak bu normalizasyon yöntemleri doğrusal normalizasyon türleri, vektör normalizasyonu gibi pek çok farklı şekilde uygulanabilmektedir. Farklı çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin farklı normalizasyon yöntemlerine başvurusunun yanında aynı çok ölçütlü karar verme yönteminde bile farklı normalizasyon

yönteminin tercih edildiği literatürde sıklıkla görülen bir durumdur. İşte bu nedenle, farklı normalizasyon yöntemlerinin çok ölçütlü karar verme yönteminde kullanılması durumunda sonuçların nasıl etkileneceği hakkında bir bilgiye ulaşmak bu çalışmanın çıkış noktasını oluşturmuştur. Bu incelemeyi gerçekleştirmek amacıyla 10 alternatif ve 5 değerlendirme ölçütü içeren 10 farklı veri seti üretilerek bu veri setleri üzerinde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama sürecinde 6 farklı normalizasyon yöntemi aynı veri setleri için kullanılmıştır. Bu çalışmada, ilk olarak normalizasyon yöntemleri açıklanacaktır. Normalizasyon yöntemleri hakkında bilgi verilmesinden sonra farklı çok ölçütlü karar verme yöntemleri için hangi normalizasyon yöntemlerinin kullanıldığı konusunda literatürde yer alan çalışmalar hakkında bilgi verilecek, çalışma kapsamında kullanılan TOPSIS yönteminin işleyişi açıklanacak ve ardından örnek veri setleri üzerinde hesaplamalar açıklanarak sonuçlar karşılaştırılacaktır.

2. NORMALİZASYON YÖNTEMLERİ

Normalizasyon yöntemleri üç ana başlıkta toplanabilmektedir.

- * Vektör normalizasyonu,
- * Doğrusal Normalizasyon,
- * Monoton olmayan normalizasyon.

Bu normalizasyon yöntemlerinden doğrusal normalizasyon da farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Yöntemlerin uygulanışına ilişkin formüller sunulmadan önce değişkenlerin tanıtılması yerinde olacaktır. Bir çok ölçütlü karar verme probleminde normalizasyon işlemine tabi olacak değişkenler aşağıdaki gibi gösterilsin (Shih vd., 2007: 805).

A_i :i.alternatif $i=1,2,\dots,m$

C_j :değerlendirme ölçütü $j=1,2,\dots,n$

x_{ij} :j.değerlendirme ölçütü açısından i.alternatifin değeri

Bu değişkenlere göre oluşan karar matrisi 1 numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$D = \begin{matrix} A_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ A_3 & x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Normalizasyon yöntemlerinin bu değişkenler doğrultusunda uygulanması Denklem 2-10 aralığında sunulmuştur.

Vektör normalizasyonu

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

Doğrusal normalizasyon (1)

$r_{ij} = x_{ij} / (x_j^*)$ $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; x_j^* = \max_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum maksimizasyon ise). (3)

$r_{ij} = (x_j^-) / x_{ij}$ $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; x_j^- = \min_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum minimizasyon ise). (4)

Doğrusal normalizasyon (2)

$r_{ij} = x_{ij} / (x_j^*)$ $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; x_j^* = \max_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum maksimizasyon ise). (5)

$r_{ij} = 1 - x_{ij} / (x_j^*)$ $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; x_j^* = \max_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum minimizasyon ise). (6)

Doğrusal normalizasyon (3)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^* - x_j^-} \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; x_j^* = \max_i(x_{ij}), x_j^- = \min_i(x_{ij}) \quad (7)$$

$r_{ij} = \frac{x_j^* - x_{ij}}{x_j^* - x_j^-}$ $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; x_j^* = \max_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum maksimizasyon ise). (8)

$r_{ij} = \frac{x_j^* - x_{ij}}{x_j^* - x_j^-}$ $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; x_j^* = \max_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum minimizasyon ise). (8)

Doğrusal normalizasyon (4)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Monoton olmayan normalizasyon

x_j^0 : j ölçütüne ilişkin en uygun değer

σ_j : j ölçütüne ilişkin değerlerin standart sapması

$$e^{-\frac{z^2}{2}}, z = \frac{x_{ij} - x_j^0}{\sigma_j} \quad (10)$$

3. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatür incelendiğinde çok ölçütlü karar verme yöntemi kullanılarak alternatifler arasında seçim yapılan bir çok çalışma ile karşılaşılmaktadır. TOPSIS yönteminin kullanıldığı çalışmalara bakıldığında çoğunlukla vektör normalizasyonunun tercih edildiği görülmektedir (Peng vd., 2011; Huang ve Huang, 2012; Sun vd., 2011; Sadeghzadeh ve Salehi, 2011; Aalami vd., 2010; Ayala, 2012; Kiran vd., 2011; Lozano-Minguez vd., 2011). Ancak aynı çok ölçütlü karar verme yöntemi içinde Doğrusal normalizasyon (2) olarak açıklanan yöntem (Ouattara vd., 2012) ile Doğrusal normalizasyon (3) olarak açıklanan yöntemin de (Mela vd., 2012; Dai ve Wang, 2011) tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmada örnek veri setleri üzerinde hesaplamalar yapılarak karşılaştırılacak olan TOPSIS için yukarıda açıklandığı üzere bir yöntem birliği bulunmamaktadır. Bu konuda diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerini de inceleyerek yöntem birliğinin bulunmadığını göstermek mümkündür. Örnek vermek gerekirse, EXPROM 2 için doğrusal normalizasyon (3) olarak açıklanan yöntem (Chatterjee ve Chakraborty, 2012); COPRAS için doğrusal normalizasyon (4) olarak açıklanan yöntem (Kaklauskas vd., 2010; Kaklauskas vd., 2007); MULTIMOORA için vektör normalizasyonu (Balezentis vd., 2012; Streimikiene vd., 2012) kullanılan çalışmalara rastlanmıştır. MOORA yöntemi için bazı çalışmalarda doğrusal normalizasyon (4) olarak açıklanan yöntem (Karande ve Chakraborty, 2012); bazılarında ise vektör normalizasyonu (Chakraborty, 2011) kullanıldığı tespit edilmiştir. Doğrusal normalizasyon (1) olarak açıklanan yöntem ile monoton olmayan normalizasyon

yonun kullanıldığı bir çok ölçütlü karar verme yöntemi çalışmasına rastlanamamıştır. Zaten literatürde de monoton olmayan normalizasyon yönteminin diğer normalizasyon yöntemlerine göre çok nadir kullanıldığı ifade edilmektedir (Shih vd., 2007). Yukarıda örnekleri verilen COPRAS, MULTIMOORA ve EXPROM 2 gibi bazı çok ölçütlü karar verme yöntemlerinde kendi içinde bir ortak normalizasyon yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Ancak bunun bir nedeni de bahsi geçen yöntemlerin nispeten daha yeni olmaları veya literatürde çok ölçütlü karar verme yöntemi olarak fazla kullanılmamalarıdır.

Bu kısımda ELECTRE ve PROMETHEE gibi bazı çok ölçütlü karar verme yöntemlerine değinilmemiştir. Çünkü bu yöntemlerin uygulama adımlarının başında alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmasından dolayı normalizasyon işlemine gerek kalmamaktadır. Ayrıca WSM ve WPM olarak adlandırılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin gerçekleştirilebilmesi için de karar verme sürecini etkileyen değerlendirme ölçütlerinin aynı ölçüm birimine sahip olmaları ya da 0-100 ölçeği gibi ortak bir performans değerine göre verilerin sunulması gibi uygulamada çok nadiren karşılaşılabilecek varsayımlar altında çalışma gerekliliklerinden ötürü uygulamada pek kullanılamamaktadırlar.

