



Farklı uzaklık hesaplama yaklaşımlarının TOPSIS üzerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi

Mehmet Kabak¹, Fatih Sağlam², Ahmet Aktas^{1, 3*}

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara, Türkiye

²Kara Harp Okulu, İşletme Bölümü, 06654, Ankara, Türkiye

³Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 14280, Bolu, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Çok kriterli karar verme yaklaşımlarından TOPSIS tekniği için farklı uzaklık ölçütleri önerilmiştir
- Öklid uzaklığı dışında 6 farklı yeni uzaklık ölçütü tanıtılmıştır
- İki örnek uygulama üzerinde alternatif sıralamalarının değişimi incelenmiştir

Makale Bilgileri

Geliş: 28.09.2015

Kabul: 25.03.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.300592

Anahtar Kelimeler:

İdeal çözüme benzerlik yoluyla tercih sıralama tekniği, çok kriterli karar verme, uzaklık hesaplama yöntemleri

ÖZET

Karar verme problemlerinin çoğunda, karar vericiler birbiriyle çelişen amaçlarla karşılaşılır. Birden fazla kriterin var olduğu ve kriterlerin birbirleriyle çeliştiği karar problemlerinin çözümünde, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanılır. Bu çalışmada, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak karar alternatifini belirlemeye çalışan bir ÇKKV yaklaşımı olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ele alınmıştır. TOPSIS yönteminin ilk önerilen halinde, alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklığı ölçülürken Öklid uzaklık hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Literatürde TOPSIS yönteminde Öklid yerine farklı uzaklık hesaplama yöntemleri kullanıldığında çıkan sonuçları inceleyen çok fazla çalışma yoktur. Bu sebeple bu çalışmada, Öklid uzaklığından ve literatürde ele alınan ölçütlerden farklı bazı uzaklık hesaplama yöntemlerinin TOPSIS yönteminde kullanılmasının, bu yöntemle çözülen bir karar probleminin sonuçlarında ne gibi bir benzerlik/farklılık yarattığı incelenmiştir. TOPSIS yönteminde kullanılabileceği düşünülen uzaklık yöntemleri tanıtılarak, örnek bir uygulama üzerinde oluşan alternatif sıralamaları verilmiş, en iyi karar alternatifi değişirse de karar alternatiflerinin sıralanmasında farklılıklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar, TOPSIS yönteminde farklı uzaklık hesaplama teknikleri kullanarak bulunan alternatif kararların karar vericilere sunulması ile daha tutarlı ve anlamlı karar verilmesine destek sağlanabileceğini göstermektedir.

Usability analysis of different distance measures on TOPSIS

H I G H L I G H T S

- Different distance measures for TOPSIS method are proposed
- Six different distance measures except Euclidian distance are explained
- Changes in alternatives rankings are analysed in two example decision making problems

Article Info

Received: 28.09.2015

Accepted: 25.03.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.300592

Keywords:

Technique for order preference by similarity to ideal solution, multiple criteria decision making, distance measurement techniques

ABSTRACT

In many decision problems, decision makers face with conflicting objectives. In order to solve decision problems with criteria conflicting each other, multiple criteria decision making (MCDM) techniques are applied. This study deals with TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) technique which is a MCDM approach that leads to determine the decision alternative that is the nearest to the positive ideal solution and the furthest to the negative ideal solution. The proposed form of TOPSIS calculates the distance of decision alternatives to positive and negative ideal solutions by using Euclidean distance formula. In the literature, there aren't many studies that analyse the results obtained by using different distance calculation formulas in TOPSIS technique. Thus, in the scope of this study, it is analysed that what kind of differences or similarities can be obtained by using some different distance calculation techniques in the TOPSIS method. The different calculation methods are introduced and the alternative rankings obtained by using these methods are given. It is seen that the best decision alternative does not change for each method, but the ranking of decision alternatives changes. The obtained results show that providing alternative decisions found by using different distance measures in TOPSIS method can support decision makers to make more consistent and meaningful decisions.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: aaktas@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 582 3809

