

## Dijital hazırlık performans değerlendirmesi: Bütünleşik LOGSTA-AROMAN yaklaşımı uygulaması

### Performance evaluation for digital readiness: An application of the integrated LOGSTA-AROMAN approach

Tayfun Öztaş<sup>1</sup> 

Gülin Zeynep Öztaş<sup>2</sup> 

#### Öz

Dijitalleşme, beraberinde getirdiği dijital dönüşüm ile küresel ekonomik büyümeye katkı sağlayarak refah artışına yol açmaktadır. Bu nedenle, ülkeler artan rekabet ortamında rakiplerinin gerisinde kalmamak ve dijital hazırlık düzeylerini artırmak için stratejik planlamalar ve önemli yatırımlar yapmaktadır. Bu yatırımlar, sıklıkla kamu-özel ortaklıkları yoluyla gerçekleştirilir ve tarafların yetkinliklerinden faydalanmayı gerektirir. Böylelikle ülkeler kapsayıcı bir yaklaşımla dijital teknolojilerin herkes tarafından erişilebilir olmasını, bireylerin ve işletmelerin yetkinliklerinin artmasını hedeflemektedir. Bu çalışma, ülkelerin dijital hazırlık performanslarını karşılaştırmalı bir analizle değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, Portulans Institute tarafından yayımlanan Ağ Hazırlık Endeksi (Network Readiness Index – NRI) verileri kullanılarak Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgesi ülkeleri ile Türkiye’yi kapsayan bir analiz yapılmıştır. Benimsenen yaklaşım dört aşamaya sahiptir. İlk aşamada LOGSTA yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlenmiş olup, ikinci aşamada AROMAN yöntemiyle ülkeler sıralanmıştır. Önerilen LOGSTA-AROMAN yaklaşımının parametre değerindeki ve kriter ağırlıklarındaki değişime olan duyarlılığı incelemek için üçüncü aşamada duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise önerilen yaklaşımın ortaya koyduğu sonuçların güvenilirliğini incelemek için TOPSIS, WASPAS, MARCOS, MABAC ve RAWEC yöntemleriyle karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları, dijital hazırlık performansı üzerinde en önemli kriterin “İnsan” (0,2887); en düşük önemli kriterin ise “Etki” (0,1880) olduğunu göstermektedir. Sıralama sonuçları, en iyi performans gösteren ülkenin K5, en düşük performansı gösteren ülkenin ise K14 olduğunu ortaya koymaktadır. Duyarlılık analizi, önerilen yaklaşımın parametre ve kriter ağırlıklarındaki değişime karşı dirençli olduğunu ortaya koyarken, karşılaştırmalı analiz ise LOGSTA-AROMAN yönteminin diğer yöntemlerle yaklaşık olarak %99,3’ün üzerinde korelasyonla sonuçların güvenilirliğini doğrulamaktadır. Son olarak, sonuçlar yorumlanarak politika önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Dijitalleşme, Dijital Hazırlık, LOGSTA, AROMAN

**Jel Kodları:** C44, O33

#### Abstract

Digitalisation increases welfare by contributing to global economic growth through digital transformation. Therefore, countries prepare strategic plans and make significant investments to avoid falling behind competitors and enhance their digital readiness in an increasingly competitive environment. These investments are frequently carried out through public-private partnerships and require the utilisation of competencies from the involved parties. Thus, countries aim to make digital technologies accessible to everyone through an inclusive approach and to increase people's and businesses' competencies. This study aims to evaluate the digital readiness performance of selected countries through a comparative analysis. In this respect, an analysis was conducted including MENA region countries and Türkiye using the Network Readiness Index (NRI) data published by the Portulans Institute. The proposed approach consists of four stages. In the first stage, the weights of criteria were determined using the LOGSTA method, whereas countries were ranked using the AROMAN method in the second stage. In the third stage, the sensitivity of the proposed LOGSTA-AROMAN approach to changes in parameter values and criteria weights was investigated. In the last stage, a comparative analysis was conducted using TOPSIS, WASPAS, MARCOS, MABAC, and RAWEC methods to reveal the reliability of the LOGSTA-AROMAN approach. The results show that "People" is the most important criterion (0.2887), whereas "Impact" is the least important criterion (0.1880). The ranking results indicate that K5 is the best-performing country, whereas K14 has the lowest performance. The sensitivity analysis revealed that the LOGSTA-AROMAN approach is robust to changes in parameter values and criteria weights. In contrast, the comparative analysis verified its reliability, with correlations above approximately 99.3% with other methods. Finally, the results were evaluated, and policy recommendations were made.

**Keywords:** Digitalisation, Digital Readiness, LOGSTA, AROMAN

**Jel Codes:** C44, O33

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, [toztas@pau.edu.tr](mailto:toztas@pau.edu.tr)

ORCID: 0000-0001-8224-5092

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, [gzeynepa@pau.edu.tr](mailto:gzeynepa@pau.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-6901-6559

#### Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Gülin Zeynep Öztaş,  
Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye,  
[gzeynepa@pau.edu.tr](mailto:gzeynepa@pau.edu.tr)

**Başvuru/Submitted:** 1/01/2026

**Revizyon/ Revised:** 20/02/2026

**Kabul/Accepted:** 5/03/2026

**Yayın/Online Published:** 25/03/2026

**Atf/Citation:** Öztaş T., & Öztaş G.Z.,  
Dijital hazırlık performans  
değerlendirmesi: Bütünleşik LOGSTA-  
AROMAN yaklaşımı uygulaması, bmij  
(2026) 14 (1): 194-214, doi:  
<https://doi.org/10.15295/bmij.v14i1.2694>