Yukarıda verilen örneklerde görüldüğü üzere kullanılan normalizasyon yöntemi üzerinde bir fikir birliğinin bulunmaması bu çalışmanın hareket nokasını oluşturmuştur. Normalizasyon yönteminin verilen karara etkisini görmek üzere 10 alternatif ve 5 değerlendirme ölçütü içeren 10 adet veri seti türetilmiş ve her bir veri seti için TOPSIS yönteminde tüm olası normalizasyon yöntemleri denenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna ilave olarak karar verme sürecinde karşılaşılabilecek tüm olası durumları ihtiva etmesi amacıyla 3 numaralı değerlendirme ölçütü için en iyi durumun en düşük değer olması şeklinde düzenleme yapılmıştır. İzleyen bölümde üzerinde deneme yapılacak olan TOPSIS yönteminin işleyişi hakkında bilgi verilecektir.

4. TOPSIS YÖNTEMİ

TOPSIS ilk olarak Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Ölçütlerin tüm en iyi değerlerinin bileşiminden oluşan pozitif ideal çözümlerle, en kötü değerlerinin bileşiminden oluşan negatif ideal çözümlerin olduğu bir çok ölçütlü karar verme problemini çözerken seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en kısa mesafede ve negatif ideal çözümden en uzak mesafede bulunması kavramına dayanmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981; Chen ve Tzeng, 2004). Aşağıda TOPSIS yönteminin adımları tanımlanmıştır (Shih vd., 2007).

Adım 1. Karar Matrisi (D) oluşturulur.

Karar matrisinin satırlarında $i, j=1,2,\dots,m$ alternatifler, sütunlarında ise $j, j=1,2,\dots,n$ ölçütler yer almaktadır. D matrisi karar verici tarafından oluşturulan veri matrisidir. Karar matrisi 11 numaralı denklemdeki gibi gösterilir:

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 2. Normalize karar matrisi (R) oluşturulur.

Normalizasyon işleminin gerçekleştirilmesinde farklı yöntemler mevcuttur. En sık kullanılanlar vektör normalizasyonu, doğrusal normalizasyon ve monoton olmayan normalizasyondur. Doğrusal normalizasyon içinde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Normalize edilmiş karar matrisi (R) için vektör normalizasyonu sıklıkla kullanılan bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Burada normalize edilmiş karar matrisi (R) için vektör normalizasyonu 12 numaralı denklemde belirtilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n. \quad (12)$$

Burada literatürde incelenen TOPSIS yöntemi kullanılmış olan çalışmalarda çoğunlukla vektör normalizasyonu ile karşılaşıldığından dolayı 12 numaralı denklem olarak vektör normalizasyonu işlemi verilmiştir. Bu çalışmada, belirtilen 12 numaralı denklemin yerine 3-10 numaralı denklemlerin hepsi denenerek sonuçlar incelenecektir. Normalizasyonla ilgili bu açıklamanın ardından yöntemin işleyişine geri döndüğünde R matrisi denklem 13 gibi elde edilir:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Adım 3. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi (Y) oluşturulur.

Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$). Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak Y matrisi oluşturulur. Y matrisi-denklemler 14'te gösterilmiştir:

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Adım 4. Pozitif İdeal (A^+) ve Negatif İdeal (A^-) çözümleri oluşturulur.

İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için Y matrisindeki ağırlıklandırılmış ölçütlerin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili ölçüt minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. Pozitif ideal çözüm setinin bulunması 15 numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$A^+ = \{(\max_i y_{ij} | j \in J), (\min_i y_{ij} | j \in J')\} \quad (15)$$

15 numaralı denklem yardımıyla hesaplanacak olan set 16 numaralı denklemde gösterildiği gibi olur.

$$A^+ = \{y_1^+, y_2^+, \dots, y_n^+\} \quad (16)$$

Negatif ideal çözüm seti ise, Y matrisindeki ağırlıklandırılmış ölçütlerin, bir başka deyişle, sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm setinin bulunması 17 numaralı denklem ile sağlanmaktadır.

$$A^- = \{(\min_i y_{ij} | j \in J), (\max_i y_{ij} | j \in J')\} \quad (17)$$

17 numaralı denklem yardımıyla hesaplanacak olan set 18 numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$A^- = \{y_1^-, y_2^-, \dots, y_n^-\} \quad (18)$$

Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir. Gerek pozitif ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, ölçüt sayısı yani n elemandan oluşmaktadır.

Adım 5. Her alternatifin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplanır.

TOPSIS yönteminde her bir alternatife ilişkin ölçüt değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm setinden uzaklıklarının belirlenmesinde Euclidian Uzaklık Yaklaşımından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen alternatiflere ilişkin uzaklık değerleri ise Pozitif İdeal çözüme uzaklık (S_i^+) ve Negatif İdeal çözüme uzaklık (S_i^-) olarak adlandırılmaktadır. Pozitif ideal çözüme uzaklık (S_i^+) değerinin hesaplanması 19 numaralı denklemde sunulmuştur.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2} \quad (19)$$

Negatif ideal çözüme (S_i^-) uzaklığın hesaplanması ise 20 numaralı denklemdeki gibidir.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2} \quad (20)$$

Burada hesaplanacak S_i^+ ve S_i^- sayısı karşılaştırılan alternatif sayısı kadardır.

Adım 6. İdeal çözüme göreceli yakınlık değerleri hesaplanır.

Her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında pozitif idealden ve nega-

tif idealden uzaklık ölçüleri kullanılmaktadır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal çözüme uzaklık değerinin pozitif ideal çözüme uzaklık değeri ile negatif ideal çözüme uzaklık değerinin toplamına oranıdır. İdeal çözüme göreceli yakınlık değerinin hesaplanması 21 numaralı denklemde sunulmuştur.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (21)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili alternatifin pozitif ideal çözüm noktasında bulunduğunu, $C_i^* = 0$ ilgili alternatifin negatif ideal çözüm noktasında bulunduğunu gösterir.

5. UYGULAMA

Çalışma kapsamında ilk aşamada 10 alternatif ve 5 değerlendirme ölçütüne göre 10 adet veri seti türetilmiştir. Veri türetme amacıyla Excel 2010 üzerinde "RASTGELEARADA" formülünden yararlanılmıştır. Modelin tüm olası durumları içermesi amacıyla her bir değerlendirme ölçütü için farklı sayı aralıklarında sayı türetilmiştir. Bu amaçla yazılan formüller Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Veri Türetimde Kullanılan Farklı Formüller

Değerlendirme Ölçütü Numarası	Yazılan Formül
Değerlendirme Ölçütü 1	=RASTGELEARADA(550;850)
Değerlendirme Ölçütü 2	=RASTGELEARADA(25;125)
Değerlendirme Ölçütü 3	=RASTGELEARADA(35;190)
Değerlendirme Ölçütü 4	=RASTGELEARADA(200;280)
Değerlendirme Ölçütü 5	=RASTGELEARADA(1040;1300)

Normalizasyon yöntemleri başlıklı bölümde de açıklandığı üzere modelin olası tüm durumları yansıtabilmesi için 3 numaralı değerlendirme ölçütünün birim üretim zamanı veya maliyet gibi düşük olmasının en iyi durumu gösterdiği düşünülerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de belirtilen formüller yazılarak elde edilen veri setleri Tablo 2'den incelenebilir.