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Karar verme, belirli bir amacı gerçekleştirmek için alternatif yolların belirlenmesi ve bu alternatifler içinden en uygun olanının seçilmesi olarak tanımlanır. Sonuçları önemli olan kararlar, uzun vadede etkisini sürdürecektir. Kararlar, çok sayıda karar vericinin olduğu kararlar ve çok sayıda alternatif veya çok sayıda ölçütün etki ettiği kararlar ayrıntılı olarak analiz edilmeli ve bu analiz sonuçlarına göre karar verilmelidir. İyi karar verme için esas olan, karar verme sürecine dâhil olan kişilerin tercihleri ve düşünceleri ile konuyla ilgili bilgileri birleştiren yapısal bir yöntem kullanmaktır [1]. Bir karar probleminin çözümü, Herbert Simon tarafından zekâ, tasarım ve seçim aşamalarını içeren üç aşamalı bir süreç olarak tanımlanmıştır [2]. Zekâ aşamasında verilerin toplanması ve problemin çözümü için kullanılabilir yöntemlerin araştırılması gerçekleştirilirken, tasarım aşamasında veriyi işleyecek model belirlenerek mümkün hareket tarzları belirlenir. Seçim aşamasında, karar vericinin hedeflerini karşılayan en iyi alternatifin seçimi gerçekleştirilir. Karar verme problemlerinde, karar vericiler genelde birden fazla birbiriyle çelişen amaçlarla karşılaşılır. Birden fazla kriterin var olduğu ve kriterlerin birbiriyle çeliştiği karar problemlerinin çözümünde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımlarından faydalanılır. ÇKKV, çoklu ve birbiriyle çatışan kriterlerin optimize edilmek istendiği problemlerin çözümüne verilen genel isimdir. ÇKKV problemleri seçenek sayısına göre çok amaçlı karar verme (ÇAKV) ve çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) olarak iki sınıfta incelenir. ÇAKV’de çok sayıda seçeneğin bulunduğu karar problemleri ele alınırken, ÇÖKV’de sonlu sayıda karar seçeneği söz konusudur [3]. ÇÖKV, sonlu sayıda seçeneğin seçilme, sıralanma, sınıflandırma, önceliklendirme veya elenme amacıyla genellikle ağırlıklandırılmış, birbirleri ile çelişen ve aynı ölçü birimini kullanmayan hatta bazıları nitel değerler alan çok sayıda ölçüt kullanılarak değerlendirilmesi işlemidir [4]. ÇKKV’de kullanılan teknikler; fayda / değer temelli yöntemler, üstünlüğe dayalı yöntemler ve basit yöntemler olarak ele alınmıştır [5]. Fayda / değer temelli yöntemler arasında Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (SAW), Ağırlıklı Çarpım Yöntemi, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP) ve TOPSIS yöntemleri sayılabilir. Üstünlüğe dayalı yöntemlere ELECTRE ve PROMETHEE yöntemleri örnek olarak gösterilebilir. Basit yöntemler ise leksikografik yöntem, kötümserlik (maksimin) ve iyimserlik (maksimaks) yöntemleridir [6]. ÇÖKV

teknikleri, karar verme konusunda araştırmacıların faydalandığı yöntemler arasında ön sıralarda yer almaktadır. Bazı ÇKKV teknikleri için veri tabanlarında Eylül 2015’de arama yapıldığında elde edilen sonuç sayıları Tablo 1’de verilmiştir. Bu çalışmada, ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS ele alınmıştır. TOPSIS yönteminde alternatiflerin pozitif ve negatif yönlü ideal çözümlere olan göreceli uzaklığı hesaplanarak en iyi karar alternatifi belirlenmeye çalışılır. İlk kez Hwang ve Yoon [7] tarafından önerilen TOPSIS yönteminde, karar matrisi normalize edilirken vektör normalizasyonunun kullanılması, pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık hesaplanırken ise Öklid uzaklığının kullanılması önerilmiştir. TOPSIS yöntemi algoritmasında diğer normalizasyon teknikleri kullanıldığında ortaya çıkan farklılıklar incelenmesine rağmen [8] pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık hesaplanırken Öklid uzaklığından farklı diğer yöntemlerin nasıl bir etki yaratacağını inceleyen çok az sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalarda Öklid uzaklığından farklı olarak doğrusal uzaklık [9], küresel uzaklık [10], Hamming uzaklığı [10], Chebyshev uzaklığı [11], Dice uzaklığı [12], Jaccard uzaklığı [12] ve kosinüs uzaklığı [13] dikkate alınmıştır. Bu uzaklık ölçütlerinin ele alınması ile elde edilen sonuç ve sıralamaları inceleyen kısımlar oldukça kısıtlı kalmıştır. Bu sebeple çalışmada, ele alınan uzaklık ölçütleri ile birlikte daha fazla sayıda farklı uzaklık hesaplama yöntemlerinin TOPSIS yönteminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda, uzaklık hesaplamada kullanılan yöntemler incelenerek TOPSIS yönteminde kullanılabilir uzaklık yöntemleri belirlenmiş ve bu yöntemler kullanılarak alternatiflerinin seçilme sıralarının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın devamı şu şekilde sürmektedir: İkinci bölümde TOPSIS yöntemi detaylı olarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, uygulanan yöntem ve ele alınan uzaklık hesaplama yöntemleri belirtilmiş, dördüncü bölümde örnek bir uygulama ile farklı uzaklık ölçütleri kullanıldığında elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yayımlanmış bir makaledeki veriler için aynı uzaklık hesaplama yöntemleri kullanılarak sonuçların incelenmesi beşinci bölümde ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlara ilişkin yorumlar ve gelecek çalışmalara yönelik öneriler ile çalışma altıncı bölümde sonuçlandırılmıştır.

2. TOPSIS YÖNTEMİ (TOPSIS TECHNIQUE)

ÇKKV yaklaşımında “ideal çözüm”, tüm niteliklerde ulaşılabilecek en iyi değerlere sahip olan çözümü

Tablo 1. Veri tabanlarında ÇKKV yöntemlerinin görüntülenme sayıları
(Number of results for MCDM techniques in databases)

Yöntem	Web of Science	Science Direct	Scopus	Google Akademik
AHP	13 233	22 264	12 609	1 010 000
ANP	3 538	50 874	5 787	1 290 000
TOPSIS	2 425	2 256	3 367	54 700
PROMETHEE	750	1 239	797	22 300

