

TR DÜZEY BÖLGELERİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ÇOK KRİTERLİ BİR YAKLAŞIM

A Multi-Criteria Approach to Evaluation of the Performance of Tr Level Regions

Gökhan AKANDERE*

Geliş Tarihi (Received): 03.06.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 13.06.2022

Yayın Tarihi (Published): 30.06.2022

ÖZ

Günümüzde yaşanan tedarik zincir ve operasyon yönetimi ile ilgili problemler hem üretici hem de tüketiciler için olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Tedarik zincirinin en önemli parçalarından biri de lojistikdir. Ülkemizde ihtisaslı bölge sınıflandırılması için kullanılan TR düzey kodlu bölgelerin sahip olduğu lojistik altyapı ve üstyapılar bölgenin dış ve iç ticaretini olumlu yönde etkilemektedir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri ile, beş TR düzey bölgesinin performansı değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bütünlük olarak iki aşamada gerçekleştirilen uygulamada, TR düzey bölgelerinin lojistik altyapı ve üstyapı verilerinin oransal verileri objektif bir ağırlıklandırma yapılmak için kullanılan Entropi ve CRITIC yöntemleri kullanılmıştır. İkinci aşamada ise hesaplanan önem ağırlıkları yardımıyla VIKOR ve TOPSIS yöntemi kullanılarak söz konusu TR düzey bölgelerinin performanslarına göre sıralanması sağlanmıştır. CRITIC yöntemi için K11'nin (Demiryolu km/kişi) en yüksek ve K14'nün (Havalimanı adet/kişi) en düşük ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. ENTROPİ yöntemi için ise, K6'nın (Otoyol Ağı km/kişi) en yüksek ve K10'nun (Demiryolu km/km²) en düşük ağırlığa sahip olduğu görülmüştür. TR düzey bölgelerinin performans tüm çok kriterli karar verme yöntemi değerlendirmesine göre, TR42 ve TR31 ilk sıralarda yer aldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Entropi, CRITIC, VIKOR, TOPSIS, TR Düzey Bölgeleri, Performans

ABSTRACT

Problems related to supply chain and operation management experienced today have negative effects for both producers and consumers. One of the most important parts of the supply chain is logistics. The logistics infrastructure and superstructures of the TR level coded regions used for the classification of specialized regions in our country positively affect the foreign and domestic trade of the region. In this study, it is aimed to evaluate the performance of five TR level regions with multi-criteria decision making (MCDM) techniques. Entropy and CRITIC methods, which are used to make an objective weighting of the proportional data of the logistics infrastructure and superstructure data of the TR level regions, were used in the application, which was carried out in two integrated stages. In the second stage, with the help of the calculated importance weights, VIKOR and TOPSIS methods were used to rank the TR level regions according to their performance. For the CRITIC method, it was determined that K11 (Railway km/person) had the highest weight and K14 (Airport number/person) had the lowest weight. For the ENTROPY method, it was seen that K6 (Highway Network km/person) had the highest weight and K10 (Railway km/km²) had the lowest weight. TR42 and TR31 were determined to be in the first place according to the performance evaluation of all multi-criteria decision making method of TR level regions.

Keywords: Entropy, CRITIC, VIKOR, TOPSIS, TR Level Regions, Performance

* Dr.Öğr.Üyesi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Lojistik Programı, gakandere@selcuk.edu.tr, ORCID
ID: 0000-0002-5051-1154

GİRİŞ

Covid 19 pandemisinin oluşturduğu olumsuz sonuçların etkileri, ülkeleri ve işletmeleri tedarik zincirlerini ve lojistik süreçlerini daha etkin hale getirmek zorunda bırakmıştır. Bu bağlamda sektörel ve bölgesel bazda kısa, orta ve uzun vadeli strateji, politika ve tedbirler; sektörün beklenti ve çözüm önerileri ile küresel eğilimler ve bölgesel fırsatlar işletmeler ve ülkeler tarafından değerlendirilmelidir.

Dünya lojistik pazarında Türkiye, karayolu taşımacılığının yoğun olarak kullanıldığı ve yüksek rekabet ortamının olduğu bir sektör yapısına sahiptir. Dünya Ekonomik Forumu'nun verilerine göre Türkiye'nin karayolu altyapısı diğer ulaştırma türlerinin altyapılarına göre daha yüksek düzeydedir. Covid 19 pandemisiyle işletmelerin cirolarında azalmakta ve lojistik maliyetlerin enerji maliyetlerindeki artışla daha da yükselmektedir. Tüm TR düzey bölgelerinde hizmet veren lojistik işletmeler, 2020 yılında 2019 yılına göre daha düşük gelir elde etmiştir. Lojistik işletmelerinin müşteri taleplerindeki daralma ve yaşadıkları tahsilat problemleri de gelirlerinin düşmesinde etken olmuştur. Bu olumsuz durumlarla karşılaşan işletmelerin, maliyetlerdeki artışın sonucunda karlılıkları da düşmüştür.

Lojistik sektörü çerçevesinde yürütülen ve uluslararası lojistik ağlarında hem tarihsel olarak hem de günümüzde kritik bir konumda bulunan ve TR42 (Bolu, Düzce, Kocaeli, Sakarya, Yalova), TR10 (İstanbul) ve TR21 (Edirne, Kırklareli, Tekirdağ) bölgelerinden oluşan Marmara Bölgesi, TRA2 (Ağrı, Ardahan, Iğdır, Kars) Bölgesi, TR42 (İzmir) Bölgesi ve TR63 (Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye) Bölgesi Türkiye'nin lojistik potansiyelini oluşturan ihtisaslı alanlardır.

Bu ihtisaslı alanların etkin maliyet ve sürdürülebilirlik açısından daha da başarılı olmaları karayolu odaklı büyüyen ulaştırma sektöründe daha dengeli bir modal dağılımın olmasıyla mümkün olacaktır. Bu bağlamda çalışmanın amacı, TR düzey bölgelerinin performanslarının değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri ile lojistik altyapısı açısından TR düzey bölgelerinin performansının değerlendirilmesidir.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemlerine İlişkin Literatür Araştırması

Çalışmada kullanılan çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerine yönelik literatürde performans değerlendirmesi için kullanılan çalışmalar Tablo 1'de, amaç ve yöntemlerine göre özetlenmektedir.

Tablo 1 Literatürde Entropi-VIKOR Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Amaç	Yöntem	Yazar(lar)
Toplam Verimli Bakım uygulayan bir üretim işletmesinde bakım personeline ait performans değerlendirmesi yapılmıştır.	Bütünleşik ENTROPİ AĞIRLIK-VIKOR yöntemi	Sarı, (2017)
Çalışmada, "Forbes" dergisinin açıkladığı "Global 2000" listesinde en büyük şirketler arasında yer alan bilişim teknolojisi sektöründeki bilgisayar donanım firmalarının performans ölçümü yapılmıştır.	Bütünleşik ENTROPİ AĞIRLIK-VIKOR yöntemi	Gök-Kısa ve Perçin, (2018)
Çalışmada, BIST'te işlem gören imalat sektöründeki işletmelerin yıllık finansal performans sıralamaları değerlendirilmiştir.	Bütünleşik ENTROPİ AĞIRLIK-VIKOR-TOPSIS yöntemi	Şahin ve Sarı, (2019)
Çalışmada, Düzce ili Konuralp yerleşkesinde bulunan yedi mahalle üzerinde tesis edilmesi düşünülen bir afet istasyonunun optimum konumu belirlenmiştir.	Bütünleşik ENTROPİ AĞIRLIK-VIKOR-TOPSIS yöntemi	Arslan, (2020)
Çalışmada, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerindeki mutfak turizmi hedef pazarları belirlenmiştir.	Bütünleşik ENTROPİ AĞIRLIK-VIKOR yöntemi	Abdulhamit ve Dilek, (2021)
Çalışmada, en son 2019 yılı için ölçülen G20 grubunda yer alan 19 ülkenin CISCO Dijital Hazırlık Endeksi (CDRI) bileşenlerine ait değerler üzerinden söz konusu ülkelerin dijital hazırlık performansları ölçülmüştür.	Bütünleşik ENTROPİ AĞIRLIK-VIKOR yöntemi	Altıntaş, (2021)
Çalışmada, sürdürülebilir tedarik zinciri risk yönetimi değerlendirmesi için ideal çözüme benzerliğe (TOPSIS)	Bütünleşik CRITIC- TOPSIS yöntemi	Rostamzadeh vd., (2018)

