




Ulaşım Altyapı Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi: Seçilmiş Ülkeler Üzerine Bir Analiz

Evaluation of Transportation Infrastructure Performance with Multi-Criteria Decision Making Methods: An Analysis on Selected Countries

 <https://doi.org/10.25204/iktisad.1454785>

Hasan Emin GÜRLER*

Öz

Makale Bilgileri

Makale Türü:
Araştırma
Makalesi

Geliş Tarihi:
18.03.2024

Kabul Tarihi:
12.05.2024

© 2024 İKTİSAD
Tüm hakları
saklıdır.



Bu çalışmada, ülkelerin ulaşım altyapı performanslarına ilişkin objektif bir performans değerlendirme modeli önermek amaçlanmıştır. Bu kapsamda, 2023 yılı LPI altyapı skoruna göre ilk 10'da yer alan ülkeler, entegre Entropi-EDAS ve Entropi-WASPAS yaklaşımları kullanılarak ulaşım altyapı performanslarına göre değerlendirilmiştir. Veri seti, Dünya Ekonomik Forumu, UNCTAD ve Global Firepower gibi kamuya açık kaynaklardan elde edilmiştir. Ülkeler, tümü fayda odaklı olan toplam 8 kritere göre değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları, Entropi yöntemiyle belirlenirken ülkeler, EDAS ve WASPAS yöntemlerine göre sıralanmıştır. Sonuçlar, Filo Büyüklüğü'nün en önemli kriter olduğunu, Hava Taşımacılığı Hizmetlerinin Verimliliği'nin ise en az önemli kriter olduğunu göstermektedir. EDAS ve WASPAS yöntemlerine göre, Japonya, ulaşım altyapısı performans açısından birinci sırada yer alırken, İsviçre son sırada yer almaktadır. Çalışmada önerilen performans değerlendirme modelinin oldukça güvenilir ve tutarlı sonuçlar sunduğu anlaşılmaktadır. Önerilen değerlendirme modelinin, kriter ağırlıklarını objektif bir şekilde belirleyebilme ve aynı anda birden fazla çok kriterli karar verme tekniğini birlikte kullanabilme bakımından oldukça avantajlı olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım altyapısı, lojistik performans endeksi, entropi, edas, waspas.

Abstract

Article Info

Paper Type:
Research Paper

Received:
18.03.2024

Accepted:
12.05.2024

© 2024 JEBUPOR
All rights
reserved.



This study aims to propose an objective performance assessment model for countries' transportation infrastructure performance. In this context, countries ranked in the top 10 by the LPI infrastructure score for 2023 were evaluated by their transportation infrastructure performance using the integrated Entropy-EDAS and Entropy-WASPAS. The dataset was obtained from publicly available sources such as the World Economic Forum, UNCTAD and Global Firepower. Countries are evaluated by a total of 8 criteria, all of which are utility-oriented. Criteria weights are determined by Entropy method and countries are ranked by EDAS and WASPAS methods. The results show that Fleet Size is the most important criterion, while Efficiency of Air Transportation Services is the least important criterion. According to the EDAS and WASPAS, Japan ranks first in terms of transportation infrastructure performance, while Switzerland ranks last. It is understood that the performance evaluation model proposed in the study provides very reliable and consistent results. The proposed evaluation model is considered to be very advantageous in terms of determining the criteria weights objectively and using more than one multi-criteria decision-making technique at the same time.

Keywords: Transportation infrastructure, logistics performance index, entropy, edas, waspas.

Atıf/ to Cite (APA): Gürler, H. E. (2024). Ulaşım altyapı performansının çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi: Seçilmiş ülkeler üzerine bir analiz. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 9(24), 238-256. <https://doi.org/10.25204/iktisad.1454785>

* ORCID Arş. Gör. Dr., Kilis 7 Aralık Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, hasan.gurler@kilis.edu.tr

Extended Abstract

Introduction and Research Questions & Purpose:

Today, transportation infrastructure performance is assessed on a global scale by the World Bank. The World Bank ranks countries according to their logistics performance in the Logistics Performance Index (LPI), the first of which was published in 2007 and the last in 2023. Within the scope of the LPI, countries are evaluated according to six criteria and one of these criteria is the quality of infrastructure activities related to trade and transportation. The LPI is based on a survey of experts in the field of international transportation and logistics (Rezaei et al., 2018: 158-159). Although the LPI is a global assessment, two main concerns arise regarding the assessment methodology. The first one is that it assesses the criteria at an equal level of importance, while the second one is that it includes subjective opinions through the survey method. In order to overcome these concerns, this study aims to develop an integrated multi-criteria decision-making model that can enable countries to evaluate their transportation infrastructure performance based on objective data and at more frequent intervals (annual, semi-annual).

Literature Review:

Over the years, researchers have shown interest in transportation infrastructure, which is important for national economies and societies, and have conducted studies on this topic. For example, Bouraima et al. (2023) presented the integrated PIPRECIA and WGDMSM model as a new MCDM approach for improving the performance of the railway sector. Blumenfeld et al. (2019) investigated the current state of railway infrastructure in low-income countries and the level of operational performance achieved. Pisa (2021) examined key developments in rail freight transportation that have improved the efficiency of rail logistics in developed countries. Stenström (2012) presented a comprehensive model aiming at continuous improvement of railway performance. George et al. (2018) conducted an assessment of public rail networks, contributing to ongoing efforts to raise awareness among government and the public about the current state of rail infrastructure. Yang et al. (2023) evaluated the interconnection performance of interregional highway infrastructures. Liu et al. (2023) evaluated transportation infrastructure performance from a COVID-19 perspective using fuzzy FUCOM and fuzzy CoCoSo techniques. De Bartolomeo et al. (2023) made innovative proposals for the development of an integrated safety management system for highway infrastructures.

Methodology:

In this study, an integrated multi-criteria decision making model is proposed to evaluate the infrastructure performance of countries. In this model, criteria weights are determined by Entropy method and countries are ranked according to their infrastructure performance by EDAS and WASPAS methods. Furthermore, a two-stage sensitivity analysis was conducted in the study. In the first stage, the results of the proposed model are compared with the results of other MCDM techniques. In this context, the results of EDAS and WASPAS methods were compared with the ranking results of SAW, MABAC, CoCoSo and MOORA (Ratio) techniques. In the second stage of the sensitivity analysis, the Borda count method was used to integrate the ranking results of the six techniques (EDAS, WASPAS, SAW, MABAC, CoCoSo, MOORA) and to reach a final conclusion on the decision problem. The main purpose of using the method is to increase the robustness of the evaluation process and therefore of the ranking results.

Results and Conclusions:

The results of the study provide valuable insights into the relative importance of different criteria. In particular, Fleet Size emerges as the most influential factor, emphasizing the importance of the scale and efficiency of a country's transportation resources. In contrast, the Efficiency of Air Transport Services is identified as the least important criterion in determining overall transport infrastructure performance. This calls for a reconsideration of priorities in national transport strategies. Another important result of the assessment is the identification of Japan as the leading country in terms of transportation infrastructure performance. This highlights the effectiveness of the proposed Entropy-EDAS and Entropy-WASPAS approaches in distinguishing differences between the best performing countries. The ranking results of EDAS and WASPAS methods are compared with the ranking results of SAW, MABAC, CoCoSo and MOORA techniques. The comparison results reveal the consistency in the results of the proposed model for Japan, which is the first ranked country according to the six techniques used. According to the ranking results of the Borda count method, Japan ranks first in terms of transportation infrastructure performance. The country with the lowest performance and ranked last is Switzerland.

1. Giriş

Uluslararası ticaret, altyapı ile doğrudan bağlantılıdır (Hussain vd., 2019: 305). Altyapı, firmalar aracılığıyla uluslararası ticaretin geliştirilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Çeşitli altyapı türleri, üretim ve tüketimi birbirine bağlamak için devlet veya özel kurumlar tarafından sağlanan hizmetlerdir. Üretim ve tüketim noktaları arasında altyapı aracılığıyla sağlanan bağlantı, ülkeler arasındaki ticareti artırır (Mao vd., 2024: 2). Çok boyutlu bir kavram olan altyapı sadece ticareti değil aynı zamanda ekonomik büyüme, sosyal refah, kaynak verimliliği, inovasyon, ekonomik kalkınma ve diğer ekonomik sonuçları da etkilemektedir (Hussain vd., 2019: 299). Ulaşım altyapısı günümüzde altyapının en önemli unsurlarından biridir (Skorobogatova ve Kuzmina-Merlino, 2017: 321). Ulaşım altyapısı, malların bir yerden başka bir yere taşınması için ekonomide yer alan karayolları, demiryolları, havaalanları ve limanlar gibi fiziksel hizmetleri kapsamaktadır (Hussain vd., 2019: 305).