(alternatif), “anti-ideal çözüm” ise tüm niteliklerde olası en kötü puanları alan çözümü ifade etmek için kullanılmaktadır. Kriterler arası çatışma durumu nedeniyle ideal çözüme ulaşmak genelde mümkün değildir. Bu sebeple, ÇKKV’de “uzlaşık çözüm”den bahsedilmektedir. ÇKKV yöntemlerinin bir kısmında, ideale olabildiğince yaklaşık olan çözüme ulaşmayı amaçlayan “Uzlaşma (Compromising) Modeli” kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de kısa adı TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) olan “İdeal Çözüme Benzerlik Yolu ile Tercih Sırasına Ulaşma Tekniği”dir. Bu yöntemin temeli, ideal çözüme görece yakınlığı en fazla olan alternatifin seçilmesidir [14]. TOPSIS ilk olarak Hwang ve Yoon [7] tarafından önerilmiş, Lai ve arkadaşları [15] ile Yoon ve Hwang [16] tarafından geliştirilmiştir. TOPSIS yöntemiyle elde edilen en iyi çözüm; ideal çözüme en yakın, aynı zamanda anti-ideal çözüme de en uzak olan alternatiftir. TOPSIS, finans yatırımlarından üretim sistemlerine kadar çok kriterli karar vermenin gerektiği gerçek dünya problemleri ile akademik araştırmalarda sıkça kullanılmaktadır [9]. TOPSIS’in uygulandığı problemler arasında aday değerlendirme [17], konteyner limanlarının yönetimi [18], eğitim stratejisi belirlenmesi [19], silah seçimi [20], uzman personel seçimi [21] imalat işçisi seçimi [22], ürün tasarımı [23], imalat yöntemi seçimi [24], bina enerji performansı

değerlendirme [25], işletme performansı kıyaslama [26], tedarikçi seçimi [27], servis kalitesinin değerlendirilmesi [28], toplu taşıma aracı alternatiflerinin değerlendirilmesi [29], göçmenlik için ülke seçimi [30] ve tesis yerleşim problemi [31] örnek olarak verilebilir.

TOPSIS yönteminin ana adımları Tablo 2’de verilmiştir. TOPSIS’te, 5. adımda belirtilen vektörler arası uzaklıkların (benzerliklerin) hesaplanmasında “Minkowski L2” formu olarak da bilinen “Öklid Uzaklık Bağıtısı” kullanılmaktadır. Nesnelere arası uzaklığı ele alan sınıflandırma, kümeleme ve bilgi çekme problemleri gibi problemlerde, probleme uygun uzaklık ölçeğinin belirlenmesi için önemli bir gayret mevcuttur [32]. Literatürde vektörler arasındaki benzerliklerin hesaplanmasına yönelik birçok yöntem bulunmaktadır; antropoloji, biyoloji, kimya, bilgisayar bilimleri, ekoloji, matematik, fizik, psikoloji ve istatistik gibi birçok disiplinde kullanılmaktadır. Bütün alanlarda kullanılabilir kesin bir yöntem bulunmamakla birlikte, Öklid uzaklığı yaygın olarak tercih edilmektedir [32]. TOPSIS yöntemi, ideal çözüm ile çözüm alternatifleri arasındaki uzaklığı temel aldığından, probleme uygun uzaklık ölçütlerinin kullanılabilirliği incelenebilir. Bu çalışmada Cha [32] tarafından önerilen uzaklık ölçütleri arasından ideal çözüm ile her bir çözüm alternatifi

Tablo 2. TOPSIS yönteminin ana adımları (Main steps of TOPSIS technique)

Adım	İşlem	Matematiksel İfade
1	Karar matrisinin (A) oluşturulması.	$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$ <p>Alternatifler (i) = 1, 2, ..., m Kriterler (j) = 1, 2, ..., n</p>
2	Normalleştirilmiş karar matrisinin (R) oluşturulması (vektör normalizasyonu).	$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (1)$
3	Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin (V) oluşturulması.	$\left(\sum_{j=1}^n w_j\right) = 1 \quad v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (2)$
4	Pozitif İdeal (A*) ve Negatif İdeal (A-) çözüm vektörlerinin bulunması.	$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\}$ $A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (3)$ <p>J : fayda temelli kriter kümesi J' : maliyet temelli kriter kümesi</p>
5	Her bir alternatifin, pozitif ideale uzaklığı (S _i [*]) ve negatif ideale uzaklığının (S _i ⁻) hesaplanması.	$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$ $S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (4)$
6	İdeal çözüme göreceli yakınlık değerlerinin hesaplanması.	$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (5)$
7	İdeale göreceli yakınlık değerlerine göre alternatiflerin büyükten küçüğe sıralanarak en yüksek değere sahip olan alternatifin seçilmesi.	

arasındaki uzaklığı belirlemede kullanılacak alternatif uzaklık ölçütleri seçilerek elde edilen alternatif sıralamaları değerlendirilmiştir. Ele alınan uzaklık ölçütleri aşağıda açıklanmış ve formülleri verilmiştir. Matematiksel ifadeler pozitif ideale uzaklık (S_i^*) için verilmiştir. Negatif ideale uzaklık (S_i^-) için v_j^* yerine v_j^- kullanılmalıdır.