Bu veri setleri üzerinde normalizasyon yöntemlerinin etkisini görmek amacıyla 12 numaralı denklemin yerine 3-10 aralığındaki denklemler tek tek denenerek 11-21 numaralı aralıkta yer alan denklemler kullanılarak TOPSIS yöntemi sonuçları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yöntemlerin işleyişini açıklamak amacıyla ilk veri seti için yapılan işlemler aşağıda açıklanmıştır.

İlk olarak 2 numaralı denklem kullanılarak normalize karar matrisi oluşturulur. Değerlendirme ölçütü 1 ile alternatif 1 kesişim hücresi değeri için aşağıdaki işlem gerçekleştirilir.

Tablo 2: Veri Setleri

		Değerlendirme Ölçütü 1	Değerlendirme Ölçütü 2	Değerlendirme Ölçütü 3	Değerlendirme Ölçütü 4	Değerlendirme Ölçütü 5
		En Büyük	En Büyük	En Küçük	En Büyük	En Büyük
Veri Seti 1	Alternatif 1	779	75	135	224	1059
	Alternatif 2	793	52	82	280	1074
	Alternatif 3	769	106	178	256	1228
	Alternatif 4	600	92	100	238	1110
	Alternatif 5	597	41	125	253	1149
	Alternatif 6	565	103	73	240	1100
	Alternatif 7	643	81	136	247	1174
	Alternatif 8	647	68	41	265	1091
	Alternatif 9	846	54	111	264	1261
	Alternatif 10	634	90	88	201	1079
Veri Seti 2	Alternatif 1	592	74	129	250	1294
	Alternatif 2	738	122	51	240	1297
	Alternatif 3	614	119	74	244	1057
	Alternatif 4	616	124	56	267	1111
	Alternatif 5	594	81	184	232	1099
	Alternatif 6	845	62	189	212	1280
	Alternatif 7	680	120	69	248	1170
	Alternatif 8	833	73	174	250	1140
	Alternatif 9	816	121	37	267	1179
	Alternatif 10	756	63	57	216	1234
Veri Seti 3	Alternatif 1	553	94	90	277	1089
	Alternatif 2	799	118	108	225	1185
	Alternatif 3	574	78	82	271	1242
	Alternatif 4	838	52	162	277	1287
	Alternatif 5	768	73	90	217	1081
	Alternatif 6	825	84	167	221	1206
	Alternatif 7	751	65	143	222	1168
	Alternatif 8	816	77	150	208	1040
	Alternatif 9	628	50	130	279	1206
	Alternatif 10	570	64	144	204	1177
Veri Seti 4	Alternatif 1	596	64	74	269	1266
	Alternatif 2	824	94	36	231	1261
	Alternatif 3	731	95	181	275	1290
	Alternatif 4	813	83	76	229	1175
	Alternatif 5	611	32	125	249	1276
	Alternatif 6	583	42	145	210	1107
	Alternatif 7	840	26	38	203	1174
	Alternatif 8	634	74	101	227	1093
	Alternatif 9	731	81	77	241	1103
	Alternatif 10	625	79	168	271	1127
Veri Seti 5	Alternatif 1	848	55	151	249	1211
	Alternatif 2	628	110	127	236	1120
	Alternatif 3	827	82	141	245	1288
	Alternatif 4	701	118	71	253	1099
	Alternatif 5	649	28	63	251	1220
	Alternatif 6	622	28	130	208	1111
	Alternatif 7	721	44	83	230	1149
	Alternatif 8	787	59	102	242	1264
	Alternatif 9	793	55	149	235	1073
	Alternatif 10	774	110	183	201	1220
Veri Seti 6	Alternatif 1	684	67	87	251	1263
	Alternatif 2	838	42	43	249	1278
	Alternatif 3	586	76	156	253	1061
	Alternatif 4	649	112	92	270	1044
	Alternatif 5	684	113	86	243	1153
	Alternatif 6	663	116	44	245	1122
	Alternatif 7	551	48	103	268	1066
	Alternatif 8	635	113	148	266	1063
	Alternatif 9	698	43	133	250	1278
	Alternatif 10	807	91	116	271	1152

		Değerlendirme Ölçütü 1	Değerlendirme Ölçütü 2	Değerlendirme Ölçütü 3	Değerlendirme Ölçütü 4	Değerlendirme Ölçütü 5
		En Büyük	En Büyük	En Küçük	En Büyük	En Büyük
Veri Seti 7	Alternatif 1	828	60	96	272	1154
	Alternatif 2	606	29	143	271	1209
	Alternatif 3	832	40	68	242	1092
	Alternatif 4	636	71	132	250	1261
	Alternatif 5	811	46	75	203	1224
	Alternatif 6	752	105	112	271	1190
	Alternatif 7	688	85	47	276	1180
	Alternatif 8	596	102	179	231	1123
	Alternatif 9	827	124	117	253	1150
	Alternatif 10	601	59	134	268	1245
Veri Seti 8	Alternatif 1	739	109	166	255	1270
	Alternatif 2	679	25	56	270	1237
	Alternatif 3	658	80	70	267	1203
	Alternatif 4	776	114	157	236	1098
	Alternatif 5	680	105	38	251	1097
	Alternatif 6	631	122	185	244	1142
	Alternatif 7	667	107	102	263	1222
	Alternatif 8	810	75	129	214	1087
	Alternatif 9	833	102	57	227	1219
	Alternatif 10	787	89	105	272	1101
Veri Seti 9	Alternatif 1	598	86	153	250	1133
	Alternatif 2	692	111	141	219	1183
	Alternatif 3	771	46	106	232	1298
	Alternatif 4	562	111	91	276	1299
	Alternatif 5	845	105	143	268	1125
	Alternatif 6	614	34	47	256	1158
	Alternatif 7	849	88	128	246	1181
	Alternatif 8	584	48	183	258	1116
	Alternatif 9	790	31	82	271	1152
	Alternatif 10	737	102	102	267	1062
Veri Seti 10	Alternatif 1	801	106	116	259	1288
	Alternatif 2	643	85	116	267	1257
	Alternatif 3	706	46	112	230	1183
	Alternatif 4	597	28	91	204	1242
	Alternatif 5	578	101	132	202	1065
	Alternatif 6	684	55	158	213	1292
	Alternatif 7	745	60	48	266	1280
	Alternatif 8	636	105	44	233	1175
	Alternatif 9	563	63	51	233	1057
	Alternatif 10	655	75	177	273	1166

779

$$\frac{779}{(779^2 + 793^2 + 769^2 + 600^2 + 597^2 + 565^2 + 643^2 + 647^2 + 846^2 + 634^2)} = 0,355104$$

İşlem tüm değerlere uygulandığında Tablo 3'teki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 3: Veri Seti 1 için Normalize Karar Matrisi

	Değerlendirme Ölçütü 1	Değerlendirme Ölçütü 2	Değerlendirme Ölçütü 3	Değerlendirme Ölçütü 4	Değerlendirme Ölçütü 5
	En büyük	En büyük	En küçük	En büyük	En büyük
Alternatif 1	0,355104	0,299952	0,377589	0,285938	0,295215
Alternatif 2	0,361486	0,207967	0,229350	0,357422	0,299396
Alternatif 3	0,350546	0,423932	0,497858	0,326786	0,342326
Alternatif 4	0,273508	0,367941	0,279695	0,303809	0,309432
Alternatif 5	0,272140	0,163974	0,349619	0,322956	0,320304
Alternatif 6	0,257553	0,411934	0,204178	0,306362	0,306644
Alternatif 7	0,293109	0,323948	0,380386	0,315297	0,327273
Alternatif 8	0,294933	0,271956	0,114675	0,338274	0,304135
Alternatif 9	0,385646	0,215965	0,310462	0,336998	0,351526
Alternatif 10	0,289007	0,359942	0,246132	0,256578	0,300790

Bu değerler ölçüt ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur. İlk hücre için yapılan işlem aşağıda verilmiştir.

$$0,2 * 0,355104 = 0,071021$$

İşlem tüm hücelere uygulandığında Tablo 4'teki değerler elde edilmiştir.