göre tercih sırasına göre tekniğe ve kriterler arası korelasyon (CRITIC) yöntemleri ile kriterlerin önemine dayalı olarak entegre bir bulanık çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi önerilmiştir.		
Bu araştırmanın amacı, Telekomünikasyon Ekipmanları Şirketinin sürdürülebilir tedarik zinciri risk yönetimi İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sırasına Göre Tekniğe (TOPSIS) ve Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi (CRITIC) yöntemlerine dayanan plitojenik çok kriterli karar verme yöntemiyle değerlendirilmiştir.	Bütünleşik CRITIC- TOPSIS yöntemi	Abdel-Basset ve Mohamed, (2020)
Çalışmada, T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık İstatistikleri Yıllıklarında yer alan bölgelerin sağlık hizmetlerinin çok kriterli karar verme (ÇKKV) araçlarıyla değerlendirilmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.	Bütünleşik CRITIC- TOPSIS yöntemi	AYDIN, G. ve Z. CRITIC (2021).
Çalışmada, İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda (İMKB) işlem gören on dört büyük ölçekli holdingin finansal tablolarının analizi için CRITIC-TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.	Bütünleşik CRITIC- TOPSIS yöntemi	Kazan ve Ozdemir, (2014).
Çalışmada, teknik, ekonomik ve tekno-ekonomik kriterleri kullanarak kırsal bir topluluk için hibrit bir yenilenebilir enerji kaynağı seçim süreci için Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi (CRITIC) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği'ni (TOPSIS) yöntemi kullanılmıştır.	Bütünleşik CRITIC- TOPSIS yöntemi	Babatunde, M., & Ighravwe, D. (2019).
Çalışmada, hayat dışı sigorta şirketlerinin 2009- 2017 dönemine ilişkin genel performansının analizi Çok kriterli karar verme tekniklerinden TOPSIS (MULTIMOORA) yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir.	Bütünleşik CRITIC- TOPSIS- MULTIMOORA yöntemi	Işık, Ö. (2019).
Çalışmada, IMPULS olgunluk modeli ile lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesi Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı (AHP-Olgunluk Puan Hesaplama Yöntemi) ve Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı (AHP-TOPSIS ve AHP- VIKOR) ile gerçekleştirilmiştir.	Bütünleşik AHP- TOPSIS- VIKOR yöntemi	Baki ve Serdar, (2020).

Bu çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri ile, TR düzey bölgelerinin performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Literatürde, bütünleşik Entropi TOPSIS-VIKOR ve CRITIC TOPSIS-VIKOR yönteminin TR düzey bölgelerinin performans ölçümünde kullanılması sebebiyle literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir. Ayrıca çalışmada duyarlılık analizi yapılarak

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Çalışmada, TR42 (Bolu, Düzce, Kocaeli, Sakarya, Yalova), TR10 (İstanbul) ve TR21 (Edirne, Kırklareli, Tekirdağ) bölgelerinden oluşan Marmara, TRA2 (Ağrı, Ardahan, Iğdır, Kars), TR42 (İzmir) ve TR63 (Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye) Bölgelerinin lojistik altyapısı açısından performansı değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Performans ölçümü için çalışmada kullanılan kriterler Tablo 1'de gösterilmiştir. Literatürde performans değerlendirmesi için yaygın olarak çok kriterli karar verme yaklaşımları uygulanmaktadır. Araştırmada kullanılan kriter değerleri, entegre Entropi, CRITIC, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin bütünleşik olarak uygulanmasıyla değerlendirilmiştir.

Tablo 1. TR Düzey Bölge Değerlendirme Kriterleri

Kriter	Kısaltması	Kaynak
Toplam Karayolu Ağı (km/km ²)	K1	
Bölünmüş Yol Ağı (km/km ²)	K2	
Otoyol Ağı (km/km ²)	K3	
Toplam Karayolu Ağı (km/kişi)	K4	
Bölünmüş Yol Ağı (km/kişi)	K5	
Otoyol Ağı (km/kişi)	K6	
Toplam Karayolu Ağı (km/GSYİH milyon dolar)	K7	
Bölünmüş Yol Ağı (km/GSYİH milyon dolar)	K8	
Otoyol Ağı (km/GSYİH milyon dolar)	K9	
Demiryolu (km/km ²)	K10	
Demiryolu (km/kişi)	K11	
Demiryolu (km/GSYİH milyon dolar)	K12	
Havalimanı Adet/km ²	K13	
Havalimanı Adet/kişi	K14	
Havalimanı Adet/GSYİH milyon dolar	K15	

Tablo 1’de çalışmada performans ölçümü için 2019 yılı kriter verileri kullanılmıştır. Çalışmada değerlendirilen TR Düzey Bölgeleri ve kısaltma değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2 TR Düzey Bölge ve Şehirleri

	TR Düzey Bölge Kodu	Kısaltma Değeri
1	İzmir	TR31
2	Bolu, Düzce, Kocaeli, Sakarya, Yalova	TR42
3	İstanbul	TR10
4	Edirne	TR21
5	Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye	TR63
6	Ağrı, Ardahan, Iğdır, Kars	TRA2

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Bu çalışmada Entropi, CRITIC, VİKOR ve TOPSIS yöntemi olmak üzere dört çok kriterli karar verme aracı kullanılmıştır. Seçilen ÇKKV araçlarıyla ilgili ayrıntılar aşağıdaki alt bölümlerde sunulmaktadır.

Entropi Ağırlık Yöntemi

Entropi kavramı, mevcut olan sistemdeki düzensizliğin belirsizlik ölçüsü olarak tanımlanmıştır (Shannon, 1948). Entropi teorisi, ağırlık tayini için nesnel bir yoldur. Entropi ağırlık yöntemi, uzmanların kişisel yargı ve düşüncelerine başvurmadan kriterlerin önem ağırlıklarının hesaplanmasına imkân sağlamaktadır (Wu, 2012). Entropi yönteminin uygulama süreçleri aşağıda açıklanmıştır (Wu, 2012):

Aşama 1; Yöntem için değişkenlerin karar matrisi eşitlik yardımıyla düzenlenmiştir.

$$D = \begin{matrix} a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Aşama 2; Karar matrisi değerlerinin ölçülmesinde kullanılan birimlerin farklılıkları yok edilerek, normalizasyon işlemleri eşitlik yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \forall i, j$$

Aşama 3; Her bir kriterin Entropisi eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$e_{ij} = - \sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})$$

$i=1,2,\dots,m$ ve $j= 1,2,\dots,n$ $k=(\ln(mm)^{-1})$ $e_{ij}=0 \leq e_{j} \leq 1$

Aşama 4; Farklılaşma dereceleri eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$d_j = 1 - e_j$$

$$j = 1,2,3 \dots n$$

Aşama 5; Her bir kriter için Entropi ağırlığı hesaplaması eşitlik yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$$

Aşama 6; Negatif veriler varsa düzeltmeler yapılmıştır.

CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) Yaklaşımı

CRITIC, her birinin içerdiği bilgi miktarını gösteren kriterlerin nesnel ağırlığına odaklanan, kullanışlı bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Bu yöntem, çok kriterli analizde kriterler tarafından yayılan bilginin iki boyutuna dayalı olarak objektif ağırlığı ölçüyor. Birincisi, her bir kriteri ayrı ayrı gösteren kontrast yoğunluğudur. Kontrast yoğunluğunu ölçmek için standart sapma hesaplanır. İkinci boyut, kriterler arasındaki doğrusal korelasyon katsayısı ile ölçülen, her karar vermenin çekirdeğini dikkate alan ÇKKV'deki ana kavram olan kriterler arasındaki çatışmadır. CRITIC yönteminin adımları ayrıntılı olarak şunlardır (Abdel-Basset ve Mohamed, 2020):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{max}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad x_{ij} \text{ fayda yönlü} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad x_{ij} \text{ maliyet yönlü} \quad (2)$$

$$r_{ij} = x = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - r_j^-)(r_{ik} - r_k^-)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2 \sum (r_{ik} - r_k^-)^2}} \quad (3)$$

$$H_j = \sigma_j \sum_{k=1}^K 1 - r_{jk} \quad (4)$$

$$w_j = \frac{H_j}{\sum_{j=1}^n H_j} \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemlerde H_j ve w_j sırasıyla j kriteri bilgi ölçüsünü ve önemini temsil eder.

VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi, ÇKKV probleminde uygulanacak uygulanabilir bir teknik olarak tanıtıldı ve ölçülemeyen (farklı birimler) ve çelişen kriterlere sahip ayrık bir karar verme problemini çözmek için çok öznitelikli bir karar verme yöntemi olarak geliştirildi. Bu yöntem, bir dizi alternatif arasından sıralamaya ve seçmeye odaklanır ve çelişen kriterlere sahip bir problem için uzlaşık çözümü belirler, bu da karar vericilerin nihai bir çözüme ulaşmasına yardımcı olabilir. Uzlaşma sıralaması için çok kriterli ölçü, bir uzlaşma programlama yönteminde bir toplama işlevi olarak kullanılan LP-metriğinden geliştirilmiştir.

Buna göre VIKOR yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir (Opricovic ve Tzeng, 2004, Sayadi vd., 2009):

Her alternatifin her bir kriter fonksiyonuna göre değerlendirildiği varsayılarak, ideal alternatife yakınlık ölçüsü karşılaştırılarak uzlaşık sıralama yapılır. Çeşitli m alternatifleri "A₁, A₂, ..., A_m" olarak gösterilir. Alternatif A_i için, j. yönün derecesi f_{ij} ile gösterilir, yani f_{ij}, alternatif A_i için j. kriter fonksiyonunun değeridir; n, kriter sayısıdır. VIKOR yöntemi, aşağıdaki L_p-metrik formülüyle başlar:

$$L_{pj} = \left\{ \sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)]^p \right\}^{1/p}, \quad 1 \leq p \leq \infty; j=1,2,\dots,J$$

$$S_i = L_{1j} = \sum_{i=1}^n (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)$$

$$R_i = L_{\infty j} = \max [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)]$$

VIKOR yönteminde, sıralama ölçüsünü formüle etmek için L_{1,i} (S_i olarak) ve L_{∞,i} (R_i olarak) kullanılır. Minimum S_i ile elde edilen çözüm, maksimum grup faydasına ("çoğunluk" kuralı) sahiptir ve minimum R_i ile elde edilen çözüm, "karşıtın" minimum bireysel pişmanlığına sahiptir.

VIKOR yönteminin uzlaşma sıralama algoritması aşağıdaki adımlara sahiptir:

(a) Tüm j = 1, 2, kriter fonksiyonlarının en iyi f_j^{*} ve en kötü f_j⁻ değerlerini belirleyin. . . , n. j.'nin işlevi bir faydayı temsil ediyorsa:

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, \quad f_j^- = \min_i f_{ij}$$

(b) S_i ve R_i değerleri, i = 1, 2, . . . , m, bu formüllerle hesaplanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)$$

$$R_i = \max_j w_j (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)$$

Burada w_j, göreceli önemlerini ifade eden kriterlerin ağırlıklarındır.

(c) Q_i değerleri; i = 1, 2, . . . , m, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Q_i = v (S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1-v) (R_i - R^*) / (R^- - R^*)$$

Burada;

$$S^* = \min_i S_i, \quad S^- = \max_i S_i$$

$$R^* = \min_i R_i, \quad R^- = \max_i R_i$$

V, "kriterlerin çoğunluğu" veya "maksimum grup faydası" stratejisinin ağırlığıdır, burada v = 0,5 olduğunu varsayılır.

(d) Alternatifleri, azalan düzende S, R ve Q değerlerine göre sıralayarak sıralayın. Sonuçlar üç sıralama listesidir.

(e) Aşağıdaki iki koşul karşılanıyorsa, Q (Minimum) ölçüsüne göre en iyi sıralanan A¹ alternatifini bir uzlaşmacı çözüm olarak önerir:

Uzlaşık Çözüm İçin Alternatiflerin Sıralanması: Aşağıda belirtilen iki koşul sağlandığında en küçük Q değerine sahip olan alternatif (A¹) uzlaşık çözüm olarak seçilmektedir.

C1. Kabul edilebilir avantaj:

Q (Aⁿ) - Q (A¹) ≥ DQ; burada A, Q'ya göre sıralama listesinde ikinci sıradaki alternatiftir; DQ = 1/(m-1); m alternatif sayısıdır.

C2. Karar vermede kabul edilebilir istikrar:

Alternatif A' ayrıca S ve/veya R tarafından en iyi sıralanmış olmalıdır. Bu uzlaşma çözümü, “çoğunluk kuralına göre oylama” ($v > 0,5$ gerekli olduğunda) veya “uzlaşma ile oylama” $v \approx 0,5$ veya “vetolu” ($v < 0,5$) olabilen bir karar verme sürecinde karardır. Burada v , “kriterlerin çoğunluğu” veya “maksimum grup faydası” karar verme stratejisinin ağırlığıdır.

Koşullardan biri karşılanmazsa, aşağıdakilerden oluşan bir dizi uzlaşmacı çözüm önerilir:

- Alternatifler A' ve A'', yalnızca C2 koşulu karşılanmıyorsa veya
- Alternatifler A', A'', ..., A^(M) eğer koşul C1 karşılanmıyorsa; A^(M), maksimum M için $Q(A^{(M)}) - Q(A') < DQ$ ilişkisi ile belirlenir (bu alternatiflerin konumları “yakınlıktır”).

Q'ya göre sıralanan en iyi alternatif, minimum Q değerine sahip olandır. Ana sıralama sonucu, alternatiflerin uzlaşma sıralama listesi ve “avantaj oranı” ile uzlaşma çözümüdür. VIKOR, özellikle karar vericinin sistem tasarımının başlangıcında tercihini ifade edemediği veya ifade etmeyi bilmediği durumlarda çok kriterli karar vermede etkili bir araçtır. Elde edilen uzlaşma çözümü, “çoğunluğun” maksimum “grup faydası” (min S ile temsil edilir) ve minimum “bireysel pişmanlık” (min R ile temsil edilir) sağladığı için karar vericiler tarafından kabul edilebilir. “rakipten”. Uzlaşma çözümleri, karar vericinin kriter ağırlıklarına göre tercihini içeren müzakerelerin temeli olabilir.

TOPSIS Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yaklaşımı, Hwang ve Yoon (1981: 72) tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin amacı, çözüm alternatifinin pozitif ideal çözüme en yakın mesafe ve negatif ideal çözümden en uzak mesafe düşüncesine göre seçilmesidir. Pozitif ideal çözüm elde edilebilen en iyi ölçütlerin birleşimi ve negatif ideal çözüm ise en kötü ölçütlerin birleşimi olarak tanımlanmaktadır (Rao, 2008; Mahmoodzadeh vd., 2007). Bu araştırma kapsamında çok kriterli karar verme yaklaşımlarından TOPSIS yöntemi uygulanacaktır. TOPSIS yöntemlerinde uygulanan adımlar aşağıda açıklanmıştır (Rao, 2008; Mahmoodzadeh vd., 2007).

Aşama 1; Yöntem için değişkenlerin karar matrisi eşitlik yardımıyla düzenlenmiştir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Aşama 2; Karar matrisi değerlerinin ölçülmesinde kullanılan birimlerin farklılıkları yok edilerek normalizasyon işlemleri eşitlik yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}}$$

Aşama 3; Ağırlıklandırılmış karar matrisi (V) eşitlik yardımıyla oluşturulmuştur.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_{11}r_{11} & \cdots & w_{n1}r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1m}r_{m1} & \cdots & w_{nm}r_{mn} \end{bmatrix}$$

Aşama 4; İdeal (A⁺) ve negatif ideal (A⁻) çözümleri eşitlikler yardımıyla oluşturulmuştur.