## Extended Abstract

### Performance evaluation for digital readiness: An application of the integrated LOGSTA-AROMAN approach

#### Literature

Digitalisation refers to the emergence of new activities or the transformation of existing ones using data and digital technologies. Digital transformation, on the other hand, refers to the economic and social impacts of digitalisation (OECD, 2019a). A country's competitiveness can be measured through various indices that assess its level of digitalisation readiness across different dimensions. The Network Readiness Index-NRI (Portulans Institute, 2024), the World Digital Competitiveness Ranking (IMD World Digital Competitiveness Ranking, 2024), the Digital Adaptation Index (World Bank, 2016), the Digital Readiness Index (Cisco, 2025), and the Government AI Readiness Index (Oxford Insights, 2025) are indices developed for this purpose in the literature. As stated in the NRI report, these indices serve as a compass for countries undergoing digital transformation (Portulans Institute, 2024). However, the performance rankings presented by these indices must be objective and reliable. Often, the dimensions considered in the indices are evaluated based on equal weights or subjective expert opinions. Different methodologies are needed to eliminate this assumption and make performance rankings data-driven. A detailed literature review reveals that the NRI, along with various digitalisation indicators, has been examined in relation to macroeconomic outcomes such as sustainable development (Košíková and Vašaničová, 2025; Jemović et al., 2025), economic development (Bhimani et al., 2022; Silva et al., 2022), social development (Silva et al., 2022), innovation level (Sati, 2024), and the knowledge economy (Gupta et al., 2022; Bilan et al., 2023; Tran et al., 2023). Simultaneously, the impact of restrictions on data trading on IT service exports (Gupta et al., 2022) and their connection to digitalisation phenomena such as cryptocurrency adoption (Bhimani et al., 2022) and Industry 5.0 (Valaskova et al., 2025) have been investigated. Beyond these studies, digital readiness performance analyses have been conducted specifically for European Union countries (Afonasova et al., 2019; Bilan et al., 2023; Košíková and Vašaničová, 2025; Valaskova et al., 2025), member states (Sati, 2024), OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) countries (Arıkan Kargı, 2022), and G20 countries (Altıntaş, 2021). The assumption of equal weighting for indicators within the indices has been questioned, and alternative approaches have been proposed. Differences in countries' performance rankings across indices have been examined, leading to the conclusion that each index focuses on distinct core issues. Methodologies employed in these studies have included regression analysis, panel data analysis, clustering, multi-criteria decision-making (MCDM) (Entropy, TOPSIS-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, VIKOR-Vice Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, CRITIC- Criteria Importance Through Intercriteria Correlation, ARAS-Additive Ratio Assessment), LASSO (Least Absolute Shrinkage And Selection Operator), Bayesian Belief Network, and DEA. Regarding studies on network readiness performance, MCDM-based methods appear limited. This situation points to a need for more comprehensive analyses using different MCDM methods in performance rankings. Therefore, it is believed that the findings from examining the digital readiness performance of Turkey and selected Middle East and North Africa (MENA) countries using the LOGSTA (Logarithmic Normalisation and Standard Deviation) and AROMAN (Alternative Ranking Order Method Accounting for Two-Step Normalisation) methods contribute to the literature.

#### Research subject

This study investigates the digital readiness performance of Türkiye and selected MENA countries using Network Readiness Index data.

#### Research purpose and importance

The purpose of this study is to present a decision-making tool that provides robust rankings of Türkiye and selected MENA countries based on their digital readiness.

#### Contribution of the article to the literature

This study stands out as the first to examine the digital readiness performance of Türkiye and MENA countries using NRI data. Furthermore, this study is unique in being the first-ever combined application of the LOGSTA and AROMAN methods in this field. Therefore, it presents findings that contribute to the literature across application areas, sample selection, and methodology.

#### Design and method

An integrated multi-criteria decision-making approach was implemented. LOGSTA was used to calculate the objective weights for the criteria, and AROMAN was applied to rank countries based on their digital-readiness performance. The reliability and robustness of the solutions were demonstrated by conducting a comprehensive sensitivity and comparative analysis.

#### Research type

Research Article

#### Research problems

This study, motivated by the need for indicators with different weightings, aimed to address the following research question: *i.* What are the objective significance levels of indicators measuring digital readiness performance? *ii.* What are the digital readiness performance levels of Türkiye and the MENA countries? *iii.* Is the performance of countries sensitive to different weighting sets? *iv.* Are the country performance rankings reliable?

#### Data collection method

Network Readiness Index data prepared by Portulans Institute (2024) was utilised as a dataset.

#### Quantitative/qualitative analysis

Quantitative analyses were conducted using the integrated multi-criteria decision-making methods LOGSTA and AROMAN.

#### Research model

This study utilised a four-stage approach to answer research questions and to evaluate countries' digital readiness performance. First, the criteria weights were determined using the LOGSTA method. Using these weight values, countries were ranked

according to their performance in the second stage using the AROMAN method. In the third stage, a sensitivity analysis was conducted to examine the sensitivity of the LOGSTA-AROMAN approach to changes in parameter and criterion weights; to ensure the reliability of the results, a comparative analysis was performed in the fourth stage using the TOPSIS (Hwang and Yoon, 1981), WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) (Zavadskas et al., 2012), MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking According to Compromise Solution) (Stević et al., 2020), MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) (Pamučar and Čirović, 2015) and RAWEC (Ranking of Alternatives with Weights of Criterion) (Puška et al., 2024) methods, which are widely adopted in the literature.