Öklid Uzaklığı: İki nokta arasındaki uzaklık, bu iki noktayı birleştiren doğrunun uzaklığıdır. Öklid uzaklığı pek çok problemin çözümünde TOPSIS yöntemi içinde uzaklık ölçümü için kullanılmaktadır. Örnek olarak silah seçimi [20], uzman personel seçimi [21], imalat işçisi seçimi [22] ve imalat yöntemi belirlenmesi [24] gösterilebilir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (6)$$

Manhattan Uzaklığı: İki nokta arasındaki uzaklık, bu noktalardan geçen ve dik kesişen doğru parçalarının uzaklığı kadardır. TOPSIS içinde yatırım fonu değerlendirmesinde [11] kullanılmıştır.

$$S_i^* = \sum_{j=1}^n |v_{ij} - v_j^*| \quad (7)$$

Chebyshev Uzaklığı: İki nokta arasındaki uzaklık, bu iki nokta arasındaki en uzak boyuttaki uzaklıktır. Satranç tahtası uzaklığı olarak da isimlendirilir. TOPSIS içinde beyzbol ligi kazananlarının tahmini için ele alınmıştır [9].

$$S_i^* = \max_j |v_{ij} - v_j^*| \quad (8)$$

Lorentzian Uzaklığı: İki nokta arasındaki uzaklık, bu iki nokta arasındaki farkın doğal logaritma değerine eşittir. Formülasyonu, negatif uzaklık değeri oluşmaması için 1'den büyük değerlerin logaritması hesaplanacak şekilde oluşturulmuştur. Lorentzian uzaklığını TOPSIS yöntemi içinde ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

$$S_i^* = \sum_{j=1}^n \ln(1 + |v_{ij} - v_j^*|) \quad (9)$$

Pearson Uzaklığı: Öklid uzaklığının karesini içeren uzaklık formülasyonlarından biri olan Pearson uzaklığı, iki nokta arasındaki farkın karesinin ideal çözüme oranlanması ile hesaplanmaktadır. TOPSIS yöntemi içinde daha önce uygulandığına dair bir çalışma görülmemiştir.

$$S_i^* = \sum_{j=1}^n \frac{(v_{ij} - v_j^*)^2}{v_j^*} \quad (10)$$

Kosinüs Uzaklığı: İki nokta arası açığı ölçen kosinüs uzaklığı açısal ölçek olarak isimlendirilir. TOPSIS içinde kosinüs uzaklığı ERP sistemi seçimi problemi üzerine uygulanmıştır [13].

$$S_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij} v_j^*}{\sum_{j=1}^n v_{ij}^2 \sum_{j=1}^n v_j^{*2}} \quad (11)$$

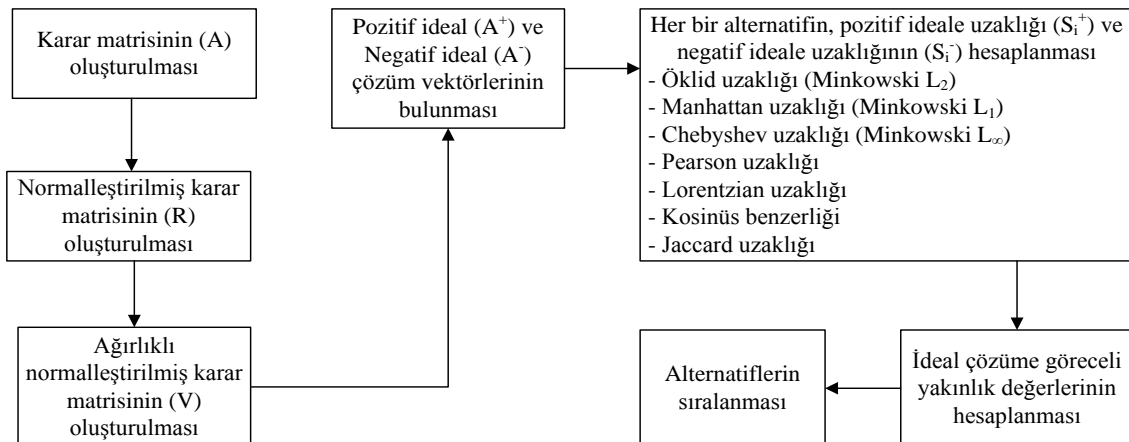
Jaccard Uzaklığı: Diğer bir ismi Tanimoto uzaklığı olup, kosinüs uzaklığının farklı bir varyasyonudur. Yatırım fonu performansı değerlendirmesinde ele alındığı örnek bir uygulama vardır [11].

$$S_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}{\sum_{j=1}^n v_{ij}^2 + \sum_{j=1}^n v_j^{*2} - \sum_{j=1}^n v_{ij} v_j^*} \quad (12)$$

3. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Bu çalışmada, TOPSIS yönteminde farklı uzaklık hesaplama yaklaşımlarının kullanılması durumunda elde edilen alternatif sıralamalarının nasıl bir benzerlik/farklılık sergilediğinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu maksatla Şekil 1'deki akış şeması doğrultusunda, örnek bir ÇKKV problemi TOPSIS'te ele alınarak, yukarıda verilen uzaklık yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

Klasik TOPSIS yönteminden farklı olarak bu çalışmada Şekil 1'de 5. Adımda gösterildiği gibi farklı uzaklık hesaplama yöntemlerinin her biri ile problem ele alınmaktadır.