Ulaşım altyapısı ülke içinde bölgeler arasında ve ülkeler arasında bağlantıların gelişmesini kolaylaştırır ve dolayısıyla karşılıklı ekonomik, sosyal, kültürel ilişkilerin oluşmasını destekler (Skorobogatova ve Kuzmina-Merlino, 2017: 321). Ekonomilerin rekabet gücü, ulaşım altyapılarının ve sistemlerinin etkinliğine bağlı olmakla birlikte (Pisa, 2021: 223), ekonomisi iyi olan ülkeler ulaşım altyapısına büyük ölçekte yatırım yapmaktadırlar (Mao vd., 2024: 3). Ulaşım altyapısının geliştirilmesi (yollar, havaalanları ve limanlar dahil), bir ekonomideki üretim ve imalat faaliyetlerini doğrudan destekleyebildiğinden, ekonomik büyüme için gerekli olan temel altyapı olarak kabul edilmektedir (Zhang ve Cheng, 2023: 223). Herhangi bir ülkenin ulaşım altyapısı, işletmeler için yerel, bölgesel ve uluslararası pazarlara erişimi artırarak geleneksel olarak ülke düzeyinde eşsiz bir rekabet avantajı yaratabilir (Pisa, 2021: 223). Ayrıca bölgeler arası otoyollar, tüneller ve köprüler gibi iyi bağlanmış karayolu altyapı ağları, kentsel yığılmada ekonomik ve sosyal bağların kurulması için çok önemlidir (Yang vd., 2023: 1). Bununla birlikte, ticaret ve altyapıdaki zorluklar, altyapı sorunları nedeniyle artan nakliye maliyetleri gibi ticaret engellerine neden olabilir (Hussain vd., 2019: 305).

Genel ulaşım ve lojistik sistemindeki rolünü belirlemek, ulaşım altyapısını değerlendirmek için bir zorunluluktur (Skorobogatova ve Kuzmina-Merlino, 2017: 321). Günümüzde, ulaşım altyapı performansının küresel ölçekte değerlendirilmesi Dünya Bankası tarafından yapılmaktadır. Dünya Bankası ilki 2007, sonuncusu ise 2023 yılında olmak üzere yayımladığı Lojistik Performans Endeksi'nde (LPI) ülkeleri lojistik performanslarına göre sıralamaktadır. LPI kapsamında ülkeler, altı kritere göre değerlendirilmektedir ve bu kriterlerden birisi de ticaret ve ulaşım ile ilgili altyapı faaliyetlerinin kalitesidir. LPI, uluslararası nakliye ve lojistik alanındaki uzmanlar arasında yapılan ankete dayanılarak oluşturulmaktadır (Rezaei vd., 2018: 158–159). LPI küresel bir değerlendirme olmakla birlikte, değerlendirme yöntemine ilişkin iki temel kaygı ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, kriterleri eşit önem düzeyinde değerlendirmesi iken ikincisi ise anket yöntemiyle subjektif görüşleri içermesidir. Söz konusu bu kaygıları ortadan kaldırmak amacıyla bu çalışmada, ülkelerin ulaşım altyapı performanslarını objektif verilere dayanarak ve daha sık aralıklarla (yıllık, yarı yıllık) değerlendirmelerini sağlayabilecek entegre çok kriterli karar verme modeli geliştirmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, LPI altyapı skoruna göre ilk 10'da yer alan ülkeler, entegre Entropi-EDAS ve Entropi-WASPAS yaklaşımları kullanılarak ulaşım altyapı performanslarına göre değerlendirilmiştir. Çalışmada birden fazla teknik birlikte kullanılmış olup bu sayede, daha kapsamlı bir değerlendirme yaparak tek bir yöntemin doğasında bulunan önyargıların veya sınırlamaların etkisini azaltmak ve sonuçların tutarlılığını ölçmek hedeflenmiştir.

Çalışmanın sonraki bölümlerini şu şekilde özetlemek mümkündür. İkinci bölümde, ulaşım performansı, bu performansı değerlendirmenin önemi ve literatürde bu konuda yapılan araştırmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde, kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerine, bu yöntemlerin uygulama adımlarına ve veri setine değinilmiştir. Bulgular ve yorumlar dördüncü bölümde sunulurken son bölümde araştırmanın sonuçları ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Ulaşım, ulusal ekonominin ve toplumun aktif işleyişinin temel koşullarını sağlar; sosyal, ekonomik ve dış politika hedeflerine ulaşmanın önemli bir aracıdır. Aynı zamanda ulaşım, ulusal hedeflere ulaşmanın temel aracı haline gelmiştir (Popova, 2017: 581). Herhangi bir bölgenin veya ülkenin genel ekonomik ve sosyal kalkınması, ulaşım ve ulaşım altyapısı gibi etkili bir faktör olmadan düşünülemez (Popova, 2017: 580). Neoklasik ekonomik büyüme teorisine göre, ulaşım altyapısının gelişimi, teknolojik ve politik faktörlerle birleştirilirken içsel ekonomik büyüme teorisine göre, altyapı yatırımının dışsallıkları, uzun vadeli ekonomik büyümenin temel kaynağıdır (Zhang ve Cheng, 2023: 224). Ulaşım altyapısı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, uzun vadede ekonomiyi güçlü bir şekilde canlandırır (Saidi vd., 2018: 81). Ulaşım altyapısı, malların ve insanların hareketini kolaylaştırarak potansiyel olumsuz dışsallıkların azaltılmasına yardımcı olabilir. Daha iyi erişilebilirlik, ulaşımın yarattığı merkezlerin etrafında veya içinde yer almayı seçen tüketicilerin/işçilerin ve firmaların/üreticilerin mekansal dağılımını etkiler (Champagne ve Dubé, 2023: 140).

Otoyollar ve demiryolu hatları da dahil olmak üzere ulaşım altyapısının geliştirilmesi durumunda, boş alanlar bile yatırımcılar ve nüfus için ilgi çekici hale gelme potansiyeline sahiptir (Popova, 2017: 580). Yollardaki gelişmeler ekonomik ve sosyal değişimi etkiler çünkü altyapı tesisleri özellikle yoksullar için yaşam kalitesinin yükseltilmesinde kritik öneme sahiptir. Altyapı sadece bir iş girdisi olmanın ötesinde sıradan insanların ihtiyaç ve isteklerini de karşılamaktadır (Rehman vd., 2023: 4). Ulaşımındaki iyileştirmeler, mekansal ekonomi içinde geliştirildikleri ölçüde yığılma ekonomisinin gücünü artırabilir. Ulaşım, insanların ve firmaların ekonomik faaliyetlere erişim yollarını değiştirerek, yığılmanın dış etkilerinin gerçekleşmesini ve dolayısıyla bundan elde edilen verimlilik etkisini etkiler (Kadyraliev vd., 2022: 1360). Ulaşım altyapısı, maliyet yapısı, özel ihtiyaçları ve ilgili müşteri kitleleri gibi içsel özelliklerine bağlı olarak ekonomik aktörlerin kentsel dinamiklerini ve konum kararlarını etkiler ve şekillendirir (Champagne ve Dubé, 2023: 140). Bununla birlikte, ulaşım sistemindeki sorunlar, altyapısal kısıtlamalara ve ülkenin sosyal kalkınmasının yavaşlamasına neden olabilir. Bu durumda, ulaştırma sistemi ekonomi için bir darboğaz haline gelebilir (Popova, 2017: 581).

Ülke ekonomileri ve toplumlar için önemli olan ulaşım altyapısına yıllar itibariyle araştırmacılar da ilgi göstermiş ve bu konuyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Örneğin; Bouraima vd. (2023), demiryolu sektörü performansının iyileştirilmesi için yeni bir ÇKKV yaklaşımı olarak entegre PIPRECIA ve WGDMSM modelini sunmuşlardır. Blumenfeld vd. (2019), düşük gelirli ülkelerdeki demiryolu altyapısının mevcut durumunu ve ulaşılan operasyonel performans seviyesini araştırmışlardır. Pisa (2021), gelişmiş ülkelerde demiryolu lojistiğinin verimliliğini artıran demiryolu yük taşımacılığındaki önemli gelişmeleri incelemiştir. Stenström (2012), demiryolu performansının sürekli iyileştirilmesini hedefleyen kapsamlı bir model ortaya koymuştur. George vd. (2018), kamu demiryolu ağlarının bir değerlendirmesini yaparak demiryolu altyapısının mevcut durumu hakkında hükümet ve halk arasında farkındalık yaratmaya yönelik devam eden çabalara katkıda bulunmuştur.

Yang vd. (2023), bölgelerarası karayolu altyapılarının ara bağlantı performansını değerlendirmişlerdir. Liu vd. (2023) bulanık FUCOM ve bulanık CoCoSo tekniklerini kullanarak ulaşım altyapı performansını COVID-19 perspektifinden değerlendirmişlerdir. De Bartolomeo vd. (2023), karayolu altyapıları için entegre güvenlik yönetim sisteminin geliştirilmesine yönelik yenilikçi önerilerde bulunmuşlardır. Sergi vd. (2020), Veri Zarflama Analizi ve Tobit analizi yardımıyla İtalya'daki 32 havalimanının ulaşım altyapısını değerlendirmişlerdir. Nassereddine ve Eskandari (2017), İran'daki toplu taşıma altyapısını değerlendirmek için Delphi yöntemi, GAHP ve PROMETHEE tekniklerine dayalı entegre bir ÇKKV yaklaşımı önermişlerdir. Inti ve Tandon (2017), bulanık AHP yöntemini kullanarak ulaşım altyapısının sürdürülebilirliğini değerlendirmişlerdir. Hussain vd. (2019), altyapının ticaret hacmini olumlu yönde artırdığını iddia etmişlerdir. Özellikle, ulaştırma altyapısının (örneğin; karayolu yoğunluğu, demiryolu yoğunluğu ve havaalanı kalitesi) Asya ekonomilerinin uluslararası ticaret faaliyetleri üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olabilecek

kilit bir bileşen olduğunu savunmuşlardır. Korinek ve Sourdin (2010), altyapı yetersizliğinin nakliye maliyetleri nedeniyle ticareti gerilettiğini bulgulamışlardır.