## Findings and discussion

### Findings as a result of the analysis

To answer the first two research questions within the scope of the analysis, criterion weights were objectively determined using the LOGSTA method, one of the most current MCDM methods. The findings showed that the people dimension and governance conditions are more decisive in countries' digital readiness performance, followed by the technology dimension. In contrast, the impact dimension is less important. Subsequently, countries' performance was ranked using the AROMAN method. Therefore, a data-driven ranking framework was developed using indicators with objective weights, as an alternative to the equal-weighting assumption in the NRI report. According to the ranking results, Israel, the United Arab Emirates, Saudi Arabia, Qatar, and Oman are in the top five. It was observed that a significant portion of these prominent countries is from the Gulf region. Digital infrastructure investments in the region showed that the transformation effect is spreading. Türkiye ranked sixth, followed by these countries. This result indicates that Türkiye performs well in the people and governance dimensions but still has areas for improvement in the technology and impact dimensions. In contrast, countries such as Tunisia, Algeria, and Yemen performed poorly. This can be interpreted as a consequence of these countries' poor performance across all dimensions. A comprehensive sensitivity analysis and comparative analysis were conducted to answer the third and fourth research questions. The sensitivity analysis examined how the rankings of countries varied when the  $\beta$  parameter in the LOGSTA method took different values and when ten different weighting sets were considered. The results of the sensitivity analysis showed that the LOGSTA-AROMAN ranking was robust across different weighting sets and  $\beta$  parameter values. In addition, to demonstrate that the ranking results are method-independent and robust, the rankings were recalculated using the TOPSIS, WASPAS, MARCOS, MABAC, and RAWEC methods. This analysis showed that the LOGSTA-AROMAN results are consistent with alternative methods. It was observed that the best- and worst-performing countries exhibited a stable structure, independent of the method. The high level of consistency of the ranking results was proven by Spearman correlation coefficients (0.9929-1.000).

## Conclusion, recommendation and limitations

### Limitations of the article

Overall, this study, which measures digital readiness in Türkiye and selected MENA countries, makes significant contributions to the literature through its application and methodology. By highlighting the criteria that countries seeking to improve their digital readiness should focus on, the study offers an opportunity to analyse their current situation in comparison to other countries. While providing important findings, the study also has several limitations. The findings are based solely on data presented within the scope of the NRI. Furthermore, the ranking results provide a relative ranking within the group of countries considered in the study. Therefore, the results may change with the addition of different countries to the sample. Additionally, the fact that all criteria in the dataset are utility-oriented is a limitation, particularly for the AROMAN method. For future studies, a time dimension can be added to performance rankings. Furthermore, datasets containing different indicators for calculating countries' digital readiness performance can be analysed using objective weighting methods. Additionally, sensitivity analyses can be conducted across different indices to compare their sensitivities.

## Giriş

Dijital teknolojilerdeki hızlı gelişmeler, ülkelerin ve kurumların dijital dönüşüm ihtiyaçlarını görünür hale getirmektedir. Dijitalleşme, veri ve dijital teknolojilerin kullanımı ile yeni faaliyetlerin ortaya çıkmasını veya mevcut faaliyetlerin değişimini ifade eder. Dijital dönüşüm ise, dijitalleşmenin ekonomik ve toplumsal etkilerini ifade etmektedir (OECD, 2019a). Vial (2019) tarafından ifade edildiği gibi dijital dünyada rekabet gücünü koruyabilmek için teknoloji yalnızca bütünün bir parçasını oluşturmaktadır ve dönüşüm için teknolojinin yanı sıra strateji, organizasyon yapısı, süreçler ve kültür gereklidir. Dünya Bankası, dijital dönüşümü kapsayıcı internet erişimi, dijital beceriler ve dijital platformlar gibi bileşenlerin kamu iş birliği ile güçlenen bir bütün olarak tanımlamaktadır (World Bank, 2025).

Toplumlar ve endüstriler dijitalleşme yolunda sürekli ilerleme kaydetmektedir. Dolayısıyla daha kapsayıcı bir dijital ekonominin yaratılarak hızla ilerleme kaydedilebilmesi için iş birlikleri, güçlü politikalar ve devam eden yatırımlar gerekmektedir. Ülkeler dijital dönüşüm aşamasında kamu-özel sektör iş birliklerini önceliklendirerek, iş dünyası ile kamu sektörünün bilgi birikimlerini, kaynaklarını ve yetkinliklerini bir araya getirebildiği sürece, dijital dönüşüm kapsamında hızlı bir ilerleme kaydedecektir (World Economic Forum, 2023). Portulans Institute (2024) tarafından hazırlanan Ağ Hazırlık Endeksinde (Network Readiness Index - NRI), dijital yarımları inşa etmek için kamu-özel sektör yatırımlarının ve küresel iş birliklerinin önemine değinerek dijital dönüşümde kamu-özel sektör ortaklığına dikkat çekmektedir. Kamu-özel sektör ortaklıkları, kamunun hizmetlerini sunmak ve finanse etmek için ilgili riskleri paylaşmak amacıyla özel sektör ile yaptığı uzun vadeli anlaşmalardır (OECD, 2019b). Dijital teknolojilerin bu iş birliklerine dahil olmasıyla birlikte dijital platformlar, bulut altyapısı, siber güvenlik önlemleri aracılığıyla kamu hizmetlerinin iyileştirilmesine odaklanılmaktadır (Portulans Institute, 2024). Söz konusu hizmetlerin ülkeler tarafından iyileştirilme çabası bir rekabet ortamı da yaratmaktadır. Miškufová vd. (2025), rekabetin dijital dönüşümden sonra yeniden tanımlandığını ve dijital ekonominin ve yenilikçi teknolojilerin küresel rekabet gücünü arttığını ifade etmiştir.