Şekil 1. TOPSIS yöntemi akış şeması (Flow chart for TOPSIS technique)

Tablo 3. Örnek ÇKKV probleminin karar matrisi (A) (Decision matrix for example MCDM problem)

KRİTER	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
AĞIRLIK	0,037591	0,415086	0,024172	0,181746	0,158575	0,022755	0,093478	0,066597
A1	3,33	60	28	9	5	5,5	3	719
A2	1,29	17	48	5	5	3,41	3	661
A3	3,31	76	32	3	1	4,3	5	350
A4	7,27	270	36	7	3	4,64	3	488
A5	2,79	28	33	5	9	4,2	1	1225
A6	1,88	80	30	9	3	3,77	9	737
A7	4,52	81	27	5	9	4,33	5	741
A8	8,67	68	29	7	9	2,9	7	9138
A9	2,7	81	41	9	9	5,2	9	1203
A10	5,14	69	41	5	9	4	7	1024
A11	3,12	87	46	9	9	6,1	7	1636
A12	1,49	29	37	5	3	2,5	3	2789
A13	5,11	29	29	5	5	4	9	4512
A14	5,39	13	39	7	7	4,1	7	1405
A15	4,47	88	35	7	5	3,4	9	4800
KRİTER TİPİ	MALİYET	MALİYET	FAYDA	FAYDA	FAYDA	FAYDA	FAYDA	MALİYET

Tablo 4. Birinci Karar alternatifi için normalleştirilmiş karar matrisi (R) (Normalized decision matrix for 1st decision alternative)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	0,190898	0,166783	0,201023	0,345388	0,194184	0,333622	0,121766	0,059559

Tablo 5. Birinci Karar alternatifi için ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi (V)
(Weighted normalized decision matrix for 1st decision alternative)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
AĞIRLIK	0,037591	0,415086	0,024172	0,181746	0,158575	0,022755	0,093478	0,066597
A1	0,007176	0,069229	0,004859	0,062773	0,030793	0,007591	0,011382	0,003966

Tablo 6. Pozitif ideal (A*) ve negatif ideal (A-) çözüm vektörleri (Positive ideal and negative ideal solution vectors)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
(A*)	0,002780	0,015000	0,008330	0,062773	0,055427	0,008420	0,034147	0,001931
(A-)	0,018684	0,311531	0,004686	0,020924	0,006159	0,003451	0,003794	0,050411

4. UYGULAMA (APPLICATION)

Tablo 3'te karar matrisi verilen örnek problem, TOPSIS'te Şekil 1'de 5. adımda verilen uzaklık hesaplama yöntemleri ile ele alınmıştır. Bu problemde toplam 15 alternatif ve her bir alternatife ait ağırlık ve maliyet/fayda kriterlerine sahip 8 adet ölçüt yer almaktadır. Bu problemde hedeflenen, hangi alternatifin en iyi alternatif olduğunun belirlenmesidir. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde 1. karar alternatifi (A1) için Şekil 1 ile verilen akış şemasındaki adımlara yönelik hesaplamalar bulunmaktadır. Tablo 4'de vektör normalizasyonu ile R normalleştirilmiş karar matrisi sunulmuştur. Eş. 1 ile gösterilen vektör normalizasyonun matematiksel ifadesi kullanılarak 1. kriter (K1) için bulunan değerlerin hesaplamasına yer verilmiştir.

$$K1 = \frac{3,33}{\sqrt{304,289}} = 0,190898$$

Tablo 5'de, Eş. 2 ile hesaplanan ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi (V) sunulmuş, K1 için ağırlıklı değer hesaplaması örnek olarak gösterilmiştir.

$$K1 = 0,037591 * 0,190898 = 0,007176$$

Tablo 6'da, V matrisinden Eş. 3 kullanılarak elde edilen pozitif ideal (A*) ve negatif ideal (A-) çözüm vektörleri yer almaktadır. Son aşamada, Eş. 6 – Eş. 12 ile ifade edilen ve TOPSIS yönteminde kullanılabilirliği incelenen bütün uzaklık hesaplama yöntemleri için pozitif ideale uzaklık

(S_i^*) ve negatif ideale uzaklık (S_i^-) değerleri bulunmuştur. Bu uzaklık değerleri kullanılarak, alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlık değerleri denklem (5) yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen alternatif sıralamaları Tablo 7-13'de verilmiştir.

Tablo 7. Öklid uzaklığı ile TOPSIS çözümü (TOPSIS solution by using Euclidian distance)

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	SIRA
A1	0,064048	0,251859	0,797257	6
A2	0,044062	0,297538	0,871013	2
A3	0,098619	0,229839	0,699751	13
A4	0,300307	0,057315	0,160268	15
A5	0,045240	0,287508	0,864042	3
A6	0,085836	0,230759	0,728877	11
A7	0,085070	0,229434	0,729509	10
A8	0,083145	0,240929	0,743439	9
A9	0,078679	0,234002	0,748374	8
A10	0,071438	0,242894	0,772730	7
A11	0,086103	0,226213	0,724307	12
A12	0,056678	0,281418	0,832362	5
A13	0,048376	0,282419	0,853759	4
A14	0,022932	0,304092	0,929877	1
A15	0,094650	0,216939	0,696235	14

Tablo 8. Manhattan uzaklığı ile TOPSIS çözümü (TOPSIS solution by using Manhattan distance)

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	SIRA
A1	0,112359	0,378640	0,771162	7
A2	0,085342	0,405657	0,826187	2
A3	0,188598	0,302401	0,615889	14
A4	0,387943	0,103056	0,209891	15
A5	0,088845	0,402154	0,819053	4
A6	0,124003	0,366996	0,747447	9
A7	0,136740	0,354259	0,721506	11
A8	0,157096	0,333903	0,680048	12
A9	0,088661	0,402338	0,819427	3
A10	0,116230	0,374770	0,763280	8
A11	0,104356	0,386643	0,787462	5
A12	0,126840	0,364159	0,741669	10
A13	0,108383	0,382617	0,779261	6
A14	0,052833	0,438166	0,892397	1
A15	0,162505	0,328494	0,669032	13

