

BRICS Ülkelerinin Lojistik Performanslarının Entegre Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Analizi

Ali Aygün Yürüyen¹

Alptekin Ulutaş²

Özet

Lojistik sektörü, bir ülkenin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında stratejik bir rol üstlenmektedir. Lojistik faaliyetlerin karşılaştırmalı analizini yapabilmek ve ülkeler arası verimlilik düzeylerini değerlendirmek amacıyla Dünya Bankası tarafından LPI (Logistics Performance Index-Lojistik Performans Endeksi) geliştirilmiştir. BRICS ülkeleri, dünya nüfusunun önemli bir kısmını barındırmakta ve hızla büyüyen ekonomileriyle küresel üretim, ticaret, yatırım ve enerji piyasalarında kritik roller üstlenmektedir. Çalışmanın amacı, BRICS entegrasyonunda yer alan ülkelerin lojistik performanslarını entegre çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile analiz etmektir. LODECI (LOgarithmic DEcomposition Of Criteria Importance- Kriter Önemini Logaritmik Ayrışımı) ve CRITIC (CRiteria Importance Through Inter-criteria Correlation- Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Öne mi) yaklaşımları uygulanarak değerlendirme ölçütlerinin nesnel ağırlıkları hesaplanmıştır. Ülkelerin sıralaması, belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak MARA (Magnitude of the Area for the Ranking of Alternatives- Alternatiflerin Sıralanması İçin Alanın Büyüklüğü) yöntemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. MARA yöntemiyle gerçekleştirilen analiz sonucunda, BRICS ülkeleri arasında en yüksek lojistik performans düzeyine sahip ülke “Birleşik Arap Emirlikleri (BAE)” olarak tespit edilirken, en düşük performans gösteren ülke ise “İran” olarak belirlenmiştir.

- 1 Öğr. Gör., Ardahan Üniversitesi, Nihat Delibalta Gölü MYO, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü alaygunyuruyen@ardahan.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0323-7789
- 2 Doç. Dr., İnönü Üniversitesi, İ.İ.B.F., Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü, alptekin.ulutas@inonu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8130-1301

1. GİRİŞ

Küresel ticaret hacmindeki artış, işletmelerin ve ülkelerin rekabet avantajı elde etme çabalarını yoğunlaştırmış ve rekabet ortamını daha da dinamik hale getirmiştir. Bu süreçte, lojistik sektöründe yaşanan ilerlemeler ülkeleri uluslararası ticaretin ayrılmaz unsurları konumuna taşımıştır. Dolayısıyla, lojistik faaliyetler günümüzde ulusal ekonomilerin temel kalkınma unsurlarından biri haline gelmiş; lojistik performansın ölçülmesi ve iyileştirilmesi stratejik bir gereklilik olarak öne çıkmıştır (Adıgüzel vd., 2020; Gürler vd.,2024).

Lojistik faaliyetlerin karşılaştırmalı analizini yapabilmek ve ülkeler arası verimlilik düzeylerini değerlendirmek amacıyla, 2007 yılında Dünya Bankası tarafından LPI (Logistics Performance Index-Lojistik Performans Endeksi) geliştirilmiştir. Bu endeks, lojistik sistemlerin etkinliğine dair kapsamlı bir değerlendirme aracı olarak kullanılmaktadır (Dünya Bankası,2023). Her bir ülkeye ilişkin lojistik performans, LPI kapsamında belirlenen altı ana kritere dayalı olarak hesaplanmaktadır. Bu kriterler gümrük ve sınır yönetimi, altyapı, uluslararası nakliye düzenlemeleri, lojistik hizmetlerin yetkinliği ve kalitesi, teslimatların zamanında gerçekleşme düzeyi ve sevkiyatları takip ve izlemedir (Arvis vd., 2010; Rashidi ve Cullinane, 2019).

2009 yılında Brezilya, Rusya, Hindistan ve Çin tarafından oluşturulan ve 2010 yılında Güney Afrika'nın katılımıyla "BRICS" adını alan bu oluşum, yükselen piyasa ekonomilerine sahip ülkeleri tanımlamak üzere kullanılmaktadır. 2024 yılında Mısır, Etiyopya, İran, Birleşik Arap Emirlikleri'nin ve 2025 yılında Endonezya'nın katılması ile üye sayısı 10'a yükselmiştir. Bu ülkeler, dünya nüfusunun önemli bir kısmını barındırmakta ve hızla büyüyen ekonomileriyle küresel üretim, ticaret, yatırım ve enerji piyasalarında kritik roller üstlenmektedir. BRICS ülkeleri, küresel ekonomik dengesizliklere karşı kolektif bir denge unsuru olmayı amaçlamakta; özellikle kalkınma, finansal istikrar ve çok taraflılık gibi konularda alternatif yaklaşımlar geliştirmektedir (Artan,2024).