Bir ülkenin dijital rekabet gücü, dijital hazırlık düzeylerinin farklı boyutlarla ölçen çeşitli endeksler aracılığıyla ölçülebilmektedir. Aynı zamanda bu endeksler yardımıyla ülkeler kendi dijital hazırlık durumlarını diğer ülkelerle kıyaslama imkânı da bulabilmektedir. Ayrıca iyi uygulama örnekleri hakkında farkındalıkları artarak kendilerinde olan yeterli veya eksik yönleri tespit edebilmektedir (Arıkan Kargı, 2022). Literatürde bu amaç doğrultusunda geliştirilmiş olan çeşitli endeksler bulunmaktadır. NRI dijital hazırlık performanslarını Teknoloji, İnsan, Yönetişim ve Etki boyutlarıyla ele almaktadır. Bu endeks ile özellikle dijital kamu özel sektör ortaklıklarının dijital hazırlığı nasıl desteklediği, ekonomik büyümeyi nasıl teşvik ettiği ve dünya çapında yaşam kalitesini nasıl iyileştirdiğini incelemektedir (Portulans Institute, 2024). Dünya Rekabet Merkezi tarafından geliştirilen Dünya Dijital Rekabet Sıralaması ülkeleri bilgi, teknoloji ve geleceğe hazırlık faktörleri altında incelemektedir (IMD World Digital Competitiveness Ranking, 2024). Dijital Adaptasyon Endeksi ise Dünya Kalkınma Raporunun bir parçası olarak oluşturulan ülkelerin dijitalleşme seviyelerini insan, hükümet ve işletmeler boyutlarıyla ele alan bir endeks olarak geliştirilmiştir (World Bank, 2016). Cisco (2025) ise dijital hazırlığı temel ihtiyaçlar, insan sermayesi, iş ortamı, yatırım, girişimcilik, teknoloji benimseme ve altyapı bileşenleri üzerinden ölçen dijital hazırlık endeksinin geliştirmiştir. Oxford Insights tarafından ise ülkelerin yapay zekâyı kamu yararı için kullanabilme kapasitesini ölçen Hükümet Yapay Zekâ Hazırlık Endeksi geliştirilmiştir (Oxford Insights, 2025). Bu endeksler NRI raporunda da ifade edildiği gibi dijital dönüşüm sürecinde olan ülkeler için bir pusula görevi görmektedir (Portulans Institute, 2024). Ancak hazırlanan bu endekslerin ortaya koyduğu performans sıralamalarının objektif ve güvenilir olması önem arz etmektedir. Sıklıkla endekslerde ele alınan boyutlar eşit veya subjektif uzman görüşlerine dayanarak elde edilen ağırlıklar kapsamında değerlendirmeye dahil edilmektedir. Bu varsayımı ortadan kaldırmak ve performans sıralamalarını veriye dayalı hale getirmek amacıyla farklı metodolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkelerin dijital hazırlık dinamikleri her boyut için farklı şekillerde temsil edilebilmektedir. Bu nedenle farklı objektif ağırlıklar ile değişen bir önem düzeyi söz konusu olduğunda, ülkelerin performanslarının sağlamlığı ortaya konulmalıdır. Farklı önem düzeylerine sahip göstergeler ile hesaplanan performans sıralamalarının gerçek dünyayı daha iyi yansıtan bulgular sunacağı açıktır.

Çok boyutlu göstergeler ile ölçülen dijital hazırlık performanslarının değerlendirilmesi problemin doğası gereği Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınabilir. Bu çalışma kapsamında göstergelerin farklı ağırlıklara sahip olması gerektiği motivasyonu aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmıştır.

- Dijital hazırlık performansını ölçen göstergelerin önem düzeyleri nelerdir?

- Türkiye ve Orta Doğu-Kuzey Afrika (MENA) ülkelerinin dijital hazırlık performans seviyeleri nasıldır?
- Ülkelerin performansları farklı ağırlık kümelerine karşı duyarlı mıdır?
- Ülkelerin performans sıralamaları güvenilir midir?

Bu araştırma sorularını cevaplandırmak amacıyla, NRI verileri kullanılarak LOGSTA (Logarithmic Normalization and Standard Deviation) yöntemiyle kriterlerin objektif ağırlıkları belirlenmiş, AROMAN (Alternative Ranking Order Method Accounting for Two-Step Normalization) yöntemi ile de bütüncül performans sıralamaları hesaplanmıştır. Bu yöntemlerin tercih edilme sebepleri şu şekilde açıklanabilir: LOGSTA yöntemi, kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olmalarını dikkate alarak hem logaritmadan hem de standart sapmadan faydalanarak verideki ayırt ediciliği ve verinin yayılımını doğrudan kriter ağırlıklarına yansıtabilmektedir. Diğer taraftan, AROMAN yöntemi ise farklı normalizasyon tekniklerini bir araya getirerek, verinin daha kesin bir yaklaşımla normalize edilmesine ve buna dayalı olarak alternatiflerin sıralanmasına odaklanmaktadır. Yöntemlerin kriter ağırlığı belirleme ve sıralamada bu avantajları bir araya getirilerek, bütünsel LOGSTA-AROMAN yaklaşımıyla seçilen ülkeler için dijital hazırlık performansı değerlendirmesinde kullanılmıştır.