Tablo 4: Veri Seti 1 için Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

	Değerlendirme Ölçütü 1	Değerlendirme Ölçütü 2	Değerlendirme Ölçütü 3	Değerlendirme Ölçütü 4	Değerlendirme Ölçütü 5
	En Büyük	En Büyük	En Küçük	En Büyük	En Büyük
Alternatif 1	0,071021	0,059990	0,075518	0,057188	0,059043
Alternatif 2	0,072297	0,041593	0,045870	0,071484	0,059879
Alternatif 3	0,070109	0,084786	0,099572	0,065357	0,068465
Alternatif 4	0,054702	0,073588	0,055939	0,060762	0,061886
Alternatif 5	0,054428	0,032795	0,069924	0,064591	0,064061
Alternatif 6	0,051511	0,082387	0,040836	0,061272	0,061329
Alternatif 7	0,058622	0,064790	0,076077	0,063059	0,065455
Alternatif 8	0,058987	0,054391	0,022935	0,067655	0,060827
Alternatif 9	0,077129	0,043193	0,062092	0,067400	0,070305
Alternatif 10	0,057801	0,071988	0,049226	0,051316	0,060158

Ardından 15 numaralı denklem ile pozitif ideal çözüm seti bulunmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken husus, değerlendirme ölçütü 3 için zaman, maliyet gibi değerlerin mümkün olduğunca küçük olmasının en iyi durumu göstermesi nedeniyle diğer değerlendirme ölçütlerinden farklı olarak en büyük değil en küçük değerlerin seçilmesi gerektiğidir. Benzer

şekilde 17 numaralı denklem yardımıyla negatif ideal çözüm seti bulunur. Burada da değerlendirme ölçütü 3 için değerlerin büyük olmasının en kötü durumu göstermesinden dolayı en küçük değer değil en büyük değer seçilmelidir. 15 ve 17 numaralı denklemlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5: Veri Seti 1 için Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Setleri

	Değerlendirme Ölçütü 1	Değerlendirme Ölçütü 2	Değerlendirme Ölçütü 3	Değerlendirme Ölçütü 4	Değerlendirme Ölçütü 5
	En Büyük	En Büyük	En Küçük	En Büyük	En Büyük
Pozitif İdeal Çözüm Seti	0,077129	0,084786	0,022935	0,071484	0,070305
Negatif İdeal Çözüm Seti	0,051511	0,032795	0,099572	0,051316	0,059043

19 numaralı denklem kullanılarak her alternatif için pozitif ideal çözüme uzaklık değerleri hesaplanır. İlk alternatif için yapılan işlem aşağıda verilmiştir.

$$\sqrt{(0,071021 - 0,077129)^2 + \dots + (0,059043 - 0,070305)^2} = 0,061224$$

20 numaralı denklem kullanılarak her alternatif için negatif ideal çözüme uzaklık değerleri hesaplanır. İlk alternatif için yapılan işlem aşağıda verilmiştir.

$$\sqrt{(0,071021 - 0,051511)^2 + \dots + (0,059043 - 0,059043)^2} = 0,041633$$

Son olarak 21 numaralı denklem ile her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlık değerleri hesaplanır. İlk alternatif için yapılan işlem aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{0,041633}{0,061224 + 0,041633} = 0,404768$$

İlk veri setine ilişkin pozitif ideal çözüm setine uzaklık, negatif ideal çözüm setine uzaklık ve ideal çözüme göreceli yakınlık değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Veri Seti 1 için Pozitif İdeal Çözüm Setine Uzaklık, Negatif İdeal Çözüm Setine Uzaklık ve İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri

	Pozitif İdeal Çözüm Setine Uzaklık	Negatif İdeal Çözüm Setine Uzaklık	İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık
Alternatif 1	0,061224	0,041633	0,404768
Alternatif 2	0,050236	0,061651	0,551008
Alternatif 3	0,077223	0,057749	0,427861
Alternatif 4	0,043629	0,060625	0,581511
Alternatif 5	0,074249	0,032999	0,307687
Alternatif 6	0,034167	0,077548	0,694161
Alternatif 7	0,060506	0,042488	0,412530
Alternatif 8	0,036845	0,081643	0,689043
Alternatif 9	0,057271	0,050544	0,468800
Alternatif 10	0,041693	0,064122	0,605979

Farklı normalizasyon yöntemlerinin uygulanması işlem adımlarından ilki olan normalize karar matrisi hesaplamasını değiştirmekte ayrıca bazı normalizasyon yöntemlerinin işleyişine bağlı olarak pozitif ideal çözüm seti ile negatif ideal çözüm setinin bulunmasında farklılık olabilmektedir. Farklılaşan süreçler için örnek hesaplamalar aşağıda sunulmaktadır.

Doğrusal normalizasyon (1) için 3 ve 4 numaralı denklemler kullanılarak ilk alternatife ait bazı işlemler aşağıdaki gibi olur.

Değerlendirme ölçütü 1 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{779}{\text{MAK}\{779;793;769;600;597;565;643;647;846;634\}} = \frac{779}{846} = 0,920804$$

Doğrusal normalizasyon (1), normalleştirme işlemini iki farklı denklemle uygulamakta ve değer için ölçüt 3 gibi küçük olması istendiğinde 4 numaralı denklemin kullanılması gerekmektedir.

Değerlendirme ölçütü 3 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\text{MIN}\{135;82;178;100;125;73;136;41;111;88\}}{135} = \frac{41}{135} = 0,303704$$

Bu normalizasyon yöntemi değer için en küçük yada en büyük olmasına göre farklı işlemler kullandığından pozitif ideal çözüm setinin hesaplanmasında değerlendirme ölçütü 3 için de en büyüğün, negatif ideal çözüm setinin hesaplanmasında değerlendirme ölçütü 3 için de en küçüğün belirlenmesine dikkat edilmelidir.

Doğrusal normalizasyon (2) için 5 ve 6 numaralı denklemler kullanılarak ilk alternatife ait bazı işlemler aşağıdaki gibi olur.

Değerlendirme ölçütü 1 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{779}{\text{MAK}\{779;793;769;600;597;565;643;647;846;634\}} = \frac{779}{846} = 0,920804$$

Doğrusal normalizasyon (2), normalleştirme işlemini iki farklı denklemle uygulamakta ve değer için ölçüt 3 gibi küçük olması istendiğinde 6 numaralı denklemin kullanılması gerekmektedir.

Değerlendirme ölçütü 3 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$1 - \frac{135}{\text{MAK}\{135;82;178;100;125;73;136;41;111;88\}} = 0,241573$$

Bu normalizasyon yöntemi de değer için en küçük yada en büyük olmasına göre farklı işlemler kullandığından pozitif ideal çözüm setinin hesaplanmasında değerlendirme ölçütü 3 için de en büyüğün, negatif ideal çözüm setinin hesaplanmasında değerlendirme ölçütü 3 için de en küçüğün belirlenmesine dikkat edilmelidir.

Doğrusal normalizasyon (3) için 7 ve 8 numaralı denklemler kullanılarak ilk alternatife ait bazı işlemler aşağıdaki gibi olur.