Bu çalışmada, BRICS (Endonezya, İran, Çin, Etiyopya, Brezilya, Birleşik Arap Emirlikleri, Hindistan, Güney Afrika, Mısır, Rusya) entegrasyonuna dâhil olan ülkelerin lojistik performansları, çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri kullanılarak değerlendirilip analiz edilecektir. LODECI (Logarithmic DEcomposition Of Criteria Importance- Kriter Öneminin Logaritmik Ayrışımı) ve CRITIC (CRiteria Importance Through Inter-criteria Correlation- Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi) yaklaşımları uygulanarak değerlendirme ölçütlerinin nesnel ağırlıkları hesaplanmıştır. Ülkelerin sıralaması, belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak

MARA (Magnitude of the Area for the Ranking of Alternatives- Alternatiflerin Sıralanması İçin Alanın Büyüklüğü) yöntemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, lojistik performans değerlendirmelerine yönelik literatürde yer alan çalışmalar kapsamlı biçimde incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise araştırmada kullanılan yöntemsel çerçeve ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, Dünya Bankası tarafından 2023 yılında yayımlanan lojistik performans endeksi verileri temel alınarak, BRICS ülkelerinin lojistik performansları LODECI, CRITIC ve MARA yöntemleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise elde edilen bulgular yorumlanarak genel değerlendirmelere ve çalışmanın sonuçlarına yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, lojistik performans değerlendirmelerine yönelik literatürde yer alan çalışmalar kapsamlı biçimde incelenmiştir.

Andrejic ve Kilibarda (2014), Orta Avrupa’da bulunan 10 ülkenin 2007-2014 yılları arasındaki lojistik etkinliklerinin verimliliğini hesaplamak için Temel Bileşen Analizi-Veri Zarflama Analizi (PCA-VZA) yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak, kümede yer alan ülkeler arasında en verimli ülkeler “Hırvatistan ve Macaristan” olarak belirlenmişlerdir.

Wong ve Tang (2017), 2007’den 2014’e kadar 93 seçilmiş ülkenin dengesiz panel verilerini kullanarak, LP’nin başlıca belirleyicilerini eleştirel bir şekilde araştırmaya çalışmayı amaçlamışlardır. Çalışmanın sonuçları, düşük yolsuzluk seviyesi ve istikrarlı siyasi yapıya sahip ülkelerin lojistik performans (LP) açısından daha yüksek başarı elde etme olasılıklarının daha fazla olduğunu göstermektedir; ayrıca, altyapı, teknoloji, iş gücü ve eğitim gibi kaynakların tedarikindeki gelişmelerin de LP üzerinde kayda değer olumlu etkiler yarattığı tespit edilmiştir.

Yıldırım ve Mercangöz (2020), OECD ülkelerinin lojistik verimliliklerini Bulanık AHP ve Gri ARAS yöntemlerini entegre ederek değerlendirmişlerdir. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık AHP ve ülkelerin sıralamasında ise Gri ARAS yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, OECD ülkelerinin lojistik verimliliğinde en büyük itici güçler sırasıyla “Almanya ve Hollanda” olurken son sırasında ise “Meksika ve Letonya” ülkeleri yer almıştır.

Yalçın ve Ayvaz (2020), belirlenen 5 ülkenin lojistik performanslarını Bulanık AHP ile Bulanık TOPSIS birleşik uygulamasıyla incelenmiştir. Kriter ağırlıklarının tespiti için Bulanık AHP yöntemi uygulanmış, ülkelerin

sıralaması ise Bulanık TOPSIS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda değerlendirilen ülkelerin sıralaması sırasıyla “Türkiye, İran, Bulgaristan, Yunanistan ve Gürcistan” şeklinde gerçekleşmiştir.

Altıntaş (2021), Avrupa Birliğinde yer alan ülkelerin lojistik verimliliklerini değerlendirmek amacıyla CRITIC, WASPAS ve COPRAS yöntemlerini entegre etmiştir. Kriter ağırlıklarının tespiti için CRITIC yöntemi uygulanmış, ülkelerin sıralaması ise WASPAS ve COPRAS yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. CRITIC ağırlıklı WASPAS ve COPRAS yöntemleri sonucunun, AB ülkelerinin lojistik performans sıralamaları LPI değerleri ile %75 oranında tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Ulutaş ve Karaköy (2021), Geçiş Ekonomi ülkelerinin LPI'larını Gri SWARA ve Gri MOORA yöntemlerini entegre ederek değerlendirilmişlerdir. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması Gri SWARA yöntemi ile yapılırken, ülkelerin sıralaması Gri MOORA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Sırbistan” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

Mešić vd. (2022), Batı Balkan ülkelerinin LPI'larını CRITIC ve MARCOS yöntemlerini entegre ederek değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıklarının tespiti için CRITIC yöntemi uygulanmış, ülkelerin sıralaması ise MARCOS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Sırbistan” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

Çalık vd. (2023), OECD üyesi 160 ülkenin lojistik performansını grup karar alma yaklaşımı kullanılarak değerlendirmek için hibrit ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmalı analizini kullanmışlardır. Çalışmalarında lojistik performans kriterlerinin önem düzeyleri hesaplanmışlar ve ülkelerin lojistik performanslarını analiz etmişlerdir.