Tablo 9. Chebyshev uzaklığı ile TOPSIS çözümü (TOPSIS solution by using Chebyshev distance)

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	SIRA
A1	0,054230	0,242302	0,817121	6
A2	0,027899	0,291916	0,912765	2
A3	0,072691	0,223841	0,754864	9
A4	0,296532	0,047719	0,138617	15
A5	0,030353	0,279224	0,901953	4
A6	0,077306	0,219226	0,739300	10
A7	0,078460	0,218072	0,735409	11
A8	0,063460	0,233072	0,785992	7
A9	0,078460	0,218072	0,735409	12
A10	0,064614	0,231918	0,782101	8
A11	0,085383	0,211149	0,712062	13
A12	0,036951	0,278071	0,882703	5
A13	0,027899	0,278071	0,908817	3
A14	0,013950	0,296532	0,955071	1
A15	0,086536	0,209995	0,708171	14

Tablo 10. Lorentzian uzaklığı ile TOPSIS çözümü (TOPSIS solution by using Lorentzian distance)

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	SIRA
A1	0,110368	0,351004	0,760783	7
A2	0,084387	0,368251	0,813566	3
A3	0,183920	0,279232	0,602895	14
A4	0,349999	0,101457	0,224732	15
A5	0,087839	0,366904	0,806837	4
A6	0,120481	0,343458	0,740308	9
A7	0,133282	0,330987	0,712920	11
A8	0,153760	0,308527	0,667393	12
A9	0,085718	0,378034	0,815164	2
A10	0,113771	0,348890	0,754094	8
A11	0,100844	0,363859	0,782992	5
A12	0,125264	0,330520	0,725168	10
A13	0,107231	0,348700	0,764809	6
A14	0,052572	0,399109	0,883609	1
A15	0,158239	0,307659	0,660357	13

Tablo 11. Pearson uzaklığı ile TOPSIS çözümü (TOPSIS solution by using Pearson distance)

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	SIRA
A1	0,232811	0,440721	0,654343	7
A2	0,043107	0,456760	0,913764	2
A3	0,439183	0,277254	0,386990	13
A4	5,966154	0,125717	0,020637	15
A5	0,076807	0,701935	0,901371	3
A6	0,428399	0,560442	0,566767	11
A7	0,451691	0,665499	0,595690	10
A8	1,585152	0,742420	0,318968	14
A9	0,425555	0,925474	0,685014	5
A10	0,325519	0,758030	0,699581	4
A11	0,519386	0,808653	0,608907	9
A12	0,172132	0,335106	0,660649	6
A13	0,345781	0,616203	0,640554	8
A14	0,054346	0,718864	0,929714	1
A15	0,844576	0,536717	0,388561	12

Tablo 12. Kosinüs Benzerliği uzaklık yöntemi ile TOPSIS çözümü (TOPSIS solution by using Cosine similarity distance)

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	SIRA
A1	0,780687	0,257194	0,247807	7
A2	0,962313	0,560237	0,367960	2
A3	0,434596	0,045102	0,094021	14
A4	0,317748	0,016367	0,048986	15
A5	0,875355	0,504159	0,365461	3
A6	0,695016	0,184731	0,209982	11
A7	0,690515	0,168290	0,195958	12
A8	0,739423	0,263321	0,262601	6
A9	0,804533	0,242253	0,231425	8
A10	0,754895	0,222128	0,227352	9
A11	0,772298	0,209344	0,213259	10
A12	0,819480	0,310121	0,274541	5
A13	0,855385	0,434811	0,337012	4
A14	0,987100	0,712706	0,419287	1
A15	0,659058	0,129418	0,164136	13

Tablo 13. Jaccard uzaklık yöntemi ile TOPSIS çözümü (TOPSIS solution by using Jaccard distance)

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	SIRA
A1	0,362750	0,729707	0,667950	5
A2	0,292213	0,923204	0,759578	3
A3	0,722380	0,652421	0,474557	14
A4	0,906471	0,032208	0,034312	15
A5	0,254292	0,876473	0,775115	2
A6	0,491544	0,634789	0,563589	11
A7	0,493243	0,631711	0,561544	12
A8	0,450106	0,668119	0,597481	9
A9	0,388852	0,635539	0,620407	8
A10	0,404609	0,689905	0,630330	7
A11	0,435785	0,603111	0,580531	10
A12	0,431926	0,866626	0,667379	6
A13	0,289951	0,860075	0,747874	4
A14	0,072402	0,932255	0,927933	1
A15	0,540091	0,576786	0,516427	13

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada TOPSIS yönteminde, alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklığının belirlenmesinde kullanılacak yöntemler kıyaslanmıştır. Örnek uygulamada her bir uzaklık hesaplama yaklaşımı ile elde edilen alternatif sıralaması toplu olarak Tablo 14'de

verilmiştir. Bütün uzaklık hesaplamaları sonucunda A14, TOPSIS tarafından en iyi alternatif olarak sunulurken, ikinci ve özellikle de üçüncü sırada sunulan alternatiflerde farklı uzaklık hesaplama yöntemleri kullanıldığında sıralama değişiklikleri göze çarpmaktadır. Farklı bir örnek üzerinde kıyaslama yapabilmek adına otomotiv sektörüne yönelik performans analizinde TOPSIS kullanılmasını içeren bir çalışmanın [33] verilerinden faydalanılmıştır. Bu çalışmada ele alınan her bir uzaklık ölçütünün kullanılması ile elde edilen alternatif sıralaması Tablo 15'de sunulmuştur. Chebyshev ve Kosinüs benzerliği ile elde edilen sonuçlar makale sırası ile birebir uyum göstermekle birlikte diğer ölçütler için elde edilen sıralamalarda farklılıklar söz konusudur.