Türkiye ve 14 MENA ülkesi dijital hazırlık performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Özellikle kamu-özel ortaklıkları dikkate alındığında Türkiye ve 14 MENA ülkesi dijital altyapı, beceriler ve dijital kamu hizmetleri gibi alanlarda ilerleyen iş birlikleri ve yatırımları, bu örnekleme anlamlı hale getirmiştir. Bu çerçevede bu ülke grubu politika çıkarımlarına temel oluşturabilecek önemli bulgular sağlama potansiyeline sahiptir.

Analiz sonucu elde edilen bulguların güvenilirliği ve sağlamlığının incelenmesi amacıyla kapsamlı duyarlılık ve karşılaştırma analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak duyarlılık analizi iki aşamada yürütülmüştür.

- i. AROMAN yönteminde yer alan  $\beta$  parametresinin farklı değerleri için sıralama sonuçları hesaplanmıştır.
- ii. On farklı senaryo altında farklı ağırlık kümeleri kullanılarak sıralamaların nasıl değiştiği irdelenmiştir.

Elde edilen sıralamaların güvenilirliğini test etmek için ise LOGSTA ile hesaplanan kriter ağırlıkları sabit tutularak ülke performansları literatürde kabul görmüş beş farklı yöntem kullanılarak elde edilmiştir.

Literatürde dijital hazırlık kapsamında yapılan çalışmalar son yıllarda artış göstermektedir. Ancak mevcut çalışmaların önemli bir kısmının dijitalleşmenin makro çıktılarla olan ilişkisine odaklandığı ve sıklıkla Avrupa Birliği, OECD, G20 gibi ülke grupları özelinde değerlendirmelerin yapıldığı görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışma NRI verisi ile Türkiye ve MENA ülkelerinin dijital hazırlık performanslarını literatürde ilk kez ele alan çalışma olmasıyla ön plana çıkmaktadır. Ek olarak, endeks göstergelerinin eşit ağırlığa sahip olduğu varsayımını sorgulayan çalışmaların olmasının yanı sıra, ele alınan ülke grupları özelinde objektif ağırlıklandırma ve sıralama çalışmalarının yaygın olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca dijitalleşme, ağ hazırlık performans ölçümü alanında ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaların sınırlı olması literatürdeki boşluğu işaret etmektedir. Dolayısıyla ÇKKV yöntemlerinden LOGSTA ve AROMAN yöntemlerinin ilk defa bu alanda birlikte uygulanması bu çalışmanın ayırt edici yönünü ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen bulguların sağlamlıklarının ve sonuçların kararlılıklarının kapsamlı duyarlılık analizi ve karşılaştırmalı analiz ile ortaya konulması literatürdeki boşluğun doldurulmasında önemli katkılar sunmaktadır. Tüm bu katkılar neticesinde çalışma hem dijital hazırlık kapsamında bölgesel odaklı ampirik katkılar hem de metodoloji açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde dijital hazırlık konusunda yapılmış olan ilgili çalışmalar, LOGSTA ve AROMAN yöntemlerinin uygulama alanları özetlenmiştir. Daha sonra çalışma kapsamında kullanılan LOGSTA ve AROMAN yöntemlerinin metodolojileri sunulmuştur. Uygulama bölümünde ise NRI çerçevesi açıklanarak kriter ağırlıkları ve ülke sıralamalarıyla ilgili elde edilen bulgular aktarılmıştır. Son olarak bulgular özetlenerek politika çıkarımları ve gelecek çalışmalara öneriler sunulmuştur.

## Literatür taraması

Literatür taraması bölümü, dijital hazırlık ve kullanılan yöntemlere ilişkin çalışmalar olmak üzere 2 alt başlık altında sunulmuştur. İncelenen çalışmaların güncel ve öne çıkan çalışmalar olmasına özen gösterilmiştir.

### Dijital hazırlık odaklı çalışmalar

Bu bölümde dijitalleşmenin getirdiği yenilikler kapsamında yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Özellikle NRI ve benzeri endeks verilerinden faydalanılarak yayımlanmış çalışmalar bulguları ve kullanılan yöntemleri kapsamında değerlendirilmiştir.

Afonasova vd. (2019), Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) Gelişim Endeksi, Küresel Yenilik Endeksi, Ağ Hazırlık Endeksi, internet erişimi ve yüksek teknoloji ihracatı boyutları üzerinden Rusya'nın performansını Avrupa Birliği ülkeleri ile kıyaslayarak dijitalleşmenin ekonomiye ve sosyal süreçlere olan etkisini betimleyici istatistik aracılığıyla incelemiştir. Elde edilen bulgular, Rusya'nın özellikle siber güvenlik ve internet kullanımı açısından güçlü bir konuma sahip olduğunu göstermiştir.