Kara vd. (2024), 78 ülkenin tedarik zinciri performansı ve lojistik performansını MPSI ve ARLON yöntemlerini entegre ederek değerlendirmişlerdir. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için MPSI yöntemi kullanılırken ülkelerin sıralamasında ARLON yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Hollanda” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

Topal ve Ulutaş (2024), G8 ülkelerinin lojistik performanslarını SD ve AROMAN yöntemlerini entegre ederek değerlendirmişlerdir. Kriter ağırlıklarının tespiti için SD yöntemi uygulanmış, ülkelerin sıralaması ise AROMAN yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Almanya” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

Ju vd. (2024), Dünya Bankasının 2023 yılında yayınladığı LPI verilerine dayanarak Avrupa ülkelerinin lojistik performanslarını CRITIC, MEREC, Entropi ve Bulanık ROV yöntemlerini entegre ederek değerlendirmişlerdir. Kriter ağırlıklarının tespiti için CRITIC, MEREC, Entropi yöntemleri uygulanmış, ülkelerin sıralaması ise Bulanık ROV yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Finlandiya” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

Akbulut vd. (2024), Dünya Bankasının 2023 yılında yayınladığı LPI verilerine dayanarak G20 ülkelerinin lojistik performanslarını SD, PSI, MEREC ve MARA yöntemlerini entegre ederek değerlendirmişlerdir. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için SD, PSI ve MEREC yöntemleri kullanılırken ülkelerin sıralamasında MARA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Almanya” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

Pehlivan vd. (2024), G20 ülkelerinin lojistik performanslarını TOPSIS ve kümeleme analizi yöntemlerini entegre ederek değerlendirmişlerdir. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için Eşit ağırlıklandırma yöntemi kullanılırken ülkelerin sıralamasında TOPSIS ve kümeleme analizi yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Almanya” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

Özekenci (2024), OPEC ülkelerinin lojistik performanslarını CRITIC, Entropi, LOPCOW ve EDAS yöntemlerini entegre ederek değerlendirmişlerdir. Kriter ağırlıklarının tespiti için CRITIC, Entropi ve LOPCOW yöntemleri uygulanmış, ülkelerin sıralaması ise EDAS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Birleşik Arap Emirlikleri” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

Yürüyen ve Topal (2025), G7 ülkelerinin lojistik performanslarını PSI ve COBRA yöntemlerini entegre ederek değerlendirmişlerdir. Kriter ağırlıklarının tespiti için PSI yöntemi uygulanmış, ülkelerin sıralaması ise COBRA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, en yüksek lojistik performansın “Almanya” tarafından gösterildiğini ortaya koymuştur.

3. METODOLOJİ

Bu çalışmada BRICS ülkelerinin LPI değerlendirmesinde LODECI, CRITIC ve MARA yöntemleri birlikte kullanılmıştır. LODECI ve CRITIC yöntemi kriter ağırlıklarının hesaplanmasında, MARA yöntemi ise alternatiflerin sıralanmasında kullanılmıştır.

3.1. LODECI Yöntemi

Pala (2024) tarafından kriterlerin nesnel ağırlıklarının hesaplanması amacı ile geliştirilmiştir. LODECI yönteminin aşamaları aşağıdaki gibidir (Pala, 2024; Pala vd., 2024):

Adım 1: Kriter ve alternatiflerin yer aldığı karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi Denklem (1)'de gösterilmiştir.

$$H = [h_{ij}]_{m \times n} \quad (1)$$

Adım 2: Karar matrisi normalize edilir. Fayda yönlü kriterler için Denklem (2) maliyet (faydasız) yönlü kriterler için Denklem (3) uygulanır.

$$p_{ij} = \frac{h_{ij}}{\max(h_{ij})} \quad (2)$$

$$p_{ij} = 1 - \frac{\min(h_{ij})}{h_{ij}} \quad (3)$$

Adım 3: Normalize edilmiş veri seti üzerinden Ayrışma Değeri (AD), Denklem (4) ile hesaplanır.

$$AD_{ij} = \max\{|p_{ij} - p_{rj}|\} \quad r \neq i \quad (4)$$

Adım 4: Her kriterin Logaritmik Ayrışım Değeri, Denklem (5) kullanılarak elde edilir.

$$LAD_j = \ln \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^n AD_{ij}}{m} \right) \quad (5)$$

Adım 5: Kriterlerin göreceli önem düzeyleri Denklem (6) kapsamında hesaplanır.

$$w_{jLODECI} = \frac{LAD_j}{\sum_{i=1}^n LAD_j} \quad (6)$$

3.2. CRITIC Yöntemi

1995 yılında kriterler ağırlıklarının hesaplanması amacı ile Diakoulaki, Mavrotas ve Papayannakis tarafından tanıtılmıştır (Diakoulaki vd., 1995). CRITIC yöntemi kullanarak kriterlerin ağırlıkları aşağıda belirtilen

denklemlerin uygulanmasıyla hesaplanır (Madić ve Radovanović, 2015; Ulutaş ve Karaköy, 2019);

Adım 1. Karar matrisi elde edilen veriler doğrultusunda düzenlenir. Düzenlenen karar matrisi Denklem (1)'de belirtilmiştir.