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J')\} A^+ = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J')\} A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

Aşama 5; Ağırlıklı karar matrisinde her bir performans göstergesinin ilgili sütunundan pozitif ideal çözüm için (S⁺), negatif ideal çözüm için (S⁻) değerler eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

Aşama 6; İdeal çözüme göreli yakınlıklar eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}$$

Aşama 7; Alternatiflerin önem sıralaması yapılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu alt başlıkta CRITIC ağırlıklandırma yaklaşımı ve VIKOR ve TOPSIS değerlendirme teknikleri kullanılarak ulaşılan sonuçlar ele alınacaktır. Çalışmada kullanılan kriterlere ilişkin ağırlıkların belirlenmesi amacıyla oluşturulan başlangıç karar matrisi Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
TR 31	0,10 7	0,0 43	0,0 3	0,000 291	0,000 116	0,03 3293	0,1 19	0,0 47	0,0 33	0,0480 19511	0,0001 30746	2,445 24E-06	8,4097 2E-05	2,289 77E-07	4,282 38E-09
TR 42	0,45 367	0,2 179	0,1 622	0,003 7	0,001 5	0,00 08	0,4 0,4	0,1 475	0,0 879	0,0291 56578	0,0001 45888	2,449 24E-06	5,0443 9E-05	2,524 01E-07	4,237 43E-09
TR 10	0,08 17	0,0 564	0,0 978	0 0	0 0	0 0	0,0 019	0,0 013	0,0 023	0,0736 12891	2,5903 3E-05	3,479 75E-07	0,0003 66233	1,288 72E-07	1,731 22E-09
TR 21	0,28 17	0,0 981	0,0 26	0,003 6	0,001 2	0,00 03	0,4 006	0,1 211	0,0 385	0,0260 05603	0,0002 68683	5,458 73E-06	5,2856 9E-05	5,461 05E-07	1,109 5E-08
TR 63	0,80 75	0,2 47	0,1 292	0,001 7671	0,000 5997	0,00 0226	0,3 292	0,1 269	0,0 351	0,0404 14956	0,0001 12591	3,901 63E-06	0,0002 16123	6,020 91E-07	2,086 43E-08
TR A2	0,27 6	0,1 26	0 0	0,009 31	0,003 49	0 0	1,8 91	0,7 57	0 0	0,0090 66577	0,0002 42317	1,205 E-05	0,0001 00368	2,682 48E-06	1,333 95E-07
En iyi	0,80 75	0,2 47	0,1 622	0,009 31	0,003 49	0,03 3293	1,8 91	0,7 57	0,0 879	0,0736 12891	0,0002 68683	1,205 E-05	0,0003 66233	2,682 48E-06	1,333 95E-07
En kötü	0,08 17	0,0 43	0 0	0 0	0 0	0 0	0,0 019	0,0 013	0 0	0,0090 66577	2,5903 3E-05	3,479 75E-07	5,0443 9E-05	1,288 72E-07	1,731 22E-09

Entropi Yaklaşımına İlişkin Sonuçlar

Kriterlerin başlangıç karar matrisinin Entropi yöntemiyle normalleştirilmesi sonucunda ulaşılan normalize edilmiş matris Tablo 4'tr gösterilmiştir.

Tablo 4. Normalize Matris

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
T R 31	0,05 3298 27	0,05 4540 84	0,06 7385 44	0,01 5588 09	0,01 6797 72	0,96 1697 33	0,03 7877 58	0,03 9140 57	0,16 7682 93	0,21 2216 43	0,14 1174 68	0,09 1744 2	0,09 6649 9	0,05 1560 7	0,02 4386 43
T R 42	0,22 5979 67	0,27 6382 55	0,36 4330 64	0,19 8199 07	0,21 7211 87	0,02 3108 7	0,12 7319 6	0,12 2834 78	0,44 6646 34	0,12 8853 98	0,15 7524 23	0,09 1894 12	0,05 7973 37	0,05 6835 23	0,02 4130 46
T R 10	0,04 0695 97	0,07 1537 29	0,21 9676 55	5,35 67E-10	1,44 81E-09	2,88 86E-10	0,00 0604 77	0,00 1082 61	0,01 1686 99	0,32 5323 29	0,02 7969 44	0,01 3055 86	0,42 0898 73	0,02 9019 22	0,00 9858 6
T R 21	0,14 0318 89	0,12 4429 22	0,05 8400 72	0,19 2842 34	0,17 3769 49	0,00 8665 76	0,12 7510 58	0,10 0849 43	0,19 5630 08	0,11 4928 62	0,29 0114 74	0,20 4808 89	0,06 0746 55	0,12 2971 02	0,06 3181 43

T R 6 3	0,40 2227 57	0,31 3292 74	0,29 0206 65	0,09 4658 8	0,08 6841 3	0,00 6528 21	0,10 4784 03	0,10 5679 55	0,17 8353 66	0,17 8609 02	0,12 1571 8	0,14 6387 05	0,24 8382 1	0,13 5578 03	0,11 8813 77
T R A 2	0,13 7479 64	0,15 9817 35	2,24 62E- 11	0,49 8711 71	0,50 5379 61	2,88 86E- 10	0,60 1903 43	0,63 0413 06	5,08 13E- 11	0,04 0068 65	0,26 1645 12	0,45 2109 89	0,11 5349 35	0,60 4035 8	0,75 9629 31

Tablo 4'teki her bir kriter değerinin logaritma değerleri alınmıştır. Alınan logaritma değeri ile kendi değeri çarpılmıştır. Bir sonraki aşamada Tablo 5'te bulunan değerlerin toplamları alınarak Ej değeri eşitlik (4) yardımıyla hesaplanmıştır. $K=1/\ln.n = 1/\ln7)= 0,51389$ $K=1/\ln.n$, bir sabit sayı olmak üzere $0 \leq e_{ij} \leq 1$ olmasını sağlar.

Tablo 5. Pij x Inpij Değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
TR 31	- 0,15 6262 6	- 0,15 8648 7	- 0,18 1760 5	- 0,06 4865 9	- 0,06 8644 1	- 0,03 7559 6	- 0,12 3988 3	- 0,12 6838 8	- 0,29 9428 1	- - 0,32 8967	- 0,27 6385 8	- 0,21 9154 1	- - 0,22 5838	- 0,15 2877 2	- 0,09 0564 6
TR 42	- 0,33 6101 9	- 0,35 5419 5	- 0,36 7862 3	- 0,32 0781 9	- 0,33 1656 9	- 0,08 7063 1	- 0,26 2412 7	- 0,25 7574 1	- 0,35 9991 7	- 0,26 4031 5	- 0,29 1132 5	- 0,21 9362 1	- 0,16 5094 9	- 0,16 2980 6	- 0,08 9868 6
TR 10	- 0,13 0293 3	- 0,18 8682 2	- 0,33 2941 6	- 1,14 4E- 08	- 2,94 7E- 08	- 6,34 5E- 09	- 0,00 4481 7	- 0,00 7392 5	- 0,05 1998 7	- 0,36 5317 2	- 0,10 0036 7	- 0,05 6643 1	- 0,36 4230 2	- 0,10 2722 1	- 0,04 5540 9
TR 21	- 0,27 5563 5	- 0,25 9312 8	- - 0,16 5883	- 0,31 7395 8	- 0,30 4101 1	- 0,04 1148 3	- 0,26 2615 2	- 0,23 1361 4	- 0,31 9176 3	- 0,24 8641 6	- 0,35 9010 8	- 0,32 4760 9	- 0,17 0153 8	- 0,25 7723 5	- 0,17 4491 6
TR 63	- 0,36 6323 6	- - 0,36 3613	- 0,35 9032 6	- 0,22 3155 9	- 0,21 2211 7	- 0,03 2847 5	- 0,23 6377 5	- 0,23 7498 3	- 0,30 7479 4	- 0,30 7664 1	- 0,25 6182 2	- 0,28 1282 9	- 0,34 5943 4	- 0,27 0913 1	- 0,25 3096 9
TR A2	- 0,27 2798	- 0,29 3060 9	- 5,50 7E- 10	- 0,34 6967 2	- - 0,34 4894	- 6,34 5E- 09	- 0,30 5561 3	- - 0,29 086	- 1,20 4E- 09	- 0,12 8907 3	- 0,35 0804 9	- 0,35 8898 4	- 0,24 9130 4	- 0,30 4507 6	- 0,20 8840 9