Bu farklılıkların temelinde, uzaklık hesaplamalarındaki farklı hesaplama yaklaşımları yatmaktadır. Örneğin Öklid yöntemi; iki nokta arasındaki uzaklık bu noktalardan geçen bir doğrudur ilkesine dayanırken, Manhattan yöntemi; bir şehirde kare şeklinde bloklar arasında bir taksinin kat edeceği mesafe yaklaşımını esas almaktadır. Chebyshev yöntemi; bir satranç tahtasındaki şahın hareketini simüle eden bir hesaplama yaklaşımını kullanırken, Kosinüs yöntemi; vektörler arasındaki açıyı temel alan uzaklık hesaplama yaklaşımına sahiptir. Uzaklık hesaplama probleminin ele alınışındaki bu gibi farklılıklar, özellikle vektörlerin nispeten birbirine yakın olduğu durumlarda kendilerini göstermekte, bu durum da alternatiflerin sıralamasına yansımaktadır.

Tablo 14. Örnek ÇKKV probleminin farklı uzaklık hesaplama yöntemleri kullanılarak TOPSIS ile sıralama toplu sonuçları (TOPSIS ranking solution of example MCDM problem by using different distance measures)

	Öklid Uzaklığı	Manhattan Uzaklığı	Chebyshev	Lorentzian	Pearson	Kosinüs Benzerliği	Jaccard
A1	6	7	6	7	7	7	5
A2	2	2	2	3	2	2	3
A3	13	14	9	14	13	14	14
A4	15	15	15	15	15	15	15
A5	3	4	4	4	3	3	2
A6	11	9	10	9	11	11	11
A7	10	11	11	11	10	12	12
A8	9	12	7	12	14	6	9
A9	8	3	12	2	5	8	8
A10	7	8	8	8	4	9	7
A11	12	5	13	5	9	10	10
A12	5	10	5	10	6	5	6
A13	4	6	3	6	8	4	4
A14	1	1	1	1	1	1	1
A15	14	13	14	13	12	13	13

Tablo 15. Otomotiv sektörüne yönelik uygulama probleminde farklı uzaklık hesaplama yöntemleri kullanılarak TOPSIS ile sıralama toplu sonuçları (TOPSIS ranking solution of automotive industry problem by using different distance measures)

	Öklid Uzaklığı	Manhattan Uzaklığı	Chebyshev	Lorentzian	Pearson	Kosinüs Benzerliği	Jaccard
FİRMA A	3	2	3	2	2	3	3
FİRMA B	1	1	1	1	4	1	1
FİRMA C	2	3	2	3	3	4	2
FİRMA D	4	4	4	4	1	2	4
FİRMA E	5	5	5	5	5	5	5