Adım 2. Karar matrisindeki veriler, fayda kriterleri için Denklem (7) ve maliyet kriterleri için Denklem (8) temel alınarak normalize edilir.

$$b_{ij} = \frac{h_{ij} - h_j^{\min}}{h_j^{\max} - h_j^{\min}} \quad (7)$$

$$b_{ij} = \frac{h_j^{\max} - h_{ij}}{h_j^{\max} - h_j^{\min}} \quad (8)$$

Adım 3. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, kriterlerin standart sapmaları ve birbirleriyle olan korelasyonları esas alınmış ve hesaplama Denklem (9) ile gerçekleştirilmiştir.

$$w_{jCRITIC} = \frac{t_j}{\sum_{k=1}^n s_k} \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n \quad (9)$$

Denklem (9)'da bulunan, s_j değeri, j kriterin içerdiği bilgi miktarını göstermektedir. Denklem (10) uygulanarak bu değer hesaplanır.

$$t = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - l_{jk}) \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n \quad (10)$$

σ_j , Denklem (10)'da j kriterinin standart sapması olarak tanımlanmıştır; aynı denklemde l_{jk} , j ve k kriterleri arasındaki korelasyon katsayısını ifade etmektedir.

LODECI ve CRITIC yöntemleri ile elde edilen kriter ağırlıkları Denklem (11) kullanılarak birleştirilir.

$$w_j^{BR} = \frac{w_{jLODECI} + w_{jCRITIC}}{2} \quad (11)$$

3.3. MARA Yöntemi

Alternatif seçimi sürecinde uygulanan MARA yönteminin aşamaları aşağıdaki şekilde sunulmaktadır (Gligorić vd., 2022).

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur ve bu matrisin yapısı Denklem (1) ile ifade edilmiştir.

Adım 2: Karar matrisi normalizasyon işlemine tabi tutulur. Karar matrisinin normalizasyonunda, fayda kriterleri için Denklem (12), maliyet kriterleri için ise Denklem (13) dikkate alınarak işlem yapılmaktadır.

$$h_{ij}^* = \frac{h_{ij}}{\max(h_{ij})} \quad (12)$$

$$h_{ij}^* = \frac{\min(h_{ij})}{h_{ij}} \quad (13)$$

Adım 3: Denklem (14) doğrultusunda, normalize edilen değerlere ağırlıklar uygulanmaktadır.

Ağırlıklı normalizasyon süreci, ilgili kriterin ağırlığı olan w_{jB} ile normalize edilmiş değer h_{ij}^* değerinin çarpılması yoluyla uygulanmaktadır.

$$c_{ij} = w_{jB} * h_{ij}^*, \quad \forall i \in 1, 2, \dots, m, \forall j \in 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

Adım 4: Çözüm kümesindeki optimal alternatifin tanımlanması

Optimal alternatif, aşağıdaki öğelere dayalı olarak tespit edilmektedir.

$$d_j = \max(c_{ij} | 1 \leq j \leq n), \quad \forall i \in 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

Optimal alternatiflerin nihai seti aşağıda sunulan biçimde ifade edilmektedir.

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_j\}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Adım 5: Denklem (17) temel alınarak optimal alternatifin ayrıştırılması gerçekleştirilmektedir.

Optimal alternatifin ayrıştırılması, söz konusu alternatifin iki alt kümeye ya da iki ayrı bileşene bölünmesini ifade etmektedir. Bu bağlamda, D kümesi bu iki alt kümenin birleşimi şeklinde ifade edilebilir.

$$D = D^{\max} \cup D^{\min} \quad (17)$$

Eğer k , toplam fayda yönlü kriteri sayısını temsil ediyorsa, bu durumda $l = n - k$ ifadesi toplam maliyet yönlü kriter sayısını gösterir. Bu doğrultuda optimal alternatif Denklem (18) kullanılarak belirlenir.

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\} \cup \{d_1, d_2, \dots, d_l\}; k + l = j \quad (18)$$

Adım 6: Alternatiflerin her biri, Denklem (19) ve (20) temel alınarak ayrıştırılır.

$$V_i = V_i^{max} \text{---} V_i^{min}, i \in 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

$$V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{il}\} \text{---} \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{il}\}, i \in 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

Adım 7: Kriter yoğunluğu, optimal alternatif bağlamında Denklem (21) ve (22) yardımıyla belirlenmektedir.

$$D_k = d_1 + d_2 + \dots + d_k \quad (21)$$

$$D_l = d_1 + d_2 + \dots + d_l \quad (22)$$

Alternatiflerin her birinin yoğunluk değeri, optimal alternatifin yoğunluğunun hesaplandığı yöntemle belirlenir.

$$V_{ik} = v_{i1} + v_{i2} + \dots v_{ik}, i \in 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

$$V_{il} = v_{i1} + v_{i2} + \dots v_{il}, i \in 1, 2, \dots, m \quad (24)$$

Adım 8: MARA yöntemi, aşağıdaki iki temel doğrusal fonksiyonun kurulmasına dayalı bir yaklaşımdır.