Tablo 5'te bulunan değerlerin toplamları alınarak Ej değeri hesaplanmıştır. $K=1/\ln.n = 1/\ln7)= 0,55811063$ $K=1/\ln.n$, bir sabit sayı olmak üzere $0 \leq e_{ij} \leq 1$ olmasını sağlar. Bulunan her bir Eij değerinden 1 çıkarılarak eşitlik kullanılarak Dij değerleri hesaplanmıştır. Son Tablo 6'da kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

Tablo 6. Ej,Dj ve Entropi (Wj) Kriter Ağırlık Değerleri

K=1/LN(M)		0,55811063														
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	
e j 3	0,858 0074 3	0,903 4343 1	0,785 5295 4	0,710 5678 9	0,704 0609 2	0,110 8510 6	0,667 1858 9	0,642 6783 4	0,746 7934 4	0,917 2708 4	0,911 7032 4	0,814 8981 5	0,848 5461 5	0,698 6005 9	0,481 3161 7	
d j 7	0,141 9925 7	0,096 5656 9	0,214 4704 6	0,289 4321 1	0,295 9390 8	0,889 1489 4	0,332 8141 1	0,357 3216 6	0,253 2066 6	0,082 7291 6	0,088 2967 6	0,185 1018 5	0,151 4538 5	0,301 3994 1	0,518 6838 3	
w j 8	0,033 8193 8	0,022 9997 4	0,051 0819 6	0,068 9361 1	0,070 4859 2	0,211 7749 3	0,079 2687 1	0,085 1058 4	0,060 3080 2	0,019 7041 9	0,021 0302 7	0,044 0870 3	0,036 0728 4	0,071 7864 4	0,123 5386 2	

Tablo 6'a göre en önemli performans kriteri K6 (0,211) olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde K15 kriteri (0,123) ise ikinci en önemli kriterdir. Performans değerlendirmesinde etkisi en düşük kriter K10 ren düşük ağırlığa sahip oldu görülmüştür.

CRITIC Yaklaşımına İlişkin Sonuçlar

Kriterlerin fayda ve maliyet durumları göz önüne alınarak oluşturulan normalize edilmiş matris Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Normalize Matris

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
T R 3 1	0,03 4858 088		0,18 4956 843	0,03 1256 713	0,03 3237 822		0,06 1987 19	0,06 0473 733	0,37 5426 621	0,60 3488 111	0,43 1841 58	0,17 9222 466	0,10 6568 845	0,03 9201 44	0,01 9376 372
T R 4 2	0,51 2496 556	0,85 7352 941		0,39 7422 127	0,42 9799 427	0,02 4029 075	0,21 0735 271	0,19 3463 014		0,31 1249 384	0,49 4209 867	0,17 9563 909		0,04 8374 274	0,01 9034 971
T R 1 0		0,06 5686 275	0,60 2959 309						0,02 6166 098						
T R 2 1	0,27 5558 005	0,27 0098 039	0,16 0295 931	0,38 6680 988	0,34 3839 542	0,00 9010 903	0,21 1052 882	0,15 8528 517	0,43 7997 725	0,26 2432 11		0,43 6741 312	0,00 7641 2	0,16 3389 724	0,07 1118 853
T R 6 3			0,79 6547 472	0,18 9806 66	0,17 1833 811	0,00 6788 214	0,17 3257 107	0,16 6203 52	0,39 9317 406	0,48 5672 633	0,35 7062 916	0,30 3678 318	0,52 4649 845	0,18 5314 334	0,14 5317 995
T R A 2	0,26 7704 602	0,40 6862 745									0,89 1397 544		0,15 8093 059		
S S	0,36 9599 52	0,41 2599 644	0,40 0583 105	0,36 7247 775	0,36 9062 465	0,40 5091 98	0,36 4742 929	0,36 8367 766	0,36 2622 343				0,39 3317 395	0,37 9762 513	0,39 1017 217

Değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin tespit edilmesi amacıyla hesaplanan korelasyon katsayıları Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. Korelasyon Katsayıları

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
K1	1,00 0	0,94 0	0,54 5	0,10 3	0,09 7	0,40 9	0,04 7	0,04 2	0,39 6	0,30 0	0,04 9	0,09 1	0,07 3	0,03 4	0,00 8
K2	0,94 0	1,00 0	0,66 2	0,22 8	0,24 0	0,50 3	0,13 3	0,12 9	0,54 3	0,37 6	0,05 0	0,10 1	0,15 0	0,07 1	0,05 4
K3	0,54 5	0,66 2	1,00 0	0,40 9	0,37 5	0,32 0	0,49 8	0,48 8	0,61 9	0,34 6	0,59 0	0,62 1	0,27 9	0,56 2	0,54 2
K4	0,10 3	0,22 8	0,40 9	1,00 0	0,99 8	0,40 6	0,96 5	0,95 2	0,14 1	0,88 2	0,73 4	0,93 6	0,46 6	0,91 6	0,89 7
K5	0,09 7	0,24 0	0,37 5	0,99 8	1,00 0	0,39 5	0,96 4	0,95 3	0,11 5	0,87 3	0,70 4	0,91 8	0,46 6	0,90 8	0,89 3
K6	0,40 9	0,50 3	0,32 0	0,40 6	0,39 5	1,00 0	0,29 4	0,27 6	0,02 5	0,22 4	0,12 8	0,24 6	0,25 3	0,26 8	0,24 7
K7	0,04 7	0,13 3	0,49 8	0,96 5	0,96 4	0,29 4	1,00 0	0,99 8	0,33 7	0,79 1	0,62 5	0,96 2	0,33 3	0,98 6	0,98 0
K8	0,04 2	0,12 9	0,48 8	0,95 2	0,95 3	0,27 6	0,99 8	1,00 0	0,35 5	0,76 5	0,58 6	0,95 1	0,30 3	0,98 7	0,98 6
K9	0,39 6	0,54 3	0,61 9	0,14 1	0,11 5	0,02 5	0,33 7	0,35 5	1,00 0	0,19 5	0,07 9	0,35 3	0,54 9	0,47 5	0,49 8

K10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,300	0,376	0,346	0,882	0,873	0,224	0,791	0,765	0,195	1,000	0,891	0,845	0,779	0,718	0,674
K11	0,049	0,050	0,590	0,734	0,704	0,128	0,625	0,586	0,079	0,891	1,000	0,766	0,788	0,577	0,513
K12	0,091	0,101	0,621	0,936	0,918	0,246	0,962	0,951	0,353	0,845	0,766	1,000	0,420	0,964	0,939
K13	0,073	0,150	0,279	0,466	0,466	0,253	0,333	0,303	0,549	0,779	0,788	0,420	1,000	0,227	0,181
K14	0,034	0,071	0,562	0,916	0,908	0,268	0,986	0,987	0,475	0,718	0,577	0,964	0,227	1,000	0,996
K15	0,008	0,054	0,542	0,897	0,893	0,247	0,980	0,986	0,498	0,674	0,513	0,939	0,181	0,996	1,000

Korelasyon matrisinin oluşturulmasından sonra her bir kritere ait C_j değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. C_j Değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
D	5,198	5,575	6,816	4,612	4,609	7,656	4,589	4,629	5,999	5,702	9,537	7,276	5,343	4,552	7,527

CRITIC yaklaşımının son aşamasında hesaplanan kriter ağırlıkları Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. CRITIC Yaklaşımı İle Hesaplanan Kriter Ağırlıkları (w_j)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
D	0,058	0,062	0,076	0,051	0,051	0,085	0,051	0,052	0,067	0,064	0,106	0,081	0,060	0,051	0,084

Tablo 10'daki kriterlere ait önem ağırlıkları göz önüne alındığında K11 (Demiryolu km/kşi) kriterinin karar verme açısından en önemli performans kriteri olduğu tespit edilmiştir. K4, K5, K7 ve K14 kriterlerinin karar verme açısından en düşük değere sahip performans kriterleri olduğu belirlenmiştir.