Altıntaş (2021), CISCO tarafından hazırlanmış Dijital Hazırlık Endeksinin 2019 yılı verilerinden faydalanarak G20 ülkelerinin dijital hazırlık performanslarını çok kriterli karar verme yöntemlerinden Entropi ve VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) ile elde etmiştir. Sonuç olarak, Güney Kore, ABD, Almanya, İngiltere, Avusturya, Japonya, Kanada ve Fransa'nın dijital hazırlık seviyeleri ortalamanın üzerinde bulunmuştur.

Bhimani vd. (2022), 137 ülke için kripto para biriminin kullanımı ile eğitim, insani gelişme, NRI, gelir eşitsizliği, demokrasi, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH), yolsuzluk, ekonomik özgürlük gibi makro ulusal kalkınma göstergeleri arasındaki ilişki çoklu doğrusal regresyon analizi ile irdelenmiştir. Elde edilen bulgular aradaki ilişkinin pozitif olduğunu ortaya koymuştur.

Silva vd. (2022), ise çalışmasında NRI'nın ekonomik kalkınma ve sosyal gelişim üzerindeki etkisi ve bunu ne kadar yansıtabildiği irdelenmiştir. LASSO (Least Absolute Shrinkage And Selection Operator) regresyon analizi sonucunda NRI'nın özellikle dijital teknolojilere erişim ve kullanım açısından farklı sosyal grupları yeterince ayırtmadığı görülmüştür.

Gupta vd. (2022), tarafından yapılan çalışmada sınır ötesi veri ticaretini kısıtlayan politikaların ülkelerin bilgi teknolojileri hizmet ihracatı üzerindeki etkisi panel veri analizi ile incelenmiştir. Sonuçlar veri ticaretine yönelik kısıtlama uygulayan ülkelerle bilgi teknolojileri ihracatı yapanların performansının olumsuz etkilenerek düştüğünü göstermiştir.

Arıkan Kargı (2022), 38 OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ülkesinin dijital hazırlık düzeylerini CISCO tarafından geliştirilen Dijital Hazırlık Endeksi'nin 2019 yılı verilerinden faydalanarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) ve ARAS (Additive Ratio Assessment) ile belirlemiştir. Yapılan analiz kapsamında temel ihtiyaçlar bileşeni en önemli gösterge olarak elde edilmiştir. Lüksemburg, ABD, İsviçre, Kore ve İzlanda en yüksek dijital hazırlık performansına sahip ülkeler iken, Kosta Rika, Yunanistan, Türkiye, Kolombiya ve Meksika en düşük performans gösteren ülkeler olarak sunulmuştur.

Bilan vd. (2023), işletmelerde kullanılan BİT'in bilgi ekonomisinin oluşumundaki rolünü regresyon analiziyle incelemiştir. Avrupa Birliği ülkeleri kapsamında yapılan bu çalışma ile NRI'da yer alan BİT kalkınma göstergeleriyle bilgi ekonomisinin gelişimi arasında güçlü bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.

Tran vd. (2023) tarafından yürütülen çalışmada EU27 ülkelerinin 2020-2021 dönemi için EUROSTAT ve NRI verilerinden faydalanılarak dijital beceri türleri ile ekonomik kalkınma düzeyi ve BİT uzmanları ile BİT gelişmişlik düzeyi arasındaki ilişkiler, korelasyon ve hiyerarşik kümeleme analizi ile incelenmiştir. Sonuç olarak, dijital beceri türlerinin büyük bir kısmının ekonomik kalkınma ile güçlü pozitif bir ilişkisi olduğu ve uzman istihdamının artırılmasının bilgi ve iletişim teknolojileri gelişimini olumlu yönde etkilediği ifade edilmiştir.

Ajide ve Osinubi (2023), Afrika ülkeleri için yapmış olduğu çalışmada NRI'nın alt bileşeni olan dijital teknoloji kullanımı göstergeleri ile girişimcilik arasındaki etki incelenmiştir. 2012-2016 yılları için yapılan panel veri analizi sonucunda dijital teknoloji kullanımının Afrika'da girişimcilik üzerinde pozitif bir etkisi olduğu söylenmiştir.

Satı (2024), Avrupa Birliği'ne üye ve aday ülkelerde bulunan küçük ve orta boyutlu işletmelerin dijital yenilik performanslarını değerlendirmek amacıyla ülkelerin Küresel Yenilik Endeksi, Küresel Rekabet

Endeksi ve NRI verilerinden yararlanmıştır. ÇKKV yöntemlerinden olan Entropi ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile yapılan hesaplamalar neticesinde Avusturya, Danimarka ve Almanya en iyi performans gösteren ülkeler; Türkiye, Sırbistan ve Hırvatistan ise en düşük performans gösteren ülkeler olarak elde edilmiştir.

Bánhidi ve Dobos (2024), Orta ve Doğu Avrupa ülkeleri ile eski Sovyet coğrafyasındaki ülkelerin dijital gelişme düzeylerini ölçmek amacıyla NRI verilerinden faydalananak Veri Zarflama Analizi (VZA) ile altı farklı model geliştirmiştir. Analiz sonucunda Estonya tüm modellerde birinci olurken, Bulgaristan ve Romanya zayıf performans göstermiştir.