En iyi alternatif dikkate alınarak tanımlanan birinci fonksiyon, $(0, D_k)$ ve $(1, D_l)$ noktalarından geçen doğrusal bir fonksiyon olarak aşağıda gösterilmiştir.

$$f^{opt}(D_k, D_l) = \frac{D_l - D_k}{1 - 0}(x - D_k) + D_k = (D_l - D_k)x + D_k \quad (25)$$

Benzer yöntemle, i 'inci alternatif dikkate alınarak ikinci fonksiyon aşağıdaki formda tanımlanır.

$$f^i(V_{ik}, V_{il}) = \frac{V_{il} - V_{ik}}{1 - 0}(x - V_{ik}) + V_{ik} = (V_{il} - V_{ik})x + V_{ik} \quad (26)$$

Denklem (27) aracılığıyla optimal alternatifin altında kalan alan hesaplanır.

$$F^{opt} = \int_0^1 f^{opt}(D_k, D_l) dx = \int_0^1 ((D_l - D_k)x + D_k) dx = \frac{D_l - D_k}{2} + D_k \quad (27)$$

Denklem (28) aracılığıyla i 'inci alternatifin altında bulunan alan hesaplanmaktadır.

$$F^i = \int_0^1 f^i(V_{ik}, V_{il}) dx = \int_0^1 ((V_{il} - V_{ik})x + V_{ik}) dx = \frac{V_{il} - V_{ik}}{2} + V_{ik}; i \in 1, 2, \dots, m \quad (28)$$

i 'inci alternatifin alan büyüklüğü, Denklem (29) temelinde hesaplama yoluyla elde edilir.

$$R_i = \int_0^1 f^{opt}(D_k, D_l) dx - \int_0^1 f^i(D_{ik}, D_{il}) dx; i \in 1, 2, \dots, m \quad (29)$$

Nihai alternatif sıralaması, R_i indekslerinin artan sıralamasına göre oluşturulur.

4. UYGULAMA

Bu çalışmada, BRICS entegrasyonunda yer alan ülkelerin lojistik performansları ÇKKV yöntemleri ile analiz edilecektir. Analizde kullanılan veri seti, Dünya Bankası tarafından 2023 yılına ait LPI raporundan alınmıştır (Dünya Bankası, 2023). Etiyopya'nın 2023 yılında yayınlanan raporda lojistik performans endeksinin hesaplanmaması sebebi ile analizden çıkarılmıştır. Araştırmada kullanılan kriter seti, Dünya Bankası'nın LPI hesaplamasında baz aldığı altı temel göstergeden oluşmaktadır. Bu kriterler gümrük ve sınır yönetimi (CR1), altyapı (CR2), uluslararası nakliye düzenlemeleri (CR3), lojistik hizmetlerin yetkinliği ve kalitesi (CR4), teslimatların zamanında gerçekleşme düzeyi (CR5) ve sevkiyatları takip ve izleme (CR6)'dir. Kullanılan altı kriterin hepsi fayda yönlü kriterlerdir. LODECI ve CRITIC yaklaşımları uygulanarak değerlendirme ölçütlerinin nesnel ağırlıkları hesaplanmıştır. Ülkelerin sıralaması, belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak MARA yöntemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Karar matrisi, 2023 LPI raporu doğrultusunda düzenlenmiş olup Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Karar Matrisi

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
Brezilya	2,9	3,2	2,9	3,3	3,5	3,2
Rusya	2,4	2,7	2,3	2,6	2,9	2,5
Çin	3,3	4	3,6	3,8	3,7	3,8
Güney Afrika	3,3	3,6	3,6	3,8	3,8	3,8
Mısır	2,8	3	3,2	2,9	3,6	2,9
Endonezya	2,8	2,9	3	2,9	3,3	3
İran	2,2	2,4	2,4	2,1	2,7	2,4
BAE	3,7	4,1	3,8	4	4,2	4,1
Hindistan	3,0	3,2	3,5	3,5	3,6	3,4

4.1. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Karar matrisinin tanımlanmasının ardından, değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları belirlenmiştir. Denklem (2) uygulanarak karar matrisindeki veriler LODECI yöntemi çerçevesinde normalize edilmiş; elde edilen normalize karar matrisi Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. LODECI Yöntemi Normalize Karar Matrisi