VIKOR Yöntemi İlişkin Sonuçlar

VIKOR yönteminin ilk adımında hesaplanan kriterlerin en iyi ve en kötü değerleri Tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11. Kriterler için En İyi ve En Kötü Değerler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
f ⁺	0,8075	0,247	0,1622	0,00931	0,00349	0,03293	1,891	0,757	0,0879	0,073612891	0,000268683	1,205E-05	0,000366233	2,68248E-06	1,33395E-07
f ⁻	0,0817	0,043	0	0	0	0	0,0019	0,0013	0	0,009066577	2,59033E-05	3,47975E-07	5,04439E-05	1,28872E-07	1,73122E-09

CRITIC yönetimiyle elde edilen kriter ağırları kullanılarak ağırlıklı normalize matrisi oluşturulmuştur. Ağırlıklı normalize matrisi Tablo 12'de gösterilmektedir.

Tablo 12. Ağırlıklandırılmış Normalize Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
TR31	0,056	0,062	0,062	0,050	0,050	0,000	0,048	0,049	0,042	0,025	0,060	0,067	0,053	0,049	0,082
TR42	0,028	0,009	0,000	0,031	0,029	0,083	0,040	0,042	0,000	0,044	0,054	0,067	0,060	0,048	0,082
TR10	0,058	0,058	0,030	0,051	0,051	0,085	0,051	0,052	0,067	0,064	0,106	0,081	0,060	0,051	0,084
TR21	0,042	0,045	0,064	0,032	0,034	0,085	0,040	0,043	0,038	0,047	0,000	0,046	0,059	0,042	0,078
TR63	0,000	0,000	0,015	0,042	0,043	0,085	0,040	0,043	0,040	0,033	0,068	0,057	0,028	0,041	0,072

TRA 2	0,04 2	0,03 7	0,07 6	0,00 0	0,00 0	0,08 5	0,00 0	0,00 0	0,06 7	0,06 4	0,01 2	0,00 0	0,05 0	0,00 0	0,00 0
SS	0,05 6	0,06 2	0,06 2	0,05 0	0,05 0	0,00 0	0,04 8	0,04 9	0,04 2	0,02 5	0,06 0	0,06 7	0,05 3	0,04 9	0,08 2

Sonraki aşamalarda S_i , R_i ve Q_i değerlerine ilişkin elde edilen değerler ve TR düzey bölgelerin bu değerlere göre sıralaması Tablo 13'te gösterilmiştir. Literatürün genelinde olduğu gibi hesaplama için v değeri 0,5 olarak alınmıştır (Opricovic and Tzeng, 2004).

Tablo 13. S_i , R_i ve Q_i Değerleri ve TR Düzey Bölgelerin Performans Sıralaması

	S_i	Sıra S_i	R_i	Sıra R_i	Q_i	Sıra	TR Düzey
	0,672	4	0,068	2	0,279	2	TR31
	0,562	1	0,066	1	0,143	1	TR42
	0,726	5	0,077	3	0,582	4	TR10
	0,759	6	0,096	6	1,000	6	TR21
	0,598	3	0,096	5	0,592	5	TR63
	0,573	2	0,096	4	0,526	3	TRA2
S^* , R^*	0,562		0,068				
S_i , R_i	0,759		0,096				

Bu kapsamda, VIKOR yöntemi ile Q_i değerlerine göre yapılan performans sıralamasında TR42 bölgesi en düşük Q_i değeri ile birinci sırayı aldığı görülmektedir. C1 koşulu $0,279 \geq 0,167$ olması dolayısıyla sağlanmaktadır. C2 koşulu ise TR düzey bölgelerin S_i ve R_i değerlerinin her ikisinde de en iyi sırayı elde etmesi bakımından karşılanmaktadır. Bu durumda TR42 bölgesi en üstün performansı gösteren düzey bölge olarak uzlaşık çözüm için önerilmektedir. TR42 bölgesini sırasıyla TR31 ve TRA2 bölgeleri takip etmektedir. En düşük performans değerine sahip bölge ise TR21 olduğu belirlenmiştir. Çalışmada bütünleşik Entropi Ağırlık-VIKOR yöntemiyle yapılan performans sıralaması Tablo 13'te gösterilmektedir.

TOPSIS Yöntemi

Karar matrisi kullanılarak oluşturulan normalize edilmiş matris Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14. Normalize Matris

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
TR31	0,10 5	0,11 5	0,12 9	0,02 7	0,02 9	1,00 0	0,05 9	0,05 9	0,30 7	0,45 9	0,30 6	0,17 2	0,18 7	0,08 1	0,03 2
TR42	0,44 9	0,58 8	0,70 3	0,34 3	0,37 2	0,90 5	0,20 0	0,18 6	0,86 0	0,31 3	0,35 9	0,17 5	0,11 4	0,09 0	0,03 1
TR10	0,09 1	0,18 8	0,59 6	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 1	0,00 2	0,04 4	0,83 3	0,06 8	0,02 5	0,83 2	0,04 6	0,01 3
TR21	0,31 1	0,31 1	0,14 1	0,12 5	0,04 1	0,00 0	0,20 4	0,15 5	0,12 4	0,05 6	0,00 1	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0
TR63	0,83 2	0,37 4	0,17 8	0,00 5	0,00 2	0,00 0	0,17 1	0,16 0	0,03 8	0,07 3	0,00 0	0,00 0	0,00 1	0,00 0	0,00 0
TRA2	0,50 6	0,19 7	0,00 0	0,02 7	0,00 9	0,00 0	0,99 4	0,96 8	0,00 0	0,00 9	0,00 1	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0
TOPLA M	2,29 5	1,77 3	1,74 7	0,52 7	0,45 3	1,90 5	1,62 9	1,53 1	1,37 3	1,74 3	0,73 4	0,37 2	1,13 4	0,21 7	0,07 6

CRITIC yönetimiyle elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklı normalize matrisi oluşturulmuştur. Ağırlıklı normalize matrisi Tablo 15'te gösterilmektedir.

Tablo 15. Ağırlıklandırılmış Normalize Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
TR3 1	0,00 6	0,00 7	0,01 0	0,00 1	0,00 1	0,08 5	0,00 3	0,00 3	0,02 1	0,02 9	0,03 3	0,01 4	0,01 1	0,00 4	0,00 3
TR4 2	0,02 6	0,03 7	0,05 3	0,01 8	0,01 9	0,07 7	0,01 0	0,01 0	0,05 8	0,02 0	0,03 8	0,01 4	0,00 7	0,00 5	0,00 3
TR1 0	0,00 5	0,01 2	0,04 5	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 3	0,05 3	0,00 7	0,00 2	0,05 0	0,00 2	0,00 1
TR2 1	0,01 8	0,01 9	0,01 1	0,00 6	0,00 2	0,00 0	0,01 0	0,00 8	0,00 8	0,00 4	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0

TR6 3	0,04 8	0,02 3	0,01 4	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 9	0,00 8	0,00 3	0,00 5	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0
TRA 2	0,02 9	0,01 2	0,00 0	0,00 1	0,00 0	0,00 0	0,05 1	0,05 0	0,00 0	0,00 1	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0
SS	0,05 6	0,06 2	0,06 2	0,05 0	0,05 0	0,00 0	0,04 8	0,04 9	0,04 2	0,02 5	0,06 0	0,06 7	0,05 3	0,04 9	0,08 2

TOPSIS yönteminin ilk adımında hesaplanan kriterlerin en iyi ve en kötü değerleri Tablo 16'da gösterilmektedir.