Tokmergenova ve Dobos (2024) NRI 2021 veri setinde yer alan 130 ülkenin 12 alt bileşenini dikkate alarak bileşenler arasındaki ilişkiler çok değişkenli istatistiklerle incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda alt boyutlar arasında güçlü ve pozitif ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. Ülkelerin dijital hazırlık performanslarının ölçümünde tüm boyutların bütüncül şekilde ele alınmasının altı çizilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen ülkeler ise dijital gelişmişlik düzeylerine göre dört kümeye ayrılmıştır. En gelişmiş ülkeler grubunda Avrupa Birliği ülkelerine ek olarak ABD, Japonya, Kore ve Singapur yer almıştır.

Košiková ve Vašaničová (2025), Avrupa Birliği ülkelerinin dijital hazırlık performansları ile sürdürülebilir kalkınma performansları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. 2024 yılına ait NRI verileri kullanarak yapılan kümeleme analizi ile ülkelerin profilleri çıkarılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, dijital olarak gelişmiş olan ülkelerin zayıf sürdürülebilir kalkınma performansı gösterebildiği veya dijitalleşme açısından zayıf ülkelerin de sürdürülebilir kalkınmada iyi performansa sahip olabildiği gösterilmiştir.

Qazi (2025), NRI'nın alt boyutları olan Teknoloji, İnsan, Yönetişim, Etki faktörlerini önceliklendirmiş ve aralarındaki bağımlılıkları irdelemiştir. Bayesyen İnanç ağı metodolojisiyle yapılan analiz sonucunda boyutların önem sıralaması Teknoloji, Etki, İnsan, Yönetişim olarak elde edilmiştir. Ek olarak, performansını iyileştirmek isteyen ülkelerin geliştireceği politikaların birçok boyutu birlikte ele alan yapıda oluşturulması gerektiği belirtilmiştir.

Miškufová vd. (2025), 29 Avrupa ülkesinin 2019-2014 döneminde dört farklı dijitalleşme endeksinde yer alan sıralamalarının tutarlılıklarını incelemiştir. Dünya Dijital Rekabet Sıralaması, NRI, Yapay Zekâ Hazırlık Endeksi, Dijital Yaşam Kalitesi Endeksi'nde yer alan sıralamalar ANOVA ile test edilmiştir. Elde edilen bulgular, sıralamaların genel olarak yüksek korelasyona sahip olduğunu ve Finlandiya, Hollanda ve Danimarka'nın endekslerden bağımsız şekilde en üst sıralarda yer aldığını göstermiştir.

Jemović vd. (2025) NRI ile finansal kapsayıcılık arasındaki ilişkiyi ve sürdürülebilir kalkınma amaçları üzerindeki yansımalarını 41 ülke için analiz etmiştir. K-ortalamlar ++ kümeleme yöntemiyle ülkeler Ağ Hazırlık düzeylerine göre gruplandırılmıştır. Yüksek ağ hazırlık düzeyine sahip ülkelerin aynı zamanda yüksek sürdürülebilir kalkınma performansına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak, yapılan regresyon analizi ile yönetim boyutunun sürdürülebilir kalkınmayı en iyi açıklayan boyut olarak bulunduğu ifade edilmiştir.

Valaskova vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada Avrupa Birliği ülkelerinin NRI performansı Endüstri 5.0 kapsamında çok değişkenli analizlerle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular Ar-Ge yatırımlarının, hane halkı internet erişiminin ve GSYİH'nin ülkelerin performansını açıklamada en güçlü göstergeler olduğunu göstermiştir.

Seifi vd. (2025) Nesnelerin İnterneti uygulamalarının endüstrilerde uygulanmasına yönelik hazırlığı etkileyen kriterleri belirlemiştir. Bu kriterlerin, toplam yorumlayıcı yapısal modelleme ile itici-bağımlı olup olmadıkları belirlenmiştir. Daha sonra ise TOPSIS ile bu kriterlerin önem düzeyleri belirlenmiştir. Analiz sonucunda, uygulama/bilgi uzmanlığı, teknik altyapı hazırlığı, finansal yatırım hazırlığı kriterlerinin itici kriterler olduğu, üst yönetim desteğinin en önemli kriter olduğu ortaya konulmuştur.

Özbalcı (2025), CISCO Dijital Hazırlık Endeksi 2019 ve 2021 verilerini kullanarak Türk Devletleri Teşkilatı üye ülkelerinin dijital hazırlık düzeylerini CRITIC ve ARAS yöntemleriyle analiz etmiştir. 2019 yılında temel ihtiyaçların, 2021 yılında ise beşerî sermayenin en önemli kriter olduğu belirlenmiştir. Ülkelerin sıralamalarında ise 2019 yılında Azerbaycan, 2021 yılında Türkiye dijital hazırlık kapsamında en iyi performans gösteren ülkeler olarak bulunmuştur.