Değerlendirme ölçütü 1 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{779 - \text{MIN}\{779;793;769;600;597;565;643;647;846;634\}}{\text{MAK}\{779;793;769;...;634\} - \text{MIN}\{779;793;769;...;634\}} = 0,761566$$

Doğrusal normalizasyon (3), normalleştirme işlemini iki farklı denklemle uygulamakta ve değer için ölçüt 3 gibi küçük olması istendiğinde 8 numaralı denklemin kullanılması gerekmektedir.

Değerlendirme ölçütü 3 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\text{MAK}\{135;82;178;100;125;73;136;41;111;88\} - 135}{\text{MAK}\{135;82;178;...;88\} - \text{MIN}\{135;82;178;...;88\}} = 0,313869$$

Bu normalizasyon yöntemi de değer için en küçük yada en büyük olmasına göre farklı işlemler kullandığından pozitif ideal çözüm setinin hesaplanmasında değerlendirme ölçütü 3 için de en büyüğün, negatif ideal çözüm setinin hesaplanmasında değerlendirme ölçütü 3 için de en küçüğün belirlenmesine dikkat edilmelidir.

Doğrusal normalizasyon (4) için 9 numaralı denklem kullanılarak Değerlendirme ölçütü 1 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{779}{779+793+769+600+597+565+643+647+846+634} = 0,113342$$

Doğrusal normalizasyon (4), normalleştirme işlemi için tek bir denklem kullandığından bu işlem ölçüt 3 için de kullanılır. Bu nedenle değerlendirme ölçütü 3 için pozitif ideal çözüm setinin en küçük, negatif ideal çözüm setinin hesaplanmasında ise en büyük değer bulunmalıdır.

Monoton olmayan normalizasyon için 10 numaralı denklem kullanılarak Değerlendirme ölçütü 1 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$e^{\frac{779 - \text{MAK}\{779;793;769;600;597;565;643;647;846;634\}}{(\text{STANDARTSAPMA}\{779;793;769;600;597;565;643;647;846;634\})^2}} = 0,796131$$

Değerlendirme ölçütü 3 ile alternatif 1 hücrelerinin kesişimindeki değer için işlem aşağıda verilmiştir.

$$e^{\frac{135 - \text{MIN}\{135;82;178;100;125;73;136;41;111;88\}}{(\text{STANDARTSAPMA}\{135;82;178;100;125;73;136;41;111;88\})^2}} = 0,053193$$

Monoton olmayan normalizasyon, normalleştirme işleminde x_j^0 ile simgelenen en uygun değeri kullandığından pozitif ideal çözüm setinin hesaplanmasında değerlendirme ölçütü 3 için de en büyüğün, negatif ideal çözüm setinin hesaplanmasında değerlendirme ölçütü 3 için de en küçüğün belirlenmesine dikkat edilmelidir. Açıklanan işlemlerin tüm veri setlerine uygulaması sonucunda bulunan ideal çözüme göreceli yakınlık değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Tüm Normalizasyon Yöntemleri için İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri

		Vektörel Normalizasyon	Doğrusal Normalizasyon (1)	Doğrusal Normalizasyon (2)	Doğrusal Normalizasyon (3)	Doğrusal Normalizasyon (4)	Monoton Olmayan Normalizasyon
Veri Seti 1	Alternatif 1	0,404768	0,345512	0,421676	0,403948	0,402095	0,324940
	Alternatif 2	0,551008	0,398933	0,536638	0,533292	0,552455	0,499635
	Alternatif 3	0,427861	0,473094	0,473094	0,601113	0,421999	0,588731
	Alternatif 4	0,581511	0,433259	0,572031	0,450687	0,583519	0,341689
	Alternatif 5	0,307687	0,188950	0,300515	0,356631	0,308684	0,229428
	Alternatif 6	0,694161	0,541004	0,665100	0,488858	0,699598	0,434416
	Alternatif 7	0,412530	0,357126	0,432427	0,472586	0,410219	0,321435
	Alternatif 8	0,689043	0,652052	0,652052	0,524978	0,694285	0,462920
	Alternatif 9	0,468800	0,369828	0,481360	0,637559	0,466306	0,561875
	Alternatif 10	0,605979	0,433556	0,577103	0,392681	0,610562	0,339669
Veri Seti 2	Alternatif 1	0,368674	0,233899	0,365585	0,468840	0,371676	0,451141
	Alternatif 2	0,859513	0,706415	0,836869	0,736456	0,867093	0,692236
	Alternatif 3	0,693447	0,482101	0,661407	0,479736	0,703946	0,468254
	Alternatif 4	0,770778	0,609894	0,733680	0,583834	0,784586	0,558999
	Alternatif 5	0,134123	0,155696	0,159701	0,213835	0,124636	0,120371
	Alternatif 6	0,215466	0,262660	0,262660	0,440544	0,197478	0,449377
	Alternatif 7	0,757650	0,540250	0,738594	0,617179	0,763683	0,569163
	Alternatif 8	0,243535	0,272922	0,290714	0,466911	0,226047	0,433763
	Alternatif 9	0,930118	0,908706	0,908706	0,796653	0,936836	0,760481
	Alternatif 10	0,628914	0,442797	0,572661	0,479095	0,650413	0,488214
Veri Seti 3	Alternatif 1	0,621042	0,588368	0,602786	0,528151	0,623140	0,495303
	Alternatif 2	0,768669	0,688746	0,738841	0,645213	0,770913	0,608577
	Alternatif 3	0,562759	0,575786	0,575786	0,592596	0,562773	0,554195
	Alternatif 4	0,341229	0,386770	0,390236	0,559572	0,336601	0,546316
	Alternatif 5	0,522350	0,523261	0,541188	0,476430	0,522329	0,435727
	Alternatif 6	0,420502	0,422644	0,422644	0,479688	0,419301	0,424230
	Alternatif 7	0,316784	0,313590	0,341635	0,404845	0,314847	0,319000
	Alternatif 8	0,386520	0,374915	0,391851	0,375674	0,385742	0,337998
	Alternatif 9	0,314486	0,318079	0,355117	0,482384	0,311511	0,431339
	Alternatif 10	0,222436	0,190585	0,225373	0,266137	0,222359	0,160544
Veri Seti 4	Alternatif 1	0,634577	0,455444	0,611746	0,589507	0,641058	0,586293
	Alternatif 2	0,898675	0,873345	0,873345	0,753471	0,905539	0,709196
	Alternatif 3	0,448180	0,498442	0,498442	0,626920	0,436278	0,620651
	Alternatif 4	0,740105	0,557445	0,735212	0,620263	0,740939	0,581868
	Alternatif 5	0,312380	0,195905	0,306153	0,450625	0,314402	0,412190
	Alternatif 6	0,230057	0,148018	0,222013	0,155478	0,232026	0,056518
	Alternatif 7	0,563875	0,510050	0,522186	0,488562	0,573725	0,478049
	Alternatif 8	0,566248	0,415439	0,557190	0,385747	0,568571	0,331062
	Alternatif 9	0,715743	0,530498	0,704269	0,526545	0,718273	0,507092
	Alternatif 10	0,395250	0,418196	0,435079	0,452171	0,385713	0,441067
Veri Seti 5	Alternatif 1	0,349028	0,346170	0,383602	0,590951	0,342707	0,534338
	Alternatif 2	0,654738	0,551784	0,624568	0,470816	0,667024	0,423834
	Alternatif 3	0,527242	0,478180	0,539281	0,689132	0,529456	0,639435
	Alternatif 4	0,850796	0,791649	0,812738	0,612859	0,859677	0,577204
	Alternatif 5	0,448423	0,464967	0,464967	0,531022	0,435622	0,523898
	Alternatif 6	0,238444	0,129216	0,242180	0,203633	0,231463	0,098385
	Alternatif 7	0,455275	0,400687	0,468318	0,476573	0,443772	0,401151
	Alternatif 8	0,496639	0,430095	0,518459	0,660477	0,487118	0,630416
	Alternatif 9	0,323229	0,297254	0,341154	0,422713	0,320022	0,376565
	Alternatif 10	0,526516	0,510057	0,510057	0,470567	0,539337	0,470529
Veri Seti 6	Alternatif 1	0,506656	0,359865	0,500070	0,521913	0,506569	0,442778
	Alternatif 2	0,574412	0,561122	0,561122	0,578473	0,573084	0,569525
	Alternatif 3	0,244439	0,254259	0,254259	0,246952	0,244895	0,185265
	Alternatif 4	0,639450	0,517423	0,634664	0,541182	0,643185	0,498459
	Alternatif 5	0,686870	0,550620	0,683337	0,501180	0,689757	0,444855
	Alternatif 6	0,815654	0,786039	0,788704	0,536607	0,823756	0,484198
	Alternatif 7	0,323437	0,163435	0,308687	0,371374	0,325450	0,353567
	Alternatif 8	0,444471	0,448894	0,460673	0,464949	0,444867	0,438342
	Alternatif 9	0,233083	0,215895	0,252216	0,429650	0,227087	0,367755
	Alternatif 10	0,512033	0,447938	0,531304	0,637316	0,508615	0,594527