Tablo 16. Kriterler için En İyi ve En Kötü Değerler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
A ⁺	0,048 2789 53	0,03 6596 21	0,05 346 09	0,01 7644 77	0,01 9149 54	0,08 5394 87	0,05 0899 45	0,05 0004 49	0,05 7567 52	0,052 9948 38	0,038 1574 86	0,01 4191 13	0,04 9607 15	0,00 4551 02	0,002 6522 27
A ⁻	0,005 2513 67	0,00 7173 64	0 0	0 0	0 0	0 0	4,96 2E- 05	8,64 07E- 05	0 0	0,000 5762 04	2,541 99E- 05	1,29 21E- 06	6,95 47E- 06	2,53 21E- 07	2,951 16E- 08

Tablo 16'da ideal pozitif çözüm kümesi için ağırlıklandırılmış karar matrisinde her bir sütundaki en büyük değer alınmış, ideal negatif çözüm kümesi için her bir sütundaki en küçük değer seçilmiştir. Daha sonra her karar noktasının pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm noktalarından sapmaları (S⁺ ve S⁻) hesap edilmiştir. Tablo 17'de 2015-2018 yılları her bir TR düzey bölge için pozitif ve negatif ideal çözüm setleri gösterilmektedir.

Tablo 17. Alternatifler Arasındaki Mesafe Ölçüler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
S ⁺	0,114	0,084	0,139	0,152	0,150	0,177	0,114	0,084	0,139	0,152	0,150	0,177	0,114	0,084	0,139
S ⁻	0,100	0,128	0,086	0,027	0,050	0,075	0,100	0,128	0,086	0,027	0,050	0,075	0,100	0,128	0,086

Yöntemin son aşamasında, her karar noktasının ideal çözüme göreli olarak yakınlığı (C) Tablo 18'de hesaplanmıştır. C⁺ değerleri büyükten küçüğe doğru dizilerek TR düzey bölgelerin performans sıralamaları belirlenmiştir. C⁺ değeri en yüksek olan TR düzey bölge ilk seçilmesi gereken TR düzey bölge iken, C⁺ değeri en düşük olan TR düzey bölge en son seçilmesi gereken TR düzey bölgedir.

Tablo 18. İdeal Çözüme Göreli Yakınlık

SIRA	TR DÜZEY BÖLGE	C ⁺ DEĞERİ
1	TR42	0,4672383
2	TR31	0,60366943
3	TR10	0,38128318
4	TRA2	0,15025728
5	TR63	0,24865155
6	TR21	0,29842629

Tablo 19'da TR düzey bölgelerinin performans sıralamaları CC⁺ değerlerinin büyüklüğüne göre oluşturulmuştur.

Tablo 19. TR Düzey Bölgelerinin Performans Sıralamaları

SIRA	TR DÜZEY BÖLGE	C ⁺ DEĞERİ
1	TR31	0,60366943
2	TR42	0,4672383

3	TR10	0,38128318
4	TR21	0,29842629
5	TR63	0,24865155
6	TRA2	0,15025728

TOPSIS yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre, TR31 bölgesinin en yüksek performansa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. TRA2 bölgesinin ise en düşük performansa sahip olduğu belirlenmiştir.

DUYARLILIK ANALİZİ

Çalışmanın bu bölümünde, CRITIC ve Entropi tabanlı TOPSIS ve VİKOR yöntemiyle elde edilen TR düzey bölgelerinin sıralamasında meydana gelecek değişiklikleri incelemek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu bağlamda, CRITIC ve Entropi tabanlı kriter ve bütün kriterlerin eşit ağırlıkta kabul edildiği ağırlık değerleri Tablo 20’de görüldüğü gibi oluşmuştur.

Tablo 20. Duyarlılık Analizi İçin Kriter Ağırlıkları

	CRITIC	EŞİT AĞIRLIK	Entropi
K1	0,058000592	0,066666667	0,03381938
K2	0,062202578	0,066666667	0,02299974
K3	0,076052569	0,066666667	0,05108196
K4	0,051461416	0,066666667	0,06893611
K5	0,05143075	0,066666667	0,07048592
K6	0,085424956	0,066666667	0,21177493
K7	0,051207943	0,066666667	0,07926871
K8	0,051648482	0,066666667	0,08510584
K9	0,066936469	0,066666667	0,06030802
K10	0,063624627	0,066666667	0,01970419
K11	0,106417173	0,066666667	0,02103027
K12	0,081188342	0,066666667	0,04408703
K13	0,059614947	0,066666667	0,03607284
K14	0,050797066	0,066666667	0,07178644
K15	0,083992089	0,066666667	0,12353862

Tablo 20’e göre CRITIC yöntemi için K11’nin en yüksek ve K14’nün en düşük ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. ENTROPİ yöntemi için ise, K6’nın en yüksek ve K10’nun en düşük ağırlığa sahip olduğu görülmüştür. CRITIC ve Entropi tabanlı TOPSIS ve VİKOR yöntemiyle elde edilen TR düzey bölgelerinin sıralamaları için yapılan duyarlılık analiziyle elde edilen sıralamalar, Tablo 21’de gösterilmektedir.

Tablo 21. Duyarlılık Analizi Sonuçları

	CRITIC				Eşit Ağırlık				Entropi			
	TOPSIS Değeri	Sıra	Vikor Değeri	Sıra	TOPSIS Değeri	Sıra	Vikor Değeri	Sıra	TOPSIS Değeri	Sıra	Vikor Değeri	Sıra
TR31	0,4672383	2	0,27864413	2	0,38276646	2	0,96126513	5	0,62910649	2	0,29063268	1
TR42	0,60366943	1	0,1426398	1	0,53348706	1	0,75262918	4	0,67140137	1	0,78559345	3

TR10	0,38128318	3	0,58171795	4	0,38204987	4	1	6	0,1562687	4	1	6
TR21	0,15025728	6	1	6	0,16782587	6	0,37564167	2	0,09840093	6	0,8789401	5
TR63	0,24865155	5	0,59172413	5	0,27544345	5	0,28955958	1	0,12098515	5	0,82377312	4
TRA2	0,29842629	4	0,52550086	3	0,38014778	3	0,5	3	0,27053688	3	0,5	2

Tablo 20’de yer alan sonuçlar incelendiğinde, farklı ağırlıklandırma teknikleri ile elde edilen Topsis sonuçları genel olarak benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. CRITIC-TOPSIS tabanlı modelde TR10 ve TRA2 alternatiflerinin ağırlık değişimine duyarlılık gösterdiği görülmektedir. TR31, TR42, TR21 ve TR63 alternatiflerinin ağırlık değişimine duyarlılık göstermediği belirlenmiştir.

Vikor yöntemi sonuçlarının ise genel olarak benzer sonuçlar vermediği görülmüştür. Sadece, TR10 alternatifinin eşit ve Entropi tabanlı VİKOR modelinde duyarlılık göstermediği belirlenmiştir. Diğer tüm modellerde TRA2, TR31, TR42, TR21 ve TR63 alternatiflerin ağırlık değişimine duyarlılık gösterdiği tespit edilmiştir. Yöntemlerin farklı sonuçlar vermesinin en önemli nedenin normalizasyon aşamalarının farklı olması olduğu düşünülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde işletmelerin lojistik maliyetleri artmıştır. İşletmelere göre talepteki daralma, tahsilat problemi ve düşük öngörülebilirlik gibi sorunlar maliyetleri etkilediği düşünülmektedir. İşletmelerin tedarik zincirlerinde yaşadığı ilk üç sorun sırasıyla artan lojistik maliyetler (3), hava kargo operasyonlarının kesintiye uğraması (5) ve liman hizmetlerinde kesinti (1) olduğu belirlenmiştir. İşletmelerin kısa gelecekte uygulamayı planladığı ilk üç strateji, dijital dönüşüm, otomasyon ve benzeri teknolojik yatırımların artırılması (1), yeni pazarlara girme (2) ve kent lojistiği yatırımlarına ağırlık verme (3) olduğu tespit edilmiştir.

Lojistik sektörü çerçevesinde yürütülen ve uluslararası lojistik ağlarında hem tarihsel olarak hem de günümüzde kritik bir konumda bulunan ve TR42 (Bolu, Düzce, Kocaeli, Sakarya, Yalova), TR10 (İstanbul) ve TR21 (Edirne, Kırklareli, Tekirdağ) bölgelerinden oluşan Marmara Bölgesi, TRA2 (Ağrı, Ardahan, Iğdır, Kars) Bölgesi, TR42 (İzmir) Bölgesi ve TR63 (Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye) Bölgesi Türkiye’nin lojistik potansiyelini oluşturan ihtisaslı alanlardır.