Yapılan detaylı literatür taraması sonucunda, Ağ Hazırlık Endeksi'nin yanı sıra farklı dijitalleşme göstergeleri ile sürdürülebilir kalkınma, ekonomik kalkınma, sosyal gelişim, inovasyon düzeyi, bilgi ekonomisi gibi makro çıktılarla ilişkilerin incelendiği görülmektedir. Aynı zamanda, veri ticaretine yönelik kısıtların IT hizmet ihracatı üzerindeki etkisi, kripto paraların benimsenmesi, Endüstri 5.0 gibi

dijitalleşme olgularıyla nasıl bağlantılı olduğu irdelenmiştir. Bu çalışmaların haricinde özellikle Avrupa Birliği ülkeleri, üye ülkeler, OECD ülkeleri, G20 ülkeleri kapsamında dijital hazırlık performans analizleri yapılmıştır. Endekslerde yer alan göstergelerin eşit ağırlıklara sahip olmasının varsayımı sorgulanarak farklı yaklaşım önerileri sunulmuştur. Ülkelerin farklı endekslerdeki performans sıralamaları arasındaki farklar irdelenmiştir ve her endeksin özünde farklı konulara odaklandığı sonucuna varılmıştır. Çalışmalarda yöntem olarak regresyon analizi, panel veri analizi, kümeleme, ÇKKV (Entropi, TOPSIS, VIKOR, CRITIC, ARAS), LASSO, Bayesyen İnanç Ağı ve VZA tercih edilmiştir.

Ağ hazırlık performansı kapsamında yapılan çalışmalar özelinde ÇKKV tabanlı uygulanan yöntemlerin sınırlı olduğu görünmektedir. Bu durum performans sıralamalarında farklı ÇKKV yöntemleri ile daha kapsamlı analizlerin yapılmasına yönelik bir ihtiyaca işaret etmektedir. Bu nedenle LOGSTA-AROMAN yöntemleri ile Türkiye ve seçilmiş MENA ülkelerinin dijital hazırlık performanslarının incelenmesiyle elde edilen bulguların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

### **Kullanılan yöntemlere ilişkin literatür**

Çalışmanın bu kısmında kriter ağırlıklarını belirlemek ve alternatifleri sıralamak için kullanılan LOGSTA ile AROMAN yöntemlerine ilişkin literatür taraması sonuçlarına yer verilmiştir. İlk olarak LOGSTA yöntemine ait literatür incelendiğinde, yöntemin literatüre yeni kazandırılmış olması nedeniyle sonuçların sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Stevic vd. (2025), LOGSTA yöntemini tanıtmış ve yöntemin güvenilirliğini Entropi, CRITIC ve MEREC (Method Based on the Removal Effects of Criteria) yöntemleriyle kıyaslama yaparak test etmiştir.

LOGSTA'nın yeni bir yöntem olması nedeniyle sınırlı olan literatürüne karşın, AROMAN yöntemi daha geniş bir uygulama alanına sahiptir. Ancak bu yönteme ilişkin literatür taraması, kamu-özel sektör ortaklığını gerektiren konulara odaklanan çalışmalarla sınırlı tutulmuş ve buna ilişkin literatür taraması bulguları sunulmuştur. Bošković vd. (2023) AROMAN yöntemini önererek elektrikli araç seçimi için bir uygulama yürütmüştür. Nikolić vd. (2023), kırsal alanlardaki posta hizmetlerinin sürdürülebilirliğini iyileştirmek için belirsizlik altında çalışan bir yaklaşım önererek, kamu altyapı planlamasına yönelik bir analiz gerçekleştirmiştir. Önerilen yaklaşımda kriterlerin ağırlıkları FUCOM (Full Consistency Method) yöntemiyle belirlenmiş ve alternatifler tip-2 aralıklı bulanık AROMAN yöntemiyle sıralanmıştır. Olteanu (Burcă) vd. (2024), ekonomik, sosyal ve yönetim kriterleri temelinde Avrupa'daki yatırım sektörlerinin önceliklendirilmesi için MEREC ve AROMAN yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Araştırmanın bulguları, yoğun kamu-özel iş birliğini gerektiren altyapı ve sürdürülebilir enerji gibi alanların öne çıktığını göstermiştir. Kara, Yalçın, Simic, vd. (2024), rüzgâr enerjisi santrallerinin sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmek için küresel bulanık (spherical fuzzy) kümelerle dayalı DIBR (Defining Interrelationships Between Ranked Criteria) II-AROMAN modelini önermiştir. Kara, Yalçın, Acar, vd. (2024) ülkeler düzeyinde sürdürülebilirlik ve rekabetçilik değerlendirmesi için MEREC ve AROMAN yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Bektaş ve Baykuş (2024), MINT (Mexico, Indonesia, Nigeria, and Türkiye) ülkeleri için makroekonomik göstergeler üzerinden performans analizi yapmıştır. Analizde kriter ağırlıkları CRITIC yöntemiyle elde edilirken, ülke sıralamaları AROMAN yöntemiyle belirlenmiştir. Song vd. (2025) otonom araçların kamuoyundaki kabulü ve toplumun hazırlık düzeyini belirlemek için IRN (Interval Rough Numbers), PIPRECIA (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment) ve IRN AROMAN yöntemlerini bütünsel bir yaklaşımla kullanmıştır. Bošković vd. (2025) hidrojen dolum istasyonları için yer seçimi probleminde AROMAN yöntemini kullanarak, altyapı yatırımlarında ÇKKV yöntemlerinin uygulanabilirliğini göstermiştir. Zhang vd. (2026) ulaşım güvenliğiyle ilgili kararların güvenilirliğini artırmak için makine öğrenmesi ile PSI (Preference Selection Index), AROMAN ve GMM (Gaussian Mixture Model) bütünsel yaklaşımını kullanmıştır. Riaz vd. (2026) havaalanı güvenlik sistemlerinin performansını değerlendirmek için LOPCOW (Logarithmic Percentage Change-driven Objective Weighting)-AROMAN yaklaşımından faydalanmıştır.

Kullanılan yöntemlere ilişkin