		Vektörel Normalizasyon	Doğrusal Normalizasyon (1)	Doğrusal Normalizasyon (2)	Doğrusal Normalizasyon (3)	Doğrusal Normalizasyon (4)	Monoton Olmayan Normalizasyon
Veri Seti 7	Alternatif 1	0,497719	0,409374	0,523271	0,612895	0,492025	0,516769
	Alternatif 2	0,218331	0,204766	0,253763	0,427835	0,212228	0,405968
	Alternatif 3	0,480761	0,413508	0,496755	0,498877	0,474528	0,459561
	Alternatif 4	0,407645	0,338153	0,412489	0,516871	0,407916	0,431651
	Alternatif 5	0,476109	0,380650	0,484454	0,520577	0,471102	0,502668
	Alternatif 6	0,655992	0,537102	0,657174	0,676861	0,658189	0,604680
	Alternatif 7	0,717626	0,714720	0,714720	0,654720	0,715753	0,590237
	Alternatif 8	0,434057	0,417774	0,417774	0,332778	0,440212	0,294057
	Alternatif 9	0,692271	0,581299	0,688485	0,648523	0,695821	0,547226
	Alternatif 10	0,345902	0,295718	0,363394	0,496445	0,343631	0,460399
Veri Seti 8	Alternatif 1	0,454555	0,481041	0,509084	0,606025	0,441029	0,568887
	Alternatif 2	0,521725	0,377598	0,473204	0,549788	0,534473	0,542993
	Alternatif 3	0,670321	0,496523	0,643393	0,582200	0,677385	0,535676
	Alternatif 4	0,483707	0,489719	0,531873	0,466802	0,471295	0,431721
	Alternatif 5	0,824299	0,788798	0,788798	0,534558	0,833339	0,501661
	Alternatif 6	0,438971	0,488066	0,488066	0,413921	0,426403	0,380750
	Alternatif 7	0,647852	0,519045	0,665171	0,606044	0,643548	0,577930
	Alternatif 8	0,437668	0,358192	0,449838	0,402718	0,434154	0,357481
	Alternatif 9	0,811754	0,669150	0,790806	0,666797	0,816377	0,634630
	Alternatif 10	0,594215	0,465593	0,608303	0,579562	0,590738	0,536828
Veri Seti 9	Alternatif 1	0,422474	0,391121	0,432522	0,394761	0,428773	0,308124
	Alternatif 2	0,558884	0,506477	0,568300	0,468053	0,566115	0,387281
	Alternatif 3	0,439915	0,317727	0,437640	0,529946	0,433625	0,468225
	Alternatif 4	0,700945	0,579822	0,689443	0,638882	0,708343	0,624010
	Alternatif 5	0,569912	0,528721	0,594310	0,615529	0,573733	0,549187
	Alternatif 6	0,527029	0,501159	0,501159	0,469137	0,521734	0,416916
	Alternatif 7	0,559954	0,484110	0,578134	0,599029	0,561403	0,483204
	Alternatif 8	0,157892	0,176613	0,176613	0,298017	0,157318	0,243395
	Alternatif 9	0,469248	0,352083	0,460153	0,545328	0,461296	0,522341
	Alternatif 10	0,681604	0,550474	0,681050	0,561729	0,686529	0,535658
Veri Seti 10	Alternatif 1	0,660792	0,577112	0,688868	0,772280	0,655125	0,728369
	Alternatif 2	0,571893	0,480308	0,587963	0,629868	0,569152	0,564658
	Alternatif 3	0,398956	0,270979	0,393078	0,453298	0,399909	0,323358
	Alternatif 4	0,397421	0,223278	0,371099	0,378752	0,403024	0,365768
	Alternatif 5	0,528990	0,467993	0,529615	0,356171	0,529109	0,341970
	Alternatif 6	0,276166	0,279210	0,301925	0,450423	0,270988	0,374489
	Alternatif 7	0,679029	0,646821	0,663887	0,740959	0,682053	0,693381
	Alternatif 8	0,831796	0,797656	0,797656	0,607757	0,840621	0,536241
	Alternatif 9	0,628148	0,552951	0,587877	0,412112	0,636998	0,380850
	Alternatif 10	0,356382	0,390555	0,390555	0,493371	0,349554	0,427524

Elde edilen bu sonuçlar arasındaki ilişkiyi görebilmek amacıyla ikili olarak korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 10 alternatif içeren 10 veri seti üzerinden toplam 100 adet değer bulunduğu korelasyon analizi yapmak için yeterli veri mevcuttur. Korelasyon analizi 22 numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (22)$$

Bu denklemde yer alan semboller aşağıda açıklanmıştır.

x:değişken 1

y:değişken 2

n:örnek hacmi

Değişken 1 ve 2 değerleri aralarındaki ilişki düzeyi tespit edilecek olan normalizasyon yöntemlerine göre ideal göreceli çözüme yakınlık değerleridir. 10 farklı alternatif ve veri seti bulunduğundan örnek hacmi 100 olmaktadır. Vektörel normalizasyon ideal çözüme göreceli uzaklık değerlerinin değişken 1 ve doğrusal normalizasyon (1) ideal çözüme göreceli uzaklık değerlerinin değişken 2 olduğu durum için korelasyon hesabı aşağıda sunulmuştur.

$$r = \frac{100(26,019855) - (51,807178)(45,001688)}{\sqrt{[100(30,058697) - (51,807178)^2][100(22,913229) - (45,001688)^2]}} = 0,924392$$

Bu değerlere ulaşmak için Excel 2010 üzerinde "KORELASYON(DİZİ 1 VERİ ARALIĞI:DİZİ 2 VERİ ARALIĞI)" formülü kullanılarak, tüm normalizasyon

yöntemleri açısından bulunan ideal çözüme göreli uzaklık değerlerine uygulanması sonucu ulaşılan değerler Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 8'de satır ile sütunun kesişiminde yer alan değer ilgili hücrenin bulunduğu satır ve sütundaki normalizasyon yöntemlerinin değişkenleri temsil ettiği korelasyon işleminin sonucunu vermektedir. Örnek vermek gerekirse, vektörel normalizasyon satırı ile doğrusal normalizasyon (1) sütunu kesişimindeki %92,44 değeri vektörel normalizasyon değişkeni ile doğrusal normalizasyon (1) değişkenlerini içeren korelasyon analizinin sonucudur.