Bu ihtisaslı alanların etkin maliyet ve sürdürülebilirlik açısından daha da başarılı olmaları karayolu odaklı büyüyen ulaştırma sektöründe daha dengeli bir modal dağılımın olmasıyla mümkün olacaktır. Bu bağlamda çalışmanın amacı, TR düzey bölgelerinin performanslarının değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri ile lojistik altyapısı açısından TR düzey bölgelerinin performansının değerlendirilmesidir.

CRITIC yöntemi için K11’nin (Demiryolu km/kişi) en yüksek ve K14’nün (Havalimanı Adet/kişi) en düşük ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. Demiryolu altyapısının yüksek hızlı tren taşımacılığı yapabilecek şekilde geliştirilmesinin etkisiyle demiryolu taşımacılığın hacminde artış gösterildiği söylenebilir. ENTROPİ yöntemi için ise, K6’nın (Otoyol Ağı km/kişi) en yüksek ve K10’nun (Demiryolu km/km²) en düşük ağırlığa sahip olduğu görülmüştür. Türkiye’nin karayolu altyapısı diğer ulaştırma türlerinin altyapılarına göre daha yüksek düzeyde olması bu kriterin en önemli olarak çıkmasının nedeni olduğu söylenebilir. Demiryolu altyapısının yüksek hızlı tren taşımacılığına uygun hat ve km toplamının Türkiye’nin yüz ölçü açısından oldukça az bir alan kaplaması bu kriterin en düşük ağırlık değeri almasında etkili olduğu yorumu yapılabilir.

CRITIC yöntemiyle ağırlıklandırılan kriterler yardımıyla ve TOPSIS yöntemiyle performansları belirlen TR düzey bölgelerinin sıralaması TR42, TR31, TR10, TRA2, TR63 VE TR21 şeklindedir. CRITIC yöntemiyle ağırlıklandırılan kriterler yardımıyla ve VİKOR yöntemiyle performansları belirlen TR düzey bölgelerinin sıralaması TR42, TR31, TRA2, TR10, TR63 VE TR21 şeklindedir. Bu iki yöntem arasında sadece TRA2 VE TR10 sıralamaları farklılık göstermektedir.

Eşit ağırlıklandırılan kriterler yardımıyla ve TOPSIS yöntemiyle performansları belirlen TR düzey bölgelerinin sıralaması TR42, TR31, TRA2, TR10, TR63 ve TR21 şeklindedir. Eşit ağırlıklandırılan kriterler yardımıyla ve VİKOR yöntemiyle performansları belirlen TR düzey bölgelerinin sıralaması TR63, TR21, TRA2, TR42, TR31 ve TR10, şeklindedir. Bu iki yöntem arasında sadece TRA2 sıralamaları benzerlik göstermektedir.

Entropi yöntemiyle ağırlıklandırılan kriterler yardımıyla ve TOPSIS yöntemiyle performansları belirlen TR düzey bölgelerinin sıralaması TR42, TR31, TRA2, TR10, TR63 VE TR21 şeklindedir. Entropi yöntemiyle ağırlıklandırılan kriterler yardımıyla ve VİKOR yöntemiyle performansları belirlen TR düzey bölgelerinin sıralaması TR31, TRA2, TR42, TR63, TR21 ve TR10 şeklindedir. Bu iki yöntem arasında bütün bölgeler farklılık göstermektedir.

TR düzey bölgelerinin performans değerlendirmesine göre, TR42 ve TR31 ilk sıralarda yer almıştır. Bu bölgeler üretim merkezi olmaları, gerekli lojistik altyapı ve üstyapılara sahip olmaları nedeniyle sıralamalarda üst sırada yer almıştır. Araştırmada önerilen yaklaşımın daha önce TR düzey bölgelerinin performans ölçümünde kullanılmaması nedeniyle katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Araştırma akademik ve kamu kesimlerinin yararlanabilecekleri bir performans ölçüm modeli önerisinde bulunmuştur. Araştırma sonuçları araştırmacı ve uygulayıcılara bir kaynak olabilecektir.

Araştırmada TR düzey bölgelerinin tamamının performanslarının değerlendirilememesi bir kısıt oluşturmaktadır. Bu bağlamda daha fazla TR düzey bölgenin verilerinin kullanımıyla yapılacak performans değerlendirilmesi daha etkili olabilecektir. Yeni yapılacak çalışmalara sektördeki uzman ve yöneticilerin dâhil edilerek, subjektif ve objektif verilerin birlikte değerlendirildiği bir model ile ölçüm yapılabilir. Yine performans değerlendirilmesinde farklı ÇKKV yöntemleri kullanılması daha farklı sonuçların ortaya çıkmasını sağlayabilecektir.

KAYNAKÇA

- Abdel-Basset, M., & Mohamed, R. (2020). A novel plithogenic TOPSIS-CRITIC model for sustainable supply chain risk management. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119586.
- Abdulhamit, E. Ş., ve Dilek, E. R. E. N. (2021). Mutfak Turizmi Hedef Pazarlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Belirlenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(78), 1204-1224.
- Altıntaş, F. F. (2021). G20 Ülkelerinin Dijital Hazırlık Performanslarının Analizi: Entropi Tabanlı VIKOR Yöntemi İle Bir Uygulama. *Akademik Hassasiyetler*, 8(17), 401-427.
- Arslan, H. M., (2020) Afet Yönetimi Kapsamında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Afet İstasyonlarının Optimum Yerleştirilmesi, *Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 188-203
- Aydın, G. Z., (2021). CRITIC ve TOPSIS yöntemleriyle türkiye’de bölgesel sağlık hizmetlerinin değerlendirilmesi. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 7(2), 412-433.
- Babatunde, M., & Ighravwe, D. (2019). A CRITIC-TOPSIS framework for hybrid renewable energy systems evaluation under techno-economic requirements. *Journal of Project Management*, 4(2), 109-126.
- Baki, B., ve Serdar, D. (2020). Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin değerlendirilmesine yönelik çok kriterli bir yaklaşım: lojistik sektörü uygulaması. *Hacettepe University Journal of Economics & Administrative Sciences/Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 38(4).
- Gök-Kısa, A. C., ve Perçin, S. (2018). Bütünleşik Entropi Ağırlık-VIKOR Yöntemi İle Bilişim Teknolojisi Sektöründe Performans Ölçümü. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14(1), 1-13.
- Hwang, C. L., K. Yoon (1981), *Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*, Berlin: Springer
- Işık, Ö. (2019). Türkiye’de hayat dışı sigorta sektörünün finansal performansının CRITIC tabanlı TOPSIS ve MULTIMOORA yöntemiyle değerlendirilmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(1), 542-562.
- Kazan, H., ve Ozdemir, O. (2014). Financial performance assessment of large scale conglomerates via TOPSIS and CRITIC methods. *International Journal of Management and Sustainability*, 3(4), 203-224.
- Mahmoodzadeh, S., J. Shahrabi, M. Pariazar, M. S. Zaeri (2007), “Project Selection By Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 30(1), 333-338.
- Opricovic, S. & Tzeng, G.H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156: 445–455.
- Rao, R. V. (2008), “Evaluation of Environmentally Conscious Manufacturing Programs Using Multiple Attribute Decision-Making Methods”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 222(3), 441-451.
- Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmaeili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669.
- Sarı, E. B. (2017). Toplam Verimli Bakım Uygulayan Bir İşletmede Bakım Personelinin Performans Değerleme Puanlarının Entropi Tabanlı VIKOR Sıralaması ile Karşılaştırılması. *İşletme Bilimi Dergisi*, 5(3), 59-78.
- Sayadi, M. K., Heydari, M., & Shahanaghi, K. (2009). Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers. *Applied Mathematical Modelling*, 33(5), 2257-2262.

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell system technical journal, 27(3), 379-423.

Şahin, A., ve Sarı, E. B. (2019). Entropi Tabanlı TOPSİS ve VIKOR Yöntemleriyle BİST-İmalat İşletmelerinin Finansal ve Borsa Performanslarının Karşılaştırılması. Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi, 12(2), 255-270.

Wu, N. (2012). The maximum entropy method (Vol. 32). Springer Science & Business Media.