3. Yöntem

Bu araştırmada, ülkelerin altyapı performanslarını değerlendirmek amacıyla entegre çok kriterli karar verme modeli önerilmiştir. Bu modelde, kriter ağırlıkları Entropi yöntemiyle belirlenirken EDAS ve WASPAS yöntemleriyle ülkeler altyapı performanslarına göre sıralanmaktadır. Bu bölümde önerilen modelde kullanılan teknikler, bu tekniklerin metodolojik adımları ve veri seti sunulmuştur.

3.1. Entropi Yöntemi

Matematiksel iletişim teorisine dayalı olan ve Shannon (1948), tarafından ileri sürülen Entropi yöntemi, sosyal bilimler, ekonomi, fizik gibi birçok araştırma alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (İjadi Maghsoodi vd., 2018: 8). Bu yöntem, özellikle çok kriterli karar problemlerinde kriterlerin ağırlıklarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Objektif karar verme tekniklerinden birisi olan Entropi yönteminde kriter ağırlıkları sadece karar matrisindeki veriler dikkate alınarak belirlenir (Ayçin ve Orçun, 2019: 181). Entropi, karar verme sürecinde etkin bir şekilde kullanılabilir, çünkü veri kümeleri arasındaki mevcut zıtlıkları ölçer ve karar vericiye aktarılan ortalama içsel bilgiyi belirler (Hafezalkotob ve Hafezalkotob, 2015: 4). Bu yöntemin uygulama adımları şu şekildedir (Yazdani vd., 2020: 37):

Adım 1. Başlangıç karar matrisi oluşturulur ve normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

Adım 2. Her bir kriterin entropi değeri hesaplanır.

$$e_{ij} = -k \cdot \sum_{j=1}^n P_{ij} \cdot \ln(P_{ij}) \quad i=1, 2, \dots, m \text{ ve } j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

m alternatif sayısını; e_j , j. kriterin entropi değerini gösterirken $k=(\ln(m))^{-1}$ ise $0 \leq e_j \leq 1$ olmasını sağlayan sabittir.

Adım 3. Her bir kriterin objektif ağırlığı belirlenir.

$$w_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^n (1-e_j)} \quad (3)$$

w_j , j. kriterin ağırlığını ifade etmektedir.

3.2. EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) Yöntemi

EDAS, envanter sınıflandırması ile başa çıkmak için verimli ve nispeten yeni birçok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi olarak Keshavarz Ghorabae vd. (2017) tarafından önerilmiştir. Son zamanlarda, mühendislik problemleri de dahil olmak üzere diğer ÇKKV problemlerini ele almak için kademeli olarak genişletilmiştir (Mitra, 2022: 2708). EDAS, birbiriyle çelişen kriterler içeren karar problemlerinde oldukça kullanışlıdır. Bu yöntemle göre en iyi alternatif, ortalama çözüme (AV) olan uzaklık dikkate alınarak belirlenir (Kundakcı, 2019: 29). EDAS, alternatifleri sıralamak için ortalama çözüme olan pozitif ve negatif uzaklıkları dikkate alan mesafe odaklı bir tekniktir. Pozitif ve negatif uzaklıkların ölçümleri, fayda ve maliyet kriterlerinin türüne göre hesaplanır. Ortalamadan pozitif uzaklık (PDA) değeri yüksek olan veya ortalamadan negatif uzaklık (NDA) değeri düşük olan alternatif, en iyi alternatif olarak seçilir (Sowmya Dhanalakshmi vd., 2022: 5850). EDAS yönteminin uygulama adımları şu şekilde özetlenebilir (Kundakcı, 2019):

Adım 1. Karar probleminin kriterleri ve alternatifleri belirlenir.

Adım 2. Karar matrisi X, Eşitlik (4)'te verildiği gibi oluşturulur.

$$X=[x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Bu matriste x_{ij} , j. kritere göre i. alternatifin performans değerini gösterir.

Adım 3. Tüm kriterlere ilişkin ortalama çözüm (AV), Eşitlik (5) kullanılarak belirlenir.

$$AV=[AV_j]_{1 \times m} \quad j=1, \dots, m. \quad (5)$$

$$\text{Burada, } AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n}, \quad j=1, \dots, m. \quad (6)$$

Adım 4. Kriterlerin türüne göre, PDA ve NDA matrisleri hesaplanır.

$$PDA=[PDA_{ij}]_{n \times m}, \quad (7)$$

$$NDA=[NDA_{ij}]_{n \times m}. \quad (8)$$

Eğer j kriteri fayda kriteri ise,

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij}-AV_j))}{AV_j}; \quad (9)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j-X_{ij}))}{AV_j}. \quad (10)$$

Eğer j kriteri maliyet kriteri ise,

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j-X_{ij}))}{AV_j}; \quad (11)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij}-AV_j))}{AV_j}. \quad (12)$$

Burada, PDA_{ij} ve NDA_{ij} sırasıyla j. kriter açısından i. alternatifin AV'ye olan pozitif ve negatif uzaklıklarını gösterir.

Adım 5. Tüm alternatifler için PDA ve NDA'nın ağırlıklı toplamı Eşitlik (13) ve (14) kullanılarak belirlenir.

$$SP_i = \sum_{j=1}^m w_j PDA_{ij}, \quad (13)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^m w_j NDA_{ij}. \quad (14)$$

Burada w_j , j. kriterin ağırlığını göstermektedir.

Adım 6. Tüm alternatifler için SP ve SN değerleri sırasıyla Eşitlik (15) ve (16) kullanılarak normalize edilir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)}, \quad (15)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)}. \quad (16)$$

Adım 7. Tüm alternatifler için değerlendirme puanı (AS) Eşitlik (17) yardımıyla hesaplanır.

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i + NSN_i). \quad (17)$$

Burada, $0 \leq AS_i \leq 1$ koşulu sağlanır.

Adım 8. Elde edilen AS'lere göre alternatifler büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek AS'ye sahip alternatif, diğer alternatifler arasında en iyisidir.

3.3. WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) Yöntemi

Zavadskas vd. (2012), tarafından geliştirilen WASPAS yöntemi, ağırlıklandırılmış toplam modeli (WSM) ve ağırlıklandırılmış ürün modeli (WPM) olmak üzere iki birleştirilmiş bölümden oluşan sağlam bir ÇKKV tekniğidir (Eghbali-Zarch vd., 2022: 1118). Bu iki modelin sonuçlarına göre hesaplanan birleşik optimalite kriterlerinin değerine göre alternatiflerin sıralaması yapılır. Yöntem, kendi işleyişi içerisinde bir duyarlılık analizi yaparak alternatif sıralamaların tutarlılığını kontrol edebilmektedir (Deveci vd., 2018: 780). WASPAS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Deveci vd., 2018):

Adım 1. Performans değerlerinin doğrusal normalizasyonu Eşitlik (18) ve (19) yardımıyla gerçekleştirilir:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}} \quad i \in C_b, \quad (18)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}} \quad i \in C_n. \quad (19)$$

Burada, C_b fayda kriteri iken C_n maliyet kriteri kümelerini ifade etmektedir. Ayrıca, $j=1, \dots, n$ (alternatifler kümesi); $i=1, \dots, m$ (kriterler kümesi)'dir.

Adım 2. Eşitlik (20) ve (21) yardımıyla her bir alternatif için WSM ($Q_j^{(1)}$) ve WPM ($Q_j^{(2)}$) değerleri hesaplanır.

$$Q_j^{(1)} = \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij} w_j, \quad (20)$$

$$Q_j^{(2)} = \prod_{i=1}^m (\bar{x}_{ij})^{w_j}. \quad (21)$$

Adım 3. Her bir alternatif için toplam optimalite değeri (Q_j) hesaplanır.

$$Q_j = \lambda Q_j^{(1)} + (1-\lambda) Q_j^{(2)} \quad (22)$$

Burada λ , WASPAS yönteminin parametresidir ve 0-1 aralığında değer alır. $\lambda=1$ olduğunda WASPAS yöntemi WSM'ye; $\lambda=0$ olduğunda ise WPM'ye dönüştürülür.

Adım 4. Alternatifler, Q_j değerlerine göre sıralanır. En yüksek Q_j değerine sahip alternatif en uygun seçimdir.

3.4. Veri Seti ve Kriterler

Bu çalışmada, 2023 yılında yayımlanan Lojistik Performans Endeksinde (LPI) altyapı kriteri bakımından ilk 10'da yer alan ülkeler 8 kritere göre altyapı performansları bakımından karşılaştırılmıştır. Araştırmada, ulaşım altyapı performansı değerlendirilen ülkeler şunlardır: Avustralya, Belçika, İsveç, Hollanda, Japonya, Finlandiya, Almanya, Kanada, İsviçre ve Singapur. Kriterler belirlenirken ülkelerin ticaret ve ulaşım ile ilişkili altyapılarının performanslarını yansıtabilecek verilere odaklanılmıştır. Veri seti, Dünya Bankası, UNCTAD ve Global Firepower gibi kamuya açık kaynaklardan elde edilmiştir. Ayrıca, en güncel LPI 2023 yılında yayımlandığından dolayı kriter seti için en güncel verileri toplamak amaçlanmıştır. Tablo 1'de araştırmada kullanılan kriterler, bu kriterlerin kaynağı ve türü verilmiştir.