Tablo 8: Normalizasyon Yöntemlerine göre Sonuçlar Arasındaki Korelasyon

	Doğrusal Normalizasyon (1)	Doğrusal Normalizasyon (2)	Doğrusal Normalizasyon (3)	Doğrusal Normalizasyon (4)	Monoton Olmayan Normalizasyon
Vektörel Normalizasyon	92,44%	99,25%	69,31%	99,95%	68,44%
Doğrusal Normalizasyon (1)		94,06%	71,13%	91,93%	70,76%
Doğrusal Normalizasyon (2)			73,95%	98,91%	72,71%
Doğrusal Normalizasyon (3)				68,20%	97,27%
Doğrusal Normalizasyon (4)					67,38%

Korelasyon katsayısı sonuçlar arasındaki ilişkinin gücünü göstermektedir. %0-%25 arası korelasyon değeri ilişkinin çok zayıf olduğunu, %26-%49 arası korelasyon değeri ilişkinin zayıf olduğunu, %50-%69 arası korelasyon değeri ilişkinin orta seviyede olduğunu, %70-%89 arası korelasyon değeri ilişkinin yüksek olduğunu, %90-%100 arası korelasyon değeri ise ilişkinin çok yüksek olduğunu ifade etmektedir (Kalaycı, 2010; 116). Vektör normalizasyon sonuçları incelendiğinde doğrusal normalizasyon (4) olarak adlandırılan yöntem ile elde edilen sonuçlar arası ilişki %99,95 olarak görülmektedir. Bu değer, iki yöntemden elde edilen sonuçların neredeyse aynı olduğunu ifade etmektedir. Yine Vektör normalizasyon sonuçları ve doğrusal normalizasyon (2) olarak adlandırılan yöntem ile elde edilen sonuçlar arası ilişki de %99,25 bulunmuştur ki bu da sonuçların hemen hemen aynı olduğunu göstermektedir. Doğrusal normalizasyon (2) ve doğrusal normalizasyon (4) olarak adlandırılan yöntemler arası ilişki değeri de en yüksek üçüncü değerdir (%98,91). Bu da sonuçların neredeyse birbirine eşit olduğunu göstermektedir. Tablo 4'teki değerler incelendiğinde, monoton olmayan normalizasyon ve doğrusal normalizasyon (3) olarak adlandırılan yöntemlerin diğer normalizasyon yöntemleri ile ilişkisi orta düzeyde kalmakta ve farklı alternatiflerin tercih edilmesi sonucunu doğurabilmektedir. Bu iki yöntemin kendi aralarındaki ilişki düzeyi ise %97,27 ile oldukça yüksektir. Bu ilişki katsayılarına göre normalizasyon yöntemlerini iki ana kategoride toplamak mümkün görünmektedir.

Normalizasyon Yöntemleri 1. Kategori

- Vektörel Normalizasyon
- Doğrusal Normalizasyon (1)
- Doğrusal Normalizasyon (2)
- Doğrusal Normalizasyon (4)

Normalizasyon Yöntemleri 2. Kategori

- Doğrusal Normalizasyon (3)
- Monoton Olmayan Normalizasyon

Bu çalışmada incelenen TOPSIS yöntemi açısından bakıldığında ilk kategoride yer alan normalizasyon yöntemlerinden herhangi biri ile işlemleri gerçekleştirmek mümkündür. Önemli olan nokta farklı ölçüm birimlerine sahip olan değerlendirme ölçütlerini bir normalizasyon işlemine tabi tutmaktır. Bu gerçekleştirildikten sonra yüzlerce alternatifin aynı anda hızlı bir biçimde tüm değerlendirme ölçütleri açısından bir arada incelenerek karar verilebilmesi mümkündür. Süreç adımları ile ilgili olan diğer önemli nokta ise pozitif ideal çözüm seti hesaplamaları ile negatif ideal çözüm seti hesaplamalarının normalizasyon yöntemine göre uyarlanmasıdır. 12 numaralı denklemde gösterilen vektör normalizasyonu işlemi yerine 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 numaralı denklemlerde gösterilen işlemlerin uygulanması 15 ve 17 numaralı denklemlerin yapısını değiştirecektir.

Doğrusal Normalizasyon (1), Doğrusal Normalizasyon (2), Doğrusal Normalizasyon (3) ve Monoton Olmayan Normalizasyon yöntemlerinin kullanılması durumunda İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için Y matrisindeki ağırlıklandırılmış ölçütlerin yani sütun değerlerinin her durumda en büyükleri (ilgili ölçüt minimizasyon yönlü olsa bile) seçilecektir. Çünkü bu normalizasyon yöntemleri en iyi durum olan en küçük değeri göz önüne alarak normalleştirme işlemlerini yapmaktadır. Buna göre pozitif ideal çözüm setinin bulunması için kullanılacak olan 15 numaralı denklemin yeni hali 23 numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$A^* = \{(max_{j,y_i} | j \in J), (max_{i,y_j} | j \in J')\} \quad (23)$$

Değiştirilecek olan diğer denklem ise 17 numaralı denklemdir. Negatif ideal çözüm seti ise, Y matrisindeki ağırlıklandırılmış ölçütlerin, bir başka deyişle, sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü olsa bile) seçilerek oluşturulmalıdır. Buna göre Negatif ideal çözüm setinin bulunması için kullanılacak olan 17 numaralı denklemin yeni hali 24 numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$A^- = \{(\min_i y_{ij} | j \in J), (\min_i y_{ij} | j \in J')\} \quad (24)$$

Bu denklemlerin uyarlanması dışında süreç yanırıdır. Vektörel Normalizasyon ile Doğrusal Normalizasyon (4) için izlenecek adımlarda ise herhangi bir değışiklik meydana gelmemektedir.

6. SONUÇ

İşletmelerin karşı karşıya kaldığı karar verme problemlerinde hemen hemen her durumda birbirlerinden çok farklı ölçüm birimlerine sahip değerlendirme ölçütlerinin bir bütünsellik içinde göz önüne alınması zorunludur. Bu zorunluluk çeşitli çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin geliştirilmesine ön ayak olmuştur. Farklı ölçüm birimlerine sahip olan değerlendirme ölçütlerini birlikte inceleyerek alternatifleri karşılaştırmaların bir yolu ikili karşılaştırmaların yapılmasıdır. ELECTRE ve PROMETHEE yöntemleri bu ikili karşılaştırmaları gerçekleştirdiği için karar verme aracı olarak kullanılmaktadırlar. Ancak ikili karşılaştırmaların yapılması alternatiflerin sayısının çok fazla olması durumunda yapılması gereken işlemlerin katlanarak artması ile sonuçlanmakta ve hızlı karar vermenin gerektiği dinamik piyasa koşullarında işletmenin karar vermede gecikmesine yol açabilmektedir. Çok sayıda alternatifi karşılaştırmada ikili karşılaştırmaların dezavantajlarını ortadan kaldıran MOORA, TOPSIS, COPRAS gibi yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerde ise ikili karşılaştırmaların yerini normalizasyon işlemleri almaktadır. Literatürde farklı normalizasyon seçenekleri bulunmaktadır. Buna ilave olarak aynı çok ölçütlü karar verme yöntemi için farklı normalizasyon yönteminin kullanıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışma kapsamında normalizasyon yöntemlerinin çok ölçütlü karar verme yönteminden elde edilen sonuçlara nasıl bir etkiye bulunduğunu görmek amacıyla 10 alternatif ve 5 değerlendirme ölçütü içeren 10 farklı veri seti oluşturulmuş ve bu veri setlerine tüm normalizasyon yöntemleri birer birer denenerek sonuçlar korelasyon