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
Brezilya	0,7838	0,7805	0,7632	0,8250	0,8333	0,7805
Rusya	0,6486	0,6585	0,6053	0,6500	0,6905	0,6098
Çin	0,8919	0,9756	0,9474	0,9500	0,8810	0,9268
Güney Afrika	0,8919	0,8780	0,9474	0,9500	0,9048	0,9268
Mısır	0,7568	0,7317	0,8421	0,7250	0,8571	0,7073
Endonezya	0,7568	0,7073	0,7895	0,7250	0,7857	0,7317
İran	0,5946	0,5854	0,6316	0,5250	0,6429	0,5854
BAE	1	1	1	1	1	1
Hindistan	0,8108	0,7805	0,9211	0,8750	0,8571	0,8293

Denklem (4) ile (6) arasındaki işlemler uygulanarak LODECI temelli kriter ağırlıkları hesaplanmış, sonuçlar Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. LODECI Yöntemine Göre Kriter Ağırlıkları

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
LAD_j	0,2603	0,2754	0,2744	0,3164	0,2326	0,2816
$w_{jLODECI}$	0,1587	0,1679	0,1672	0,1928	0,1418	0,1716

LODECI yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlendikten sonra, CRITIC yöntemi kapsamında Denklem (7) uygulanarak karar matrisindeki veriler normalize edilir. Elde edilen normalize karar matrisi Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. CRITIC Yöntemi Normalize Karar Matrisi

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
Brezilya	0,4667	0,4706	0,4000	0,6316	0,5333	0,4706
Rusya	0,1333	0,1765	0	0,2632	0,1333	0,0588
Çin	0,7333	0,9412	0,8667	0,8947	0,6667	0,8235
Güney Afrika	0,7333	0,7059	0,8667	0,8947	0,7333	0,8235
Mısır	0,4000	0,3529	0,6000	0,4211	0,6000	0,2941
Endonezya	0,4000	0,2941	0,4667	0,4211	0,4000	0,3529
İran	0	0	0,0667	0	0	0
BAE	1	1	1	1	1	1
Hindistan	0,5333	0,4706	0,8000	0,7368	0,6000	0,5882

Denklem (8) ile (10) arasındaki işlemler uygulanarak CRITIC temelli kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu işlemten sonra, LODECI yönteminde elde edilen kriter ağırlıkları ile CRITIC yönteminde elde edilen kriter ağırlıkları, Denklem (11)'den yararlanılarak birleştirilir. CRITIC yönteminde elde edilen kriter ağırlıkları ve kriterlerin birleşim ağırlıkları (w_j^{BR}) sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. CRITIC Yöntemine Göre Kriter Ağırlıkları ve Birleştirilmiş Kriter Ağırlıkları

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
$w_{JLODECI}$	0,1587	0,1679	0,1672	0,1928	0,1418	0,1716
$w_{JCRITIC}$	0,0974	0,1992	0,2476	0,1517	0,1786	0,1254
w_j^{BR}	0,1281	0,1836	0,2074	0,1723	0,1602	0,1485

Tablo 5'te yer alan LODECI yönteminin sonucuna göre kriterlerin sıralaması şu şekildedir: CR4>CR6>CR2>CR3>CR1>CR5. CRITIC yönteminin sonucuna göre kriterlerin sıralaması şu şekildedir: CR3>CR2>CR5>CR4>CR6>CR1. Kriterlerin birleştirilmiş ağırlıklarının sıralaması ise şu şekildedir: CR3>CR2>CR4>CR5>CR6>CR1.

4.2. Ülkelerin Sıralanması

Elde edilen birleştirilmiş kriter ağırlıkları, MARA yöntemine entegre edilerek 2023 yılında en yüksek LPI performansı gösteren BRICS ülkesi belirlenecektir. Tablo 2'de yer alan verilere Denklem (14) uygulanarak MARA temelli ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilir. Elde edilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. MARA Yöntemi Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
Brezilya	0,1004	0,1433	0,1583	0,1421	0,1335	0,1159
Rusya	0,0831	0,1209	0,1255	0,112	0,1106	0,0906
Çin	0,1143	0,1791	0,1965	0,1637	0,1411	0,1376
Güney Afrika	0,1143	0,1612	0,1965	0,1637	0,1449	0,1376
Mısır	0,0969	0,1343	0,1747	0,1249	0,1373	0,105
Endonezya	0,0969	0,1299	0,1637	0,1249	0,1259	0,1087
İran	0,0762	0,1075	0,131	0,0905	0,103	0,0869
BAE	0,1281	0,1836	0,2074	0,1723	0,1602	0,1485
Hindistan	0,1039	0,1433	0,191	0,1508	0,1373	0,1232

Denklem (15)-(24) uygulanarak optimal alternatifin ve her bir alternatifin yoğunluğu hesaplanır. Sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7: Optimal Alternatifin ve Alternatiflerin Yoğunluğu

Ülkeler	Max
	D_k
	V_{ik}
D	1,0001
Brezilya	0,1004
Rusya	0,0831
Çin	0,1143
Güney Afrika	0,1143
Mısır	0,0969
Endonezya	0,0969
İran	0,0762
BAE	0,1281
Hindistan	0,1039