Tablo 1. Kriterlere İlişkin Bilgiler

Kod	Kriter	Yıl	Kaynak	max/min
C1	Yıllık Toplam Ticaret-Ticari Mallar (Milyon \$)	2023	UNCTAD	max
C2	Filo Büyüklüğü (1000 dwt)	2023	UNCTAD	max
C3	Hizmet Verilebilir Havalimanı Sayısı	2023	Global Firepower	max
C4	Karayolu Kapsama Alanı (km)	2023	Global Firepower	max
C5	Tren Hizmetlerinin Verimliliği (7 en iyisi)	2021	World Bank	max
C6	Havalimanı Bağlantısı (puan)	2021	World Bank	max
C7	Hava Taşımacılığı Hizmetlerinin Verimliliği (7 en iyisi)	2021	World Bank	max
C8	Karayolu Altyapısının Kalitesi (7 en iyisi)	2021	World Bank	max

Tablo 2’de alternatifler ve bu alternatiflerin her bir kriter karşılığında sahip olduğu performanslardan oluşan başlangıç karar matrisi verilmiştir.

Tablo 2. Karar Matrisi

Ülke	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Singapur	899700	134985	9	3500	6,21	91,967	6,76	6,58
İsviçre	784268	854	63	71557	6,41	86,242	6,1	6,53
Kanada	1139676	3483	1467	1042300	4,69	195,172	5,38	3,96
Almanya	3151021	7249	539	625000	4,26	317,789	5,43	5,38
Finlandiya	164700	1151	148	454000	5,43	31,261	5,82	4,66
Japonya	1502930	41726	175	1218772	6,85	985,359	6,46	6,27
Hollanda	1776619	6618	29	139124	5,93	113,341	6,41	6,41
İsveç	390876	1247	231	573134	4,79	51,936	5,46	4,74
Avustralya	658606	2595	418	873573	4,4	196,997	5,59	3,81
Belçika	1109204	9160	41	118414	4,44	36,782	5,22	5,45

Başlangıç karar matrisinin elde edilmesinden sonra her bir kriterin ağırlığı Entropi yöntemiyle belirlenmiş ve daha sonra alternatifler EDAS ve WASPAS yöntemlerine göre sıralanmıştır. Sonraki bölümde sırasıyla bu yöntemlerin sonuçları ve yorumlar sunulmuştur.

4. Bulgular ve Yorum

Bu bölümde, kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla kullanılan Entropi yöntemi sonuçları ve alternatifleri sıralamak için tercih edilen EDAS ve WASPAS yöntemlerinin sonuçları sırasıyla sunulmuştur.

4.1. Kriter Ağırlıklarının Entropi Yöntemiyle Belirlenmesi

Bu araştırmada, kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla Entropi yönteminden yararlanılmıştır. Tablo 2’de sunulan başlangıç karar matrisinden hareketle Eşitlik (1) yardımıyla Entropi yöntemi normalizasyon adımları uygulanmış ve Tablo 3’te sunulan normalize karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 3. Entropi Yöntemi Normalize Karar Matrisi

Ülke	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Singapur	0,0777	0,6457	0,0029	0,0007	0,1163	0,0437	0,1153	0,1223
İsviçre	0,0677	0,0041	0,0202	0,0140	0,1200	0,0409	0,1040	0,1214
Kanada	0,0984	0,0167	0,4702	0,2036	0,0878	0,0926	0,0918	0,0736
Almanya	0,2722	0,0347	0,1728	0,1221	0,0798	0,1508	0,0926	0,1000
Finlandiya	0,0142	0,0055	0,0474	0,0887	0,1017	0,0148	0,0993	0,0866
Japonya	0,1298	0,1996	0,0561	0,2381	0,1283	0,4677	0,1102	0,1166
Hollanda	0,1535	0,0317	0,0093	0,0272	0,1110	0,0538	0,1093	0,1192
İsveç	0,0338	0,0060	0,0740	0,1120	0,0897	0,0247	0,0931	0,0881
Avustralya	0,0569	0,0124	0,1340	0,1706	0,0824	0,0935	0,0953	0,0708
Belçika	0,0958	0,0438	0,0131	0,0231	0,0831	0,0175	0,0890	0,1013

Karar matrisinin normalize edilmesinden sonra her bir kritere ilişkin entropi değerleri Eşitlik (2) yardımıyla hesaplanmıştır. Tablo 4, kriterlere ilişkin entropi değerlerini göstermektedir.

Tablo 4. Kriterlere İlişkin Entropi Değerleri

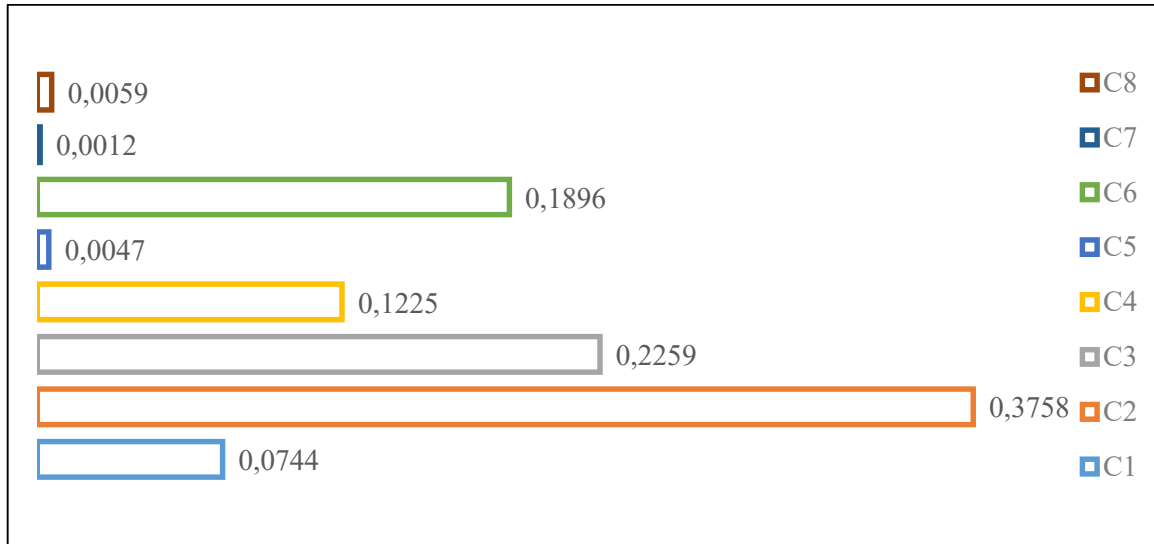
Ülke	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Singapur	-0,1985	-0,2825	-0,0169	-0,0050	-0,2502	-0,1367	-0,2491	-0,2570
İsviçre	-0,1824	-0,0225	-0,0788	-0,0597	-0,2544	-0,1308	-0,2354	-0,2560
Kanada	-0,2282	-0,0682	-0,3548	-0,3240	-0,2136	-0,2204	-0,2192	-0,1921
Almanya	-0,3542	-0,1166	-0,3033	-0,2567	-0,2017	-0,2853	-0,2204	-0,2303
Finlandiya	-0,0605	-0,0286	-0,1446	-0,2149	-0,2324	-0,0625	-0,2293	-0,2119
Japonya	-0,2650	-0,3216	-0,1616	-0,3417	-0,2634	-0,3554	-0,2430	-0,2505
Hollanda	-0,2876	-0,1093	-0,0435	-0,0980	-0,2440	-0,1572	-0,2420	-0,2535
İsveç	-0,1144	-0,0306	-0,1927	-0,2451	-0,2163	-0,0913	-0,2211	-0,2140
Avustralya	-0,1631	-0,0545	-0,2693	-0,3017	-0,2057	-0,2216	-0,2241	-0,1875
Belçika	-0,2247	-0,1370	-0,0569	-0,0871	-0,2068	-0,0707	-0,2153	-0,2320

Son adımda ise Eşitlik (3) kullanılarak her bir kritere ilişkin belirsizlik ve ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Tablo 5, bu belirsizlik (e_j) ve ağırlık değerlerini (w_j) göstermektedir.

Tablo 5. Kriterlere İlişkin Belirsizlik ve Ağırlık Değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
e_j	0,9027	0,5087	0,7046	0,8399	0,9939	0,7521	0,9984	0,9923
d_j	0,0973	0,4913	0,2954	0,1601	0,0061	0,2479	0,0016	0,0077
w_j	0,0744	0,3758	0,2259	0,1225	0,0047	0,1896	0,0012	0,0059
k				0,4343				

Şekil 1’de sunulan kriter ağırlıklarına göre, en önemli kriter “Filo Büyüklüğü” (0,3758) iken ağırlığı en düşük olan kriter “Hava Taşımacılığı Hizmetlerinin Verimliliği” (0,0012)’dir. Filo büyüklüğünün yaklaşık olarak %38 ile bu karar problemi için oldukça önemli bir kriter olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Kriter Ağırlıkları

Entropi yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları, EDAS ve WASPAS yöntemlerinin girdisi niteliğinde olmakta ve bu değerler her iki yöntemde karar matrisiyle birleştirilmektedir. Sonraki bölümde alternatiflerin EDAS ve WASPAS teknikleriyle sıralanmasına ilişkin bulgular sunulmuştur.