analizine tabi tutulmuştur. Veri setlerinin gerçek işletme problemlerini daha iyi yansıtabilmesini sağlamak amacıyla veri seti türetilirken farklı sayı aralıklarında ölçekler oluşturulmuş ve olası değışik senaryoları inceleyebilmek için de değerlendirme ölçütlerinden biri açısından en küçük değerin en iyi durumu gösterdiği göz önüne alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar korelasyon analizine tabi tutulduğunda yöntemlerin iki ana kategoride toplandığı görülmektedir. Birinci kategori olarak ifade edilebilecek olan Vektörel Normalizasyon, Doğrusal Normalizasyon (1), Doğrusal Normalizasyon (2) ve Doğrusal Normalizasyon (4) yöntemlerinin ikili korelasyon değeri hepsi %90 değerin üzerinde. İkinci kategoride kalan Doğrusal Normalizasyon (3) ve Monoton Olmayan Normalizasyon yöntemleri ise TOPSIS yönteminin orijinal yapısında bulunan vektörel normalizasyon ile karşılaştırıldığında korelasyon değeri düşük kalmaktadır. Bu nedenle ikinci kategori olarak ifade edilen Doğrusal Normalizasyon (3) ve Monoton Olmayan Normalizasyon yöntemlerinin TOPSIS yöntemi için kullanımı önerilmemektedir. İlk kategoride yer alan, TOPSIS yöntemi ile karar verme sürecinde Vektörel Normalizasyon, Doğrusal Normalizasyon (1), Doğrusal Normalizasyon (2) ve Doğrusal Normalizasyon (4) yöntemlerinin herhangi biri TOPSIS yöntemi ile karar verme sürecinde rahatlıkla kullanılabilir. Özellikle Doğrusal Normalizasyon (2) ve Doğrusal Normalizasyon (4) sonuçları ile vektörel normalizasyon sonuçları ilişki değeri %99'un bile üzerindedir. Burada hatırlanması gereken nokta, Doğrusal Normalizasyon (1), Doğrusal Normalizasyon (2), Doğrusal Normalizasyon (3) ve Monoton Olmayan Normalizasyon yöntemlerinin kullanımı durumunda pozitif ideal çözüm seti ile negatif ideal çözüm setinin bulunması için kullanılacak olan denklemlerde bu normalizasyon yöntemlerinin kendi içinde en ideal duruma göre normalleştirme işlemlerini gerçekleştirmesinden dolayı değışikliklerin yapılması gerektiğidir.

KAYNAKLAR

- Aalami, H.A., Moghaddam, M.P. ve Yousefi, G.R. (2010) "Modeling and Prioritizing Demand Response Programs in Power Markets" *Electric Power Systems Research*, 80:426-435.
- Ayala, J.G. (2012) "Selecting Irrigation Water Pricing Alternatives Using A Multi-Methodological Approach" *Mathematical And Computer Modelling*, 55:861-883.
- Balezentis, A., Balezentis, T. ve Brauers, W.K.M. (2012) "Personnel Selection Based on Computing With Words and Fuzzy MULTIMOORA" *Expert Systems With Applications*, 39: 7961-7967.
- Chakraborty, S. (2011) "Applications of The MOORA Method for Decision Making in Manufacturing Environment" *Int J Adv Manuf Technol*, 54:1155-1166.
- Chatterjee, P. Chakraborty, S. (2012) "Material Selection Using Preferential Ranking Methods" *Materials And Design*, 35:384-393.
- Chen, M.F. ve Tzeng, G.H. (2004) "Combining Grey Relation and TOPSIS Concepts For Selecting an Expatriate Host Country" *Mathematical And Computer Modelling*, 40:1473-1490.
- Dai, L. ve Wang, J. (2011) "Evaluation of The Profitability of Power Listed Companies Based on Entropy Improved TOPSIS Method" *Procedia Engineering*, 15:4728 -4732.
- Huang, W. ve Huang, Y.Y. (2012) "Research on The Performance Evaluation of Chongqing Electric Power Supply Bureaus Based on TOPSIS" *Energy Procedia*, 14:899-905
- Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981) *Multiple Attribute Decision Making*, Berlin, Springer-Verlag.
- Kalaycı, Ş. (2010) *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, Ankara, Asil Yayın Dağıtım.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Naimaviciene, J., Krutinis, M., Plakys, V. ve Venskus, D. (2010) "Model For A Complex Analysis of Intelligent Built Environment" *Automation in Construction*, 19:326-340.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K. ve Trinkunas, V. (2007) "A Multiple Criteria Decision Support On-Line System For Construction" *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20:163-175.
- Karande, P. ve Chakraborty, S. (2012) "Application of Multi-Objective Optimization on The Basis of Ratio Analysis (MOORA) Method For Materials Selection" *Materials And Design*, 37:317-324
- Kiran, C.P., Clement, S. ve Agrawal, V.P. (2011) "Coding, Evaluation and Optimal Selection of A Mechatronic System" *Expert Systems With Applications*, 38:9704-9712.
- Lozano-Minguez, E., Kolios, A.J. ve Brennan, F.P. (2011) "Multi-Criteria Assessment of Offshore Wind Turbine Support Structures" *Renewable Energy*, 36:2831-2837.
- Mela, K., Tiainen, T. ve Heinisuo, M. (2012) "Comparative Study of Multiple Criteria Decision Making Methods For Building Design" *Advanced Engineering Informatics*. (Baskıda)
- Ouattara, A., Pibouleau, L., Azzaro-Pantel, C., Domenech, S., Baudet, P. ve Yao, B. (2012) "Economic And Environmental Strategies For Process Design" *Computers And Chemical Engineering*, 36:174-188.
- Peng, Y., Zhang, Y., Tang, Y. ve Li, S. (2011) "An Incident Information Management Framework Based on Data Integration, Data Mining, And Multi-Criteria Decision Making" *Decision Support Systems*, 51:316-327.
- Sadeghzadeh, K. ve Salehi, M.B. (2011) "Mathematical Analysis of Fuel Cell Strategic Technologies Development Solutions in The Automotive Industry by The TOPSIS Multi-Criteria Decision Making Method" *International Journal Of Hydrogen Energy*, 36:13272-13280.
- Shih, H.S., Shyur, H.J. ve Lee, E.S. (2007) "An Extension of TOPSIS For Group Decision Making" *Mathematical And Computer Modelling*, 45:801-813.
- Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitien, I. ve Balezentis, A. (2012) "Prioritizing Sustainable Electricity Production Technologies: MCDM Approach" *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16:3302-3311.
- Sun, Y.F., Liang, Z.S., Shan, C.J., Viernstein, H. ve Unger, F. (2011) "Comprehensive Evaluation of Natural Antioxidants and Antioxidant Potentials in Ziziphus Jujuba Mill. Var. Spinosa (Bunge) Hu Ex H. F. Chou Fruits Based On Geographical Origin By TOPSIS Method" *Food Chemistry*, 124:1612-1619.