Alternatiflerin altında kalan alanlar ile optimal alternatif, Denklem (25)-(28) doğrultusunda hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8: Alternatiflerin Altındaki Alan ve Optimal Alternatif

Ülkeler	Alan	Değerler
<i>Optimal Alternatif</i>	F^{opt}	0,5001
Brezilya	F1	0,3968
Rusya	F2	0,3214
Çin	F3	0,4662
Güney Afrika	F4	0,4591
Mısır	F5	0,3866
Endonezya	F6	0,3750
İran	F7	0,2976
BAE	F8	0,5001
Hindistan	F9	0,4248

Denklem (29) kapsamında yapılan hesaplamalarla alternatiflerin alan büyüklükleri belirlenmiş; Tablo 9'da bu alanlara ve R_i sırasına göre yapılan nihai alternatif sıralamasına yer verilmiştir.

Tablo 9: Alternatiflerin Altındaki Alan ve Optimal Alternatif

Ülkeler	Alan	Değerler	Sıralama
Brezilya	R1	0,1033	5
Rusya	R2	0,1787	8
Çin	R3	0,0339	2
Güney Afrika	R4	0,0410	3
Mısır	R5	0,1135	6
Endonezya	R6	0,1251	7
İran	R7	0,2025	9
BAE	R8	0,0000	1
Hindistan	R9	0,0753	4

MARA yönteminin sonuçlarına göre BRICS ülkelerinin lojistik performanslarına göre sıralaması: BAE>Çin>Güney Afrika>Hindistan>Brezilya>Mısır>Endonezya>Rusya>İran şeklinde gerçekleşmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmanın temel amacı, literatürde tanımlanan ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonu yoluyla BRICS ülkelerinin lojistik performanslarının analiz edilmesi ve sıralanmasıdır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde LODECI ve CRITIC yöntemleri birlikte kullanılmış; elde edilen ağırlıklarla MARA yöntemi uygulanarak BRICS ülkeleri sıralanmıştır. LODECI ve CRITIC yöntemlerinin birleştirilmesi sonucunda oluşan kriter ağırlığı sıralaması CR3(uluslararası nakliye düzenlemeleri)>CR2(altyapı)>CR4(lojistik hizmetlerin yetkinliği ve kalitesi)>CR5(teslimatların zamanında gerçekleşme düzeyi)>CR6(sevkiyatları takip ve izleme)>CR1(gümrük ve sınır yönetimi) şeklinde gerçekleşmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesini takiben, alternatiflerin sıralanmasında MARA yöntemi kullanılmıştır. MARA yöntemi sonucunda BRICS ülkelerinin lojistik performansına ilişkin sıralama: BAE>Çin>Güney Afrika>Hindistan>Brezilya>Mısır>Endonezya>Rusya>İran şeklinde gerçekleşmiştir. Analiz bulgularına göre, BRICS entegrasyonuna dahil ülkeler arasında Birleşik Arap Emirlikleri en yüksek lojistik performansı sergilemiş, buna karşılık İran en düşük performansa sahip ülke olarak belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, LPI raporunda yer alan tüm ülkeler analiz edilerek daha kapsamlı ve ayrıntılı bir değerlendirme gerçekleştirilebilir. Ayrıca, çalışmanın kapsamı bulanık ya da gri sistem temelli ÇKKV yöntemleri

kullanılarak genişletilebilir. Bunun yanı sıra, bu çalışmada uygulanan ÇKKV yöntemleri farklı karar verme problemlerine uyarlanabilir ve diğer ÇKKV yöntemleriyle entegre edilerek yöntemsel çeşitlilik sağlanabilir.