4.2. Alternatiflerin EDAS Yöntemiyle Değerlendirilmesi

EDAS yöntemiyle alternatifleri değerlendirmek için Entropi yönteminin çıktısı olan kriter ağırlıkları, başlangıç karar matrisine entegre edilerek Tablo 6'da sunulan birleştirilmiş karar matrisi elde edilmiştir (Eşitlik 4). Ayrıca, Eşitlik (5) ve (6) yardımıyla her bir kriterle ilişkin ortalama çözüm değeri hesaplanmıştır.

Tablo 6. Birleştirilmiş Karar Matrisi

Ülke/Kriter	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
w_j	0,0744	0,3758	0,2259	0,1225	0,0047	0,1896	0,0012	0,0059
Singapur	899700	134985	9	3500	6,21	91,967	6,76	6,58
İsviçre	784268	854	63	71557	6,41	86,242	6,1	6,53
Kanada	1139676	3483	1467	1042300	4,69	195,172	5,38	3,96
Almanya	3151021	7249	539	625000	4,26	317,789	5,43	5,38
Finlandiya	164700	1151	148	454000	5,43	31,261	5,82	4,66
Japonya	1502930	41726	175	1218772	6,85	985,359	6,46	6,27
Hollanda	1776619	6618	29	139124	5,93	113,341	6,41	6,41
İsveç	390876	1247	231	573134	4,79	51,936	5,46	4,74
Avustralya	658606	2595	418	873573	4,4	196,997	5,59	3,81
Belçika	1109204	9160	41	118414	4,44	36,782	5,22	5,45
Ortalama	1157760	20906,8	312	511937,4	5,341	210,6846	5,863	5,379

Eşitlik (7) ve (9) yardımıyla her bir kriter ve alternatif özelinde ortalamadan pozitif uzaklık değerleri hesaplanmış ve ilgili değerlere ilişkin matris elde edilmiştir. Tablo 7 bu matrisi göstermektedir.

Tablo 7. Ortalamadan Pozitif Uzaklık

Ülke/Kriter	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Singapur	0	5,4565	0	0	0,1627	0	0,1530	0,2233
İsviçre	0	0	0	0	0,2001	0	0,0404	0,2140
Kanada	0	0	3,7019	1,0360	0	0	0	0
Almanya	1,7217	0	0,7276	0,2209	0	0,5084	0	0,0002
Finlandiya	0	0	0	0	0,0167	0	0	0
Japonya	0,2981	0,9958	0	1,3807	0,2825	3,6769	0,1018	0,1656
Hollanda	0,5345	0	0	0	0,1103	0	0,0933	0,1917
İsveç	0	0	0	0,1195	0	0	0	0
Avustralya	0	0	0,3397	0,7064	0	0	0	0
Belçika	0	0	0	0	0	0	0	0,0132

Tablo 8’de ise Eşitlik (8) ve (10) yardımıyla elde edilen ortalamadan negatif uzaklık değerleri ve bu değerleri içeren matris verilmiştir.

Tablo 8. Ortalamadan Negatif Uzaklık

Ülke/Kriter	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Singapur	0,2229	0	0,9712	0,9932	0	0,5635	0	0
İsviçre	0,3226	0,9592	0,7981	0,8602	0	0,5907	0	0
Kanada	0,0156	0,8334	0	0	0,1219	0,0736	0,0824	0,2638
Almanya	0	0,6533	0	0	0,2024	0	0,0739	0
Finlandiya	0,8577	0,9449	0,5256	0,1132	0	0,8516	0,0073	0,1337
Japonya	0	0	0,4391	0	0	0	0	0
Hollanda	0	0,6835	0,9071	0,7282	0	0,4620	0	0
İsveç	0,6624	0,9404	0,2596	0	0,1032	0,7535	0,0687	0,1188
Avustralya	0,4311	0,8759	0	0	0,1762	0,0650	0,0466	0,2917
Belçika	0,0419	0,5619	0,8686	0,7687	0,1687	0,8254	0,1097	0

Eşitlik (13) ve (14) yardımıyla sırasıyla ortalamadan pozitif (SP) ve negatif (SN) uzaklıkların ağırlıklı toplamları hesaplanmıştır. Ardından, Eşitlik (15) ve (16) kullanılarak elde edilen bu değerler normalize (NSP, NSN) edilmiştir. Son adımda ise Eşitlik (17) yardımıyla her bir alternatif için değerlendirme puanı (AS değerleri) hesaplanmış ve bu değere göre alternatifler büyükten küçüğe sıralanmıştır. EDAS yöntemi sonuçları, ulaşım altyapı performansı en iyi olan ülkenin Japonya olduğunu göstermektedir. Bu ülkeyi sırasıyla Kanada, Almanya, Singapur, Avustralya, Hollanda, İsveç, İsviçre ve Belçika izlemektedir. İncelenen 10 ülke içerisinde ulaşım altyapı performansı bakımından son sırada yer alan ülke ise Finlandiya’dır.

Tablo 9. EDAS Yöntemi Sıralama Sonuçları

Ülke	SP	SN	NSP	NSN	AS	Sıra
Singapur	0,0354	0,0162	0,8687	0,2209	0,5448	4
İsviçre	0,0027	0,0208	0,0659	0	0,0329	8
Kanada	0,0279	0,0082	0,6865	0,6061	0,6463	2
Almanya	0,0187	0,0055	0,4606	0,7367	0,5987	3
Finlandiya	0,0001	0,0203	0,0024	0,0274	0,0149	10
Japonya	0,0407	0,0026	1	0,8756	0,9378	1
Hollanda	0,0055	0,0164	0,1347	0,2124	0,1736	6
İsveç	0,0007	0,0171	0,0173	0,1768	0,0971	7
Avustralya	0,0062	0,0111	0,1516	0,4657	0,3087	5
Belçika	0,0001	0,0197	0,0019	0,0526	0,0273	9

EDAS yöntemi ile ülkeler altyapı performanslarına göre değerlendirildikten sonra Entropi yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları dikkate alınarak ülkeler, WASPAS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Sonraki bölümde WASPAS yönteminin sonuçları sunulmuştur.

4.3. Alternatiflerin WASPAS Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Ülkelerin altyapı performanslarını WASPAS yöntemiyle değerlendirmek için Entropi yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, başlangıç karar matrisine entegre edilmiş ve Tablo 10'da sunulan birleştirilmiş karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 10. Birleştirilmiş Karar Matrisi

Ülke/Kriter	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
w_j	0,0744	0,3758	0,2259	0,1225	0,0047	0,1896	0,0012	0,0059
Singapur	899700	134985	9	3500	6,21	91,967	6,76	6,58
İsviçre	784268	854	63	71557	6,41	86,242	6,1	6,53
Kanada	1139676	3483	1467	1042300	4,69	195,172	5,38	3,96
Almanya	3151021	7249	539	625000	4,26	317,789	5,43	5,38
Finlandiya	164700	1151	148	454000	5,43	31,261	5,82	4,66
Japonya	1502930	41726	175	1218772	6,85	985,359	6,46	6,27
Hollanda	1776619	6618	29	139124	5,93	113,341	6,41	6,41
İsveç	390876	1247	231	573134	4,79	51,936	5,46	4,74
Avustralya	658606	2595	418	873573	4,4	196,997	5,59	3,81
Belçika	1109204	9160	41	118414	4,44	36,782	5,22	5,45
Maksimum	3151021	134985	1467	1218772	6,85	985,359	6,76	6,58

Tüm kriterler fayda odaklı olduğundan sadece Eşitlik (18) kullanılarak başlangıç karar matrisi normalize edilmiş ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. WASPAS Yöntemi Normalize Karar Matrisi

Ülke	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Singapur	0,2855	1	0,0061	0,0029	0,9066	0,0933	1	1
İsviçre	0,2489	0,0063	0,0429	0,0587	0,9358	0,0875	0,9024	0,9924
Kanada	0,3617	0,0258	1	0,8552	0,6847	0,1981	0,7959	0,6018
Almanya	1	0,0537	0,3674	0,5128	0,6219	0,3225	0,8033	0,8176
Finlandiya	0,0523	0,0085	0,1009	0,3725	0,7927	0,0317	0,8609	0,7082
Japonya	0,4770	0,3091	0,1193	1	1	1	0,9556	0,9529
Hollanda	0,5638	0,0490	0,0198	0,1142	0,8657	0,1150	0,9482	0,9742
İsveç	0,1240	0,0092	0,1575	0,4703	0,6993	0,0527	0,8077	0,7204
Avustralya	0,2090	0,0192	0,2849	0,7168	0,6423	0,1999	0,8269	0,5790
Belçika	0,3520	0,0679	0,0279	0,0972	0,6482	0,0373	0,7722	0,8283