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

TOPSIS yönteminin esası, pozitif ideale en yakın ve aynı zamanda negatif ideale en uzak alternatifin belirlenmesidir. TOPSIS, bu uzaklık hesaplamalarını yaparken Öklid uzaklığının hesaplamaktadır. Bununla birlikte, vektörler arası uzaklığın hesaplanmasında, literatürde yer alan, bilim dünyasında kabul görmüş farklı uzaklık hesaplama yöntemleri de bulunmaktadır. Bu çalışmada TOPSIS yönteminde kullanılabilecek Öklid uzaklığından farklı, yeni uzaklık yöntemleri örnek bir problem üzerinde denenmiştir. Önerilen farklı uzaklık hesaplama yöntemleri de örnek karar problemi için Öklid uzaklığı ile aynı alternatifi (A14) en iyi karar seçeneği olarak göstermiştir. Ancak, karar alternatiflerinin sıralamasında bazı değişimler söz konusudur. Çalışmada kullanılan uzaklık ölçütleri, karar alternatiflerinin sıralanmasında en iyi ikinci ve üçüncü alternatiflerden itibaren farklılaşmalara yol açmıştır. Karar vericiler için en iyi karar alternatifinin yanında, karar alternatiflerinin sıralamasının da önemli olduğu bazı karar problemlerinde bu değişimler önemli farklılıklar yaratabilir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, problem verilerinin farklı uzaklık hesaplama yöntemleri ile işlenerek karar vericilere alternatif karar sunulmasının doğru karar almada daha anlamlı ve tutarlı sonuçlar vereceğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda, değişik veri ve problem yapıları ile önerilen uzaklık ölçütleri kullanıldığında elde edilen sonuçların analiz edilmesi, farklı ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonu, belirsizlik durumunu içeren problemler için bulanık mantığın kullanılması gibi yönlerde araştırmalar sürdürülebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Kirkwood C.W., Strategic decision making: Multiobjective decision analysis with spreadsheets, Duxbury Press, Belmont, California, 1997.
- Oz E., Management Information Systems, 4th Edition, International Thomson Publishing, Boston, USA, 2004.
- Tabucanon M.T. Multiple criteria decision making in industry, Elsevier, New York, USA, 1988.
- Yoon K.P., Hwang C.L., Multiple Attribute Decision Making: An Introduction, SAGE Publications, California, USA, 2005.
- Gregory G., Decision Analysis, Plenum Pres, New York, USA, 1998.
- Ersöz F., Kabak M., Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması, KHO Savunma Bilimleri Dergisi, 9 (1), 97-125, 2010.
- Hwang C.L., Yoon K., Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York, USA, 1981.
- Özdağoğlu A., Farklı Normalizasyon Yöntemlerinin TOPSIS'te Karar Verme Sürecine Etkisi, Ege Akademik Bakış, 13 (2), 245-257, 2013.
- Olson D.L., Comparison of Weights in TOPSIS Models, Math. Comput. Modell., 40 (7), 721-727, 2004.
- Omosigbo S.E., Omorogbe, D.E.A., Supplier Selection Using Different Metric Functions, Yugoslav Journal of Operations Research, 25 (3), 413-423, 2015.
- Chang C.H., Lin J.J., Lin J.H., Chiang M.C., Domestic open-end equity mutual fund performance evaluation using extended TOPSIS method with different distance approaches, Expert Syst. Appl., 37, 4642-4649, 2010.
- Ye J., Multicriteria Group Decision-Making Method Using Vector Similarity Measures For Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Numbers, Group Decision and Negotiation, 21 (4), 519-530, 2012.
- Liao H., Xu Z., Approaches to manage hesitant fuzzy linguistic information based on the cosine distance and similarity measures for HFLTSS and their application in qualitative decision making, Expert Syst. Appl., 42, 5328-5336, 2015.
- Yoon K., Systems Selection by Multiple Attribute Decision Making, Doktora Tezi, Kansas State University, 1980.
- Lai Y.J., Liu T.Y., Hwang C.L., TOPSIS for MODM, Eur. J. Oper. Res., 76 (3), 486-500, 1994.
- Yoon K., Hwang C.L., Multiple Attribute Decision Making: An Introduction, Sage, Thousand Oaks, Kanada, 1995.
- Cevikcan E., Cebi S., Kaya I., Fuzzy VIKOR and Fuzzy Axiomatic Design Versus to Fuzzy TOPSIS: An Application of Candidate Assessment", Journal Of Multiple-Valued Logic And Soft Computing, 15 (2-3), 181-208, 2009.
- Celik M., Cebi S., Kahraman C., Er I.D., Application of axiomatic design and TOPSIS methodologies under fuzzy environment for proposing competitive strategies on Turkish container ports in maritime transportation network, Expert Syst. Appl., 36, 4541-4557, 2009.
- Baykasoglu A., Golcuk I., Development of a novel multiple-attribute decision making model via fuzzy cognitive maps and hierarchical fuzzy TOPSIS, Information Sciences, 301, 75-98, 2015.
- Dagdeviren M., Yavuz S., Kilinc N., Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment, Expert Syst. Appl., 36, 8143-8151, 2009.
- Şeker A., Using Outputs of NASA-TLX for Building a Mental Workload Expert System, Gazi University Journal of Science, 27 (4), 1131-1142, 2014.
- Dagdeviren M., A hybrid multi-criteria decision-making model for personnel selection in manufacturing systems, Journal of Intelligent Manufacturing, 21, 451-460, 2010.
- İç Y.T., Yıldırım S., Improvement of a Product Design Using Multi Criteria Decision Making Methods with Taguchi Method, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27 (2), 447-458, 2012.
- Kul Y., Şeker A., Yurdakul M., Usage of Fuzzy Multi Criteria Decision Making Methods in Selection of Nontraditional Manufacturing Methods, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29 (3), 589-603, 2014.

25. Kabak M., Köse E., Kırılmaz O., Burmaoğlu S., A fuzzy multi-criteria decision making approach to assess building energy performance, *Energy Build.*, 72, 382–389, 2014.
26. İç Y.T., Tekin M., Pamukoğlu F.Z., Yıldırım S.E., Development of a Financial Performance Benchmarking Model for Corporate Firms, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (1), 71-85, 2015.
27. Chen C.T., Lin C.T., Huang S.F., A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management, *Int. J. Prod. Econ.*, 102, 289–301, 2006.
28. Tsaur S.H., Chang T.Y., Yen C.H., The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM, *Tourism Management*, 23, 107–115, 2002.
29. Tzeng G.H., Lin C.W., Opricovic S., Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation, *Energy Policy*, 33, 1373–1383. 2005.
30. Chen M.F., Tzeng G.H., Combining Grey Relation and TOPSIS Concepts for Selecting an Expatriate Host Country, *Math. Comput. Modell.*, 40, 1473-1490, 2004.
31. Yang T., Hung C.C., Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem, *Rob. Comput. Integr. Manuf.*, 23, 126–137, 2007.
32. Cha S.H., Comprehensive Survey on Distance/Similarity Measures between Probability Density Functions, *International Journal Of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 1 (4), 300-307, 2007.
33. Yurdakul M., İç Y.T., An Illustrative Study Aimed to Measure and Rank Performance of Turkish Automotive Companies Using TOPSIS, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 18, (1), 1-18, 2003.