Kaynakça

- Adıgüzel Mercangöz, B., Yıldırım, B. F., & Kuzu Yıldırım, S. (2020). Time period based COPRAS-G method: application on the Logistics Performance Index. *LogForum*, 16(2), 239-250. <http://doi.org/10.17270/J.LOG.2020.432>
- Akbulut, E. A., Ulutaş, A., Yürüyen, A. A., & Balalan, S. (2024). Hibrit bir ÇKKV modeli ile G20 ülkelerinin lojistik performansının ölçülmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 12(1), 1-21. <https://doi.org/10.15295/bmij.v12i1.2300>
- Altıntaş, F.F. (2021). “Avrupa Birliği Ülkelerinin Lojistik Performanslarının CRITIC Tabanlı WASPAS ve COPRAS Teknikleri ile Analizi”, *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Yıl 25, Sayı:1 – Nisan 2021
- Andrejic, M., & Kilibarda, M. (2014). Global Logistics Efficiency Index. *Center for Quality*.
- Artan, B. (2024). Büyüyen Küresel Güç BRICS Ülkeleri ve Türkiye’nin Dış Ticareti Üzerine Etkileri. *Sakarya İktisat Dergisi*, 13(2), 35-57.
- Arvis, J. F., Alina Mustra, M., Ojala, L., Shepherd, B., & Saslavsky, D. (2010). Connecting to compete 2010: trade logistics in the global economy--the logistics performance index and its indicators. *World Bank*.
- Çalık, A., Erdebilli, B., & Özdemir, Y. S. (2023). Novel Integrated Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Approach for Logistics Performance Index. *Transportation Research Record*, 2677(2), 1392-1400. <https://doi.org/10.1177/0361198122111331>
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)
- Dünya Bankası. (2023). International LPI. <https://lpi.worldbank.org/>
- Gligorić, M., Gligorić, Z., Lutovac, S., Negovanović, M., & Langović, Z. (2022). Novel Hybrid MPSI-MARA Decision-Making Model for Support System Selection in an Underground Mine. *Systems*, 10(6), 248. <https://doi.org/10.3390/systems10060248>
- Gürler, H. E., Özçalıcı, M., & Pamucar, D. (2024). Determining criteria weights with genetic algorithms for multi-criteria decision making methods: The case of logistics performance index rankings of European Union countries. *Socio-Economic Planning Sciences*, 91, 101758. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101758>
- Ju, M., Mirović, I., Petrović, V., Erceg, Ž., & Stević, Ž. (2024). A Novel Approach for the Assessment of Logistics Performance Index of EU Countries. *Economics*, 18(1), 20220074. <https://doi.org/10.1515/econ-2022-0074>

- Kara, K., Yalçın, G. C., Simic, V., Baysal, Z., & Pamucar, D. (2024). The alternative ranking using two-step logarithmic normalization method for benchmarking the supply chain performance of countries. *Socio-Economic Planning Sciences*, 92, 101822. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.101822>
- Madić, M., & Radovanović, M. (2015). Ranking of some most commonly used nontraditional machining processes using ROV and CRITIC methods. *UPB Sci. Bull., Series D*, 77(2), 193-204.
- Mešić, A., Miškić, S., Stević, Ž., & Mastilo, Z. (2022). Hybrid MCDM solutions for evaluation of the logistics performance index of the Western Balkan countries. *Economics*, 10(1), 13-34. <https://doi.org/10.2478/coik-2022-0004>
- Özekenci, E. K. (2024). Assessment of the Logistics Performance Index of OPEC Countries with ENTROPY, CRITIC and LOPCOW-based EDAS Methods. *Journal of Transportation and Logistics*, 9(2), 260-279. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1339285>
- Pala, O. (2024). Assessment of the social progress on European Union by logarithmic decomposition of criteria importance. *Expert Systems with Applications*, 238, 121846. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121846>
- Pala, O., Atçeken, Ö., Omurtak, H., & Şimşir, B. (2024). BİST Çimento Sektöründe LODECI ve CRADIS ile Finansal Performans Analizi. *Alanya Akademik Bakış*, 8(3), 956-970. <https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.1452960>
- Pehlivan, P., Aslan, A. I., David, S., & Bacalum, S. (2024). Determination of Logistics Performance of G20 Countries Using Quantitative Decision-Making Techniques. *Sustainability*, 16(5), 1852. <https://doi.org/10.3390/su16051852>
- Rashidi, K., & Cullinane, K. (2019). Evaluating the sustainability of national logistics performance using data envelopment analysis. *Transport Policy*, 74, 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.11.014>
- Topal, A., & Ulutaş, A. (2024). Evaluating the Logistics Performance of G8 Nations Using Multi-Criteria Decision-Making Models. *J. Intell. Manag. Decis*, 3, 150-158. <https://doi.org/10.56578/jimd030302>
- Ulutaş, A., & Karaköy, Ç. (2021). Evaluation of LPI values of transition economies countries with a grey MCDM model. In *Handbook of Research on Applied AI for International Business and Marketing Applications* (pp. 499-511). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5077-9.ch024>
- Ulutaş, A., & Karaköy, Ç. (2019). G-20 Ülkelerinin lojistik performans endeksinin çok kriterli karar verme modeli ile ölçümü. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(2), 71-84.

- Wong, W.P., Tang, C.F., (2017), “The Major Determinants Of Logistic Performance In A Global Perspective: Evidence From Panel Data Analysis”, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(4), 431-443. <https://doi.org/10.1080/13675567.2018.1438377>
- Yalçın, B., & Ayvaz, B. (2020). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Lojistik Performansın Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(38), 117-138.
- Yıldırım, B. F., & Adıgüzel Mercangöz, B. (2020). Evaluating the Logistics Performance of OECD Countries by Using Fuzzy AHP and ARAS-G. *Eurasian Economic Review*, 10(1), 27-45. <https://doi.org/10.1007/s40822-019-00131-3>
- Yürüyen, A. A., & Topal, B. (2025), G7 Ülkelerinin Lojistik Performanslarının PSI Tabanlı COBRA Yöntemi ile İncelenmesi. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(29), 39-57. <https://doi.org/10.53092/duibfd.1601852>