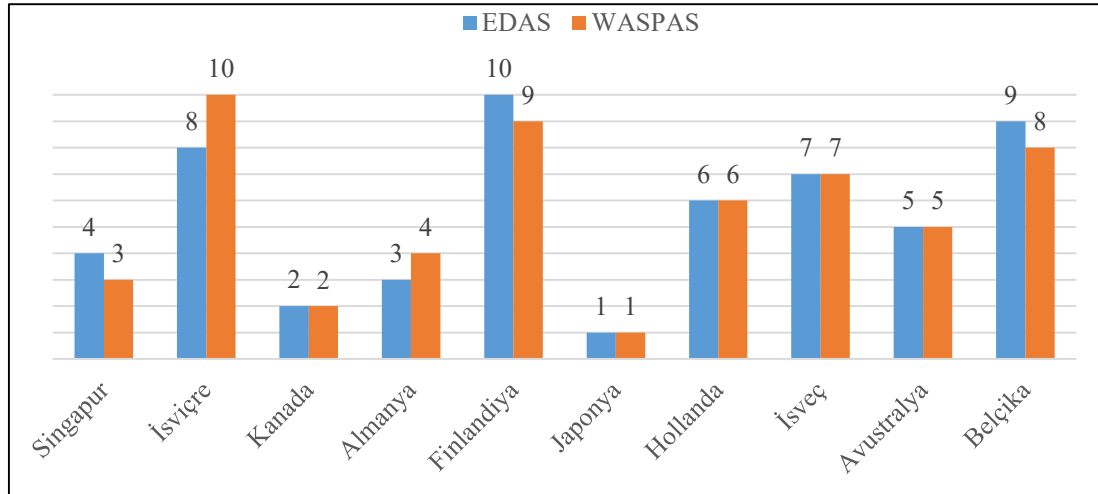
Karar matrisi normalize edildikten sonra Eşitlik (20) ve (21) kullanılarak her bir alternatif için $Q_j^{(1)}$ ve $Q_j^{(2)}$ değerleri hesaplanmıştır. Son adımda ise Eşitlik (22) yardımıyla alternatiflere ilişkin toplam optimalite değerleri (Q_j) hesaplanmış ve alternatifler Q_j değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanmıştır. WASPAS yöntemi sonuçlarına göre, ulaşım altyapı performansı en yüksek olan ülke Japonya'dır. Bu ülkeyi sırasıyla Kanada, Singapur, Almanya, Avustralya, Hollanda, İsveç, Belçika ve Finlandiya izlemektedir. 10 ülke içerisinde ulaşım altyapı performansı en kötü olan ülke ise İsviçre'dir.

Tablo 12. WASPAS Yöntemi Sıralama Sonuçları

Ülke	$Q_j^{(1)}$	$Q_j^{(2)}$	Q_j	Sıra
Singapur	0,4279	0,0897	0,2588	3
İsviçre	0,0657	0,0294	0,0476	10
Kanada	0,4126	0,1684	0,2905	2
Almanya	0,3103	0,1969	0,2536	4
Finlandiya	0,0905	0,0366	0,0636	9
Japonya	0,5021	0,3764	0,4393	1
Hollanda	0,1116	0,0646	0,0881	6
İsveç	0,1244	0,0504	0,0874	7
Avustralya	0,2203	0,1068	0,1635	5
Belçika	0,0859	0,0602	0,0731	8

$Q_j^{(1)}$: Weighted Sum Model, $Q_j^{(2)}$: Weighted Product Model, Q_j : Alternatiflerin optimallik değeri, $\lambda=0.5$

Araştırmada, alternatifleri değerlendirmek için kullanılan EDAS ve WASPAS yöntemlerinin ülkelere ilişkin altyapı performans sıralamasında benzer sonuçlar ortaya koyduğu anlaşılmaktadır. Her iki yöneme göre, Japonya ulaşım altyapı performansı bakımından birinci sırada yer almaktadır. İki yöntemin birbirine yakın değerlendirme sonuçları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. EDAS-WASPAS Sıralama Sonuçları

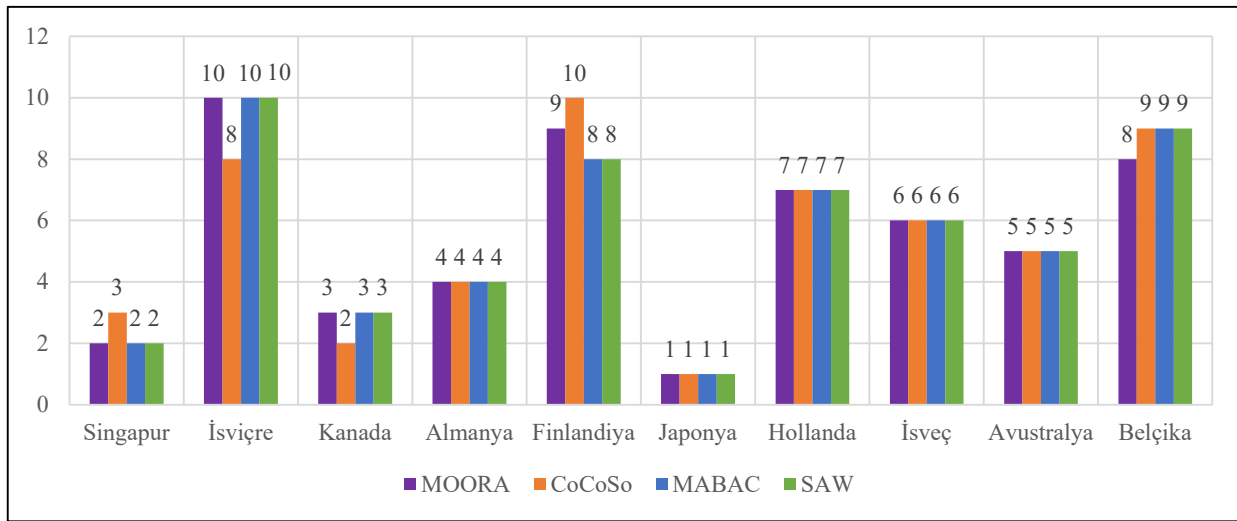
4.4. Duyarlılık Analizi

EDAS ve WASPAS tekniklerinin sıralama sonuçları benzerlik göstermekle birlikte, önerilen modele ilişkin nihai bir değerlendirme yapabilmek için model sonuçlarının güvenilir ve tutarlı olup olmadığını değerlendirmek gerekmektedir. Bu doğrultuda, bu çalışmada iki aşamalı duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, önerilen modelin sonuçları diğer ÇKKV tekniklerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, EDAS ve WASPAS yöntemlerinin sonuçları ile SAW, MABAC, CoCoSo ve MOORA (Oran) tekniklerinin sıralama sonuçları karşılaştırılmıştır. EDAS, WASPAS ve MABAC yöntemlerinin tercih edilmesinin temel nedeni; bu tekniklerin kullanımlarının kolay olması, basit uygulama adımlarının olması ve gerçek yaşam problemlerine uyumunun yüksek olmasıdır (Ecer, 2021: 10). Bununla birlikte, CoCoSo, SAW ve MOORA teknikleri daha az parametre içermekte ve benzer matematiksel adımlara sahiptir (Özcalici, 2022: 80), değinilen avantajlarından dolayı mevcut çalışmada bu yöntemler tercih edilmiştir. Karşılaştırma yapılan dört teknik için Entropi tekniğiyle hesaplanan kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Tablo 13’te diğer ÇKKV tekniklerinin sıralama puanları ve sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 13. Diğer ÇKKV Tekniklerinin Sonuçları

Ülke	SAW		MABAC		CoCoSo		MOORA	
	Skor	Sıra	Skor	Sıra	Skor	Sıra	Skor	Sıra
Singapur	0,1820	2	0,2250	2	4,2508	3	0,3941	2
İsviçre	0,0280	10	-0,1399	10	1,5647	8	0,0476	10
Kanada	0,1755	3	0,2042	3	4,4001	2	0,3274	3
Almanya	0,1320	4	0,1057	4	3,4618	4	0,2411	4
Finlandiya	0,0385	8	-0,1197	8	1,5037	10	0,0618	9
Japonya	0,2136	1	0,3047	1	5,2118	1	0,4076	1
Hollanda	0,0475	7	-0,0930	7	2,0150	7	0,0833	7
İsveç	0,0529	6	-0,0861	6	2,0559	6	0,0876	6
Avustralya	0,0937	5	0,0099	5	2,6810	5	0,1638	5
Belçika	0,0365	9	-0,1236	9	1,5221	9	0,0652	8

Tablo 13'teki sonuçlar SAW, MABAC, CoCoSo ve MOORA tekniklerinin sıralama sonuçlarının birinci sıradaki ülke açısından EDAS ve WASPAS yöntemlerinin sıralama sonuçları ile aynı olduğunu ortaya koymaktadır. Önerilen modelde yer alan iki teknik ve diğer dört teknik açısından birinci sırada yer alan ülke Japonya'dır. Ayrıca SAW, MABAC ve MOORA tekniklerine göre İsviçre son sırada (10. sıra) yer alırken CoCoSo tekniğine göre son sırada yer alan ülke Finlandiya'dır. Şekil 3'te SAW, MABAC, CoCoSo ve MOORA tekniklerinin sıralama sonuçlarındaki değişimler gösterilmiştir.



Şekil 3. Diğer ÇKKV Tekniklerinin Karşılaştırılması

EDAS ve WASPAS teknikleri ile diğer ÇKKV yöntemlerinin sıralama sonuçlarının bütün alternatifler açısından tümüyle aynı olması beklenmemekle birlikte, tespit edilen sıralama farklılıkları arasındaki korelasyonu incelemek önemlidir. Bu doğrultuda, Spearman sıra korelasyon analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. Spearman Sıra Korelasyon Analizi Sonuçları

Yöntem	MOORA	CoCoSo	EDAS	WASPAS	MABAC	SAW
MOORA	1					
CoCoSo	0,952	1				
EDAS	0,915	0,976	1			
WASPAS	0,976	0,952	0,952	1		
MABAC	0,988	0,939	0,903	0,964	1	
SAW	0,988	0,939	0,903	0,964	1	1

Tablo 14'teki sonuçlar, EDAS ve WASPAS teknikleri ile karşılaştırılan diğer ÇKKV yöntemleri arasında pozitif yönlü ve güçlü korelasyonlar olduğunu ortaya koymaktadır. EDAS yöntemiyle en yüksek korelasyon gösteren teknik CoCoSo iken en düşük korelasyon gösteren teknikler SAW ve MABAC'dır. WASPAS yöntemiyle korelasyonu en yüksek olan yöntem MOORA iken en düşük korelasyona sahip teknik ise COCoSo'dur. Teknikler arasındaki yüksek korelasyon, bütün alternatiflerin sıralamaları dikkate alındığında, tekniklerin sıralama sonuçlarının yüksek oranda benzer olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu sonuçlar EDAS ve WASPAS dışında diğer ÇKKV tekniklerine göre elde edilen sıralama sonuçlarının güvenilirliğinin ve tutarlılığının yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

ÇKKV problemlerinde çeşitli yöntemler kullanılabilir ancak sıralama sonuçları her zaman aynı olmayabilir. Bu gibi durumlarda, Borda sayımı gibi çeşitli entegrasyon yöntemleri, sonuçları birleştirmek ve problemi tek bir sonuca indirgemek için yararlı karar verme araçlarıdır (Ecer, 2021: 9). Bu doğrultuda, duyarlılık analizinin ikinci aşamasında alternatiflerin değerlendirildiği altı tekniğin (EDAS, WASPAS, SAW, MABAC, CoCoSo, MOORA) sıralama sonuçlarında entegrasyonu sağlamak ve karar problemine ilişkin tek bir sonuca ulaşmak için Borda sayımı yönteminden yararlanılmıştır. Yöntemin kullanılmasındaki temel amaç, değerlendirme sürecinin ve dolayısıyla sıralama sonuçlarının sağlamlığını artırmaktır. Bu yöntem, en bilinen veri birleştirme yöntemlerinden birisidir ve 1700'lü yılların sonlarında Borda tarafından ortaya atılmıştır (Ecer, 2021: 6). Tablo 15'te Borda sayımı yönteminin değerlendirme sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 15. Borda Sayımı Yönteminin Sonuçları

Ülke	Borda Sayımı	
	Skor	Sıra
Singapur	44	3
İsviçre	4	10
Kanada	45	2
Almanya	37	4
Finlandiya	6	9
Japonya	54	1
Hollanda	20	7
İsveç	22	6
Avustralya	30	5
Belçika	8	8

Borda sayımı yönteminin sonuçlarına göre EDAS, WASPAS, SAW, MABAC, CoCoSo ve MOORA yöntemlerinde olduğu gibi Japonya'nın birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Son sırada yer alan ülke ise WASPAS, SAW, MABAC ve MOORA yöntemlerinde olduğu gibi İsviçre'dir. Borda sayımı yöntemine göre Japonya'yı sırasıyla Kanada, Singapur, Almanya, Avustralya, İsveç, Hollanda, Belçika ve Finlandiya takip etmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen performans değerlendirme modeli, karar vericilerin ülkeleri değerlendirirken güvenilir ve tutarlı kararlar almalarına yardımcı olabilir.

5. Tartışma

Ulaşım altyapısının değerlendirilmesi, bir ülkenin ekonomik, sosyal ve kültürel dinamiklerinin anlaşılmasının ayrılmaz bir parçasıdır. Günümüzün küresel ortamında, Lojistik Performans Endeksi bir ülkenin ulaşım altyapısı performansını ölçmek için önemli bir araç olarak hizmet vermektedir. Ancak, LPI metodolojisine ilişkin iki temel endişe ortaya çıkmıştır: Kriterlerin eşit ağırlıklandırılması ve anket yönteminin öznel niteliği. Bu endişeleri ele alan bu çalışma, entegre Entropi-EDAS ve Entropi-WASPAS yaklaşımlarını kullanan bir performans değerlendirme modeli sunmaktadır. LPI

altyapı puanına göre ilk 10 ülkeye odaklanan çalışma, ulaşım altyapısı performansının daha objektif ve detaylı şekilde değerlendirmesini sunmayı amaçlamaktadır. Araştırmanın sonuçları, farklı kriterlerin göreceli önemi hakkında değerli bilgiler vermektedir. Özellikle, Filo Büyüklüğü en etkili faktör olarak ortaya çıkmakta ve bir ülkenin ulaştırma kaynaklarının ölçeği ve verimliliğinin önemini vurgulamaktadır. Bu bulgu, iyi yönetilen ve kapsamlı bir filonun güçlü ulaştırma altyapısına önemli ölçüde katkıda bulunduğu yönündeki yaygın anlayışla örtüşmektedir. Bununla birlikte, mevcut araştırmanın bulguları benzer çalışmaların sonuçları ile farklılık göstermektedir. Örneğin; Bouraima vd.'ne (2023) göre, demiryolu altyapısının gelişimine etki eden en önemli faktör, mali kaynakların yetersizliğidir. Yang vd. (2023), karayolu altyapılarının ara bağlantı performansını etkileyen en kritik faktörün yönetim/devlet önlemleri olduğunu, en az önemli kriterin ise hizmet gecikmesi olduğunu bulgulamışlardır. Liu vd. (2023), dinamiklik, sinerji ve politika gibi önemli dayanıklılık özelliklerinin yeni kriterler olarak ulaşım sistemi performans dayanıklılık değerlendirme kriterleri sistemine yeni kriterler eklemektedir. Nassereddine ve Eskandari (2017), toplu taşıma altyapı performansı için en uygun kriterin elverişlilik olduğunu tespit etmişlerdir.

Buna karşılık, Hava Taşımacılığı Hizmetlerinin Verimliliği, genel ulaştırma altyapısı performansının belirlenmesinde en önemsiz kriter olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, ulusal ulaştırma stratejilerindeki önceliklerin yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Hava taşımacılığı önemini korurken, çalışma, özellikle ulaşım ağının genel büyüklüğü ve verimliliğiyle ilgili olanlar olmak üzere diğer faktörlere vurgu yapılmasının daha önemli gelişmeler sağlayabileceğini öne sürmektedir. Değerlendirmenin bir diğer önemli sonucu, Japonya'nın ulaşım altyapısı performansı açısından lider ülke olarak belirlenmesidir. Bu durum, önerilen Entropi-EDAS ve Entropi-WASPAS yaklaşımlarının en iyi performans gösteren ülkeler arasındaki farklılıkları ayırt etmedeki etkinliğini vurgulamaktadır. Japonya'nın öne çıkması, kapsamlı ve iyi yönetilen bir ulaştırma sisteminin önemini vurgulamakta ve küresel standartlarla uyumlu sağlam bir altyapıyı sürdürme konusundaki kararlılığını teyit etmektedir.

Mevcut çalışmada, ülkelere ilişkin sıralama sonuçlarının güvenilirliğini ve tutarlılığını artırmak amacıyla iki aşamalı duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, EDAS ve WASPAS yöntemlerinin sıralama sonuçları SAW, MABAC, CoCoSo ve MOORA tekniklerinin sıralama sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, kullanılan altı tekniğe göre birinci sırada yer alan ülke olan Japonya açısından önerilen modelin sonuçlarındaki tutarlılığı ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, kullanılan bazı teknikler açısından Japonya dışındaki diğer ülke sıralamalarının farklı olduğu görülmüştür. Bu kapsamda, çeşitli ÇKKV tekniklerinin farklılaşan sıralama sonuçlarını birleştirmek ve ülkelere ilişkin nihai bir performans sıralaması elde etmek amacıyla veri birleştirme tekniklerinden Borda sayımı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin sıralama sonuçlarına göre, ulaşım altyapı performansı bakımından birinci sırada yer alan ülke Japonya'dır. Performansı en düşük olan ve son sırada yer alan ülke ise İsviçre'dir. Bu bulgular, çalışmada önerilen performans değerlendirme modelinin sonuçlarının tutarlılığının iki aşamalı duyarlılık analiziyle artırıldığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma LPI ile ilgili temel endişeleri gideren metodolojik bir iyileştirme sunarak ulaşım altyapısı değerlendirme probleminde önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Kriterlerin önemine ve en iyi performans gösteren ülkelerin belirlenmesine ilişkin bulgular, ulusal ulaşım ağlarını geliştirmek isteyen politikacılar ve paydaşlar için değerli bir rehberlik sağlamaktadır. Ülkeler altyapı geliştirmeye öncelik vermeye devam ederken, bu çalışmanın bulguları ulaşım alanında daha bilinçli karar alma ve stratejik planlama için bir temel sunmaktadır.

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ülkelerin ulaşım altyapı performanslarını değerlendirmek amacıyla birçok kriterli karar verme modeli önerilmiştir. Bu doğrultuda, 2023 yılında yayımlanan Lojistik Performans Endeksinde altyapı kriteri bakımından en yüksek puana sahip 10 ülke ulaşım altyapısı açısından değerlendirilmiştir. Ülkeler, tümü fayda odaklı olan toplam 8 kritere göre değerlendirilmiştir. Kriter

ağırlıkları Entropi yöntemiyle belirlenirken ülkeler EDAS ve WASPAS yöntemlerine göre sıralanmıştır. Entropi yönteminin sonuçları, en önemli kriterin Filo Büyüklüğü, en az öneme sahip kriterin ise Hava Taşımacılığı Hizmetlerinin Verimliliği olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma, ülkelerin altyapı performansını değerlendirmek için kullanılan EDAS ve WASPAS yöntemlerinin benzer sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir. Hem EDAS hem de WASPAS yöntemlerine göre, Japonya ulaşım altyapı performansı açısından birinci sıradadır. Ayrıca SAW, MABAC, CoCoSo ve MOORA teknikleriyle ülkelerin sıralanması ve Borda sayımı yöntemiyle ülkelere ilişkin nihai bir sıralamanın elde edilmesi şeklinde iki aşamalı duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda, çalışmada önerilen değerlendirme modelinin oldukça güvenilir ve tutarlı sonuçlar sunduğu anlaşılmıştır. Önerilen performans değerlendirme modeli, kriter ağırlıklarını objektif bir şekilde belirleyebilme ve aynı anda birden fazla ÇKKV tekniğini birlikte kullanabilme bakımından oldukça avantajlıdır.

Araştırmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. Veri setinde homojenliği sağlayabilmek amacıyla 2023 yılı LPI altyapı kriteri bakımından yalnızca ilk 10'da yer alan ülkeler incelenmiştir. Önerilen model kapsamında gelişmiş ülkeler, G-7 ülkeleri, G-20 ülkeleri ve Avrupa Birliği ülkeleri değerlendirilebilir. Kritik ağırlıkları, CRITIC yöntemi gibi diğer objektif kriter belirleme yöntemleri ile hesaplanabilir. Çalışmada, tümü fayda yönlü 8 kriter kullanılmış olup sonraki araştırmalarda ihracat/ithalat için teslim süresi gibi maliyet yönlü kriterler de kullanılabilir. Önerilen değerlendirme modeli, finansal performans, sürdürülebilirlik performansı, enerji verimliliği gibi farklı performans değerlendirme problemleri için kullanılabilir.

Kaynaklar

- Ayçin, E. ve Orçun, Ç. (2019). Mevduat bankalarının performanslarının entropi ve mairca yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Balikesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(42), 175-194. <https://doi.org/10.31795/baunsobed.657002>
- Blumenfeld, M., Wemakor, W., Azzouz, L. ve Roberts, C. (2019). Developing a new technical strategy for rail infrastructure in low-income countries in sub-Saharan Africa and south Asia. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16): 4319. <https://doi.org/10.3390/su11164319>
- Bouraima, M. B., Saha, A., Stević, Ž., Antucheviciene, J., Qiu, Y. ve Marton, P. (2023). Assessment actions for improving railway sector performance using intuitionistic fuzzy-rough multi-criteria decision-making model. *Applied Soft Computing*, 148: 110900. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110900>
- Champagne, M. P. ve Dubé, J. (2023). The impact of transport infrastructure on firms' location decision: A meta-analysis based on a systematic literature review. *Transport Policy*, 131, 139-155. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.11.015>
- De Bartolomeo, D., Renzi, E., Tamasi, G., Palermo, G. ve Di Nucci, F. (2023). The Italian risk-based approach for the development of an integrated safety management system for road infrastructures and its relations with innovative guidelines on the risk management of existing bridges. *Transportation Research Procedia*, 69, 886-893. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.249>
- Deveci, M., Canitez, F. ve Gökaşar, I. (2018). Waspas and topsis based interval type-2 fuzzy mcdm method for a selection of a car sharing station. *Sustainable Cities and Society*, 41, 777-791. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.034>
- Ecer, F. (2021). A consolidated MCDM framework for performance assessment of battery electric vehicles based on ranking strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143: 110916. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110916>
- Eghbali-Zarch, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Dehghan-Sanej, K. ve Kaboli, A. (2022). Prioritizing the effective strategies for construction and demolition waste management using fuzzy idocriw and waspas methods. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(3), 1109-1138. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2020-0617>

- George, T. B., Mokoena, R. ve Rust, F. C. (2018). A review on the current condition of rail infrastructure in South Africa. *37th Annual Southern African Transport Conference (SATC 2018)*, 496–507.
- Hafezalkotob, A. ve Hafezalkotob, A. (2015). Extended multimora method based on shannon entropy weight for materials selection. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s40092-015-0123-9>
- Hussain, Z., Hanif, N., Shaheen, W. A. ve Nadeem, M. (2019). Empirical analysis of multiple infrastructural covariates: An application of gravity model on asian economies. *Asian Economic and Financial Review*, 9(3), 299-317. <https://doi.org/10.18488/journal.aefr.2019.93.299.317>
- Ijadi Maghsoodi, A., Abouhamzeh, G., Khalilzadeh, M. ve Zavadskas, E. K. (2018). Ranking and selecting the best performance appraisal method using the multimora approach integrated shannon's entropy. *Frontiers of Business Research in China*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s11782-017-0022-6>
- Inti, S. ve Tandon, V. (2017). Application of fuzzy preference–analytic hierarchy process logic in evaluating sustainability of transportation infrastructure requiring multicriteria decision making. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000373](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000373)
- Kadyraliev, A., Supaeva, G., Bakas, B., Dzholdosheva, T., Dzholdoshev, N., Balova, S., Tyurina, Y. ve Krinichansky, K. (2022). Investments in transport infrastructure as a factor of stimulation of economic development. *Transportation Research Procedia*, 63, 1359-1369. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.146>
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. ve Antucheviciene, J. (2017). Stochastic edas method for multi-criteria decision-making with normally distributed data. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 33(3), 1627-1638. <https://doi.org/10.3233/JIFS-17184>
- Korinek, J. ve Sourdin, P. (2010). Clarifying trade costs: Maritime transport and its effect on agricultural trade. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 32(3), 417-435. <https://doi.org/10.1093/aep/ppq007>
- Kundakcı, N. (2019). An integrated method using macbeth and edas methods for evaluating steam boiler alternatives. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 26(1-2), 27-34. <https://doi.org/10.1002/mcda.1656>
- Liu, A., Li, Z., Shang, W. L. ve Ochieng, W. (2023). Performance evaluation model of transportation infrastructure: perspective of covid-19. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 170: 103605. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103605>
- Mao, H., Cui, G., Hussain, Z. ve Shao, L. (2024). Investigating the simultaneous impact of infrastructure and geographical factors on international trade: Evidence from Asian economies. *Heliyon*, 10(1): e23791. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23791>
- Mitra, A. (2022). Selection of cotton fabrics using edas method. *Journal of Natural Fibers*, 19(7), 2706-2718. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1821289>
- Nassereddine, M. ve Eskandari, H. (2017). An integrated mcdm approach to evaluate public transportation systems in Tehran. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, 427-439. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.10.013>
- Ozcalici, M. (2022). Asset allocation with multi-criteria decision making techniques. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 5(2), 78-119. <https://doi.org/10.31181/dmame0305102022o>
- Pisa, N. M. (2021). Innovations to improve rail freight efficiency: Considerations for emerging economies. *Journal of Contemporary Management*, 18(1), 223–242. <https://doi.org/10.35683/jcm20093.103>
- Popova, Y. (2017). Relations between wellbeing and transport infrastructure of the country. *Procedia Engineering*, 178, 579-588. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.112>
- Rehman, F. U., Islam, M. M., Miao, Q. ve Metwally, A. S. M. (2023). Does transport infrastructure make south asian economies growth more inclusive? An application of a new transportation

- infrastructure index. *Research in Transportation Business and Management*, 49: 101013
<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2023.101013>
- Rezaei, J., van Roekel, W. S. ve Tavasszy, L. (2018). Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using best worst method. *Transport Policy*, 68, 158-169.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.007>
- Saidi, S., Shahbaz, M. ve Akhtar, P. (2018). The long-run relationships between transport energy consumption, transport infrastructure, and economic growth in mena countries. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 111, 78-95. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.03.013>
- Sergi, B. S., D'Aleo, V., Arbolino, R., Carlucci, F., Barilla, D. ve Ioppolo, G. (2020). Evaluation of the italian transport infrastructures: A technical and economic efficiency analysis. *Land Use Policy*, 99: 104961. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104961>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423. <https://doi.org/10.1145/584091.584093>
- Skorobogatova, O. ve Kuzmina-Merlino, I. (2017). Transport infrastructure development performance. *Procedia Engineering*, 178, 319-329.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.056>
- Sowmya Dhanalakshmi, C., Madhu, P., Karthick, A., Mathew, M. ve Vignesh Kumar, R. (2022). A comprehensive mcdm-based approach using topsis and edas as an auxiliary tool for pyrolysis material selection and its application. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 5845-5860.
<https://doi.org/10.1007/s13399-020-01009-0>
- Stenström, C. (2012). *Link and effect model for performance improvement of railway infrastructure*. Lulea University of Technology.
- Yang, B., Wu, G. ve Yuan, H. (2023). Evaluating the interconnection performance of cross-regional road infrastructures based on an integrated micro-pattern approach with fuzzy linguistic operators. *Advanced Engineering Informatics*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102039>
- Yazdani, M., Torkayesh, A. E., Santibanez-Gonzalez, E. D. ve Otaghsara, S. K. (2020). Evaluation of renewable energy resources using integrated shannon entropy—edas model. *Sustainable Operations and Computers*, 1, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2020.12.002>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antuchevičienė, J. ve Zakarevičius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Electronics & Electrical Engineering*, 6(12), 3-6. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>
- Zhang, Y. ve Cheng, L. (2023). The role of transport infrastructure in economic growth: Empirical evidence in the UK. *Transport Policy*, 133, 223-233.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.01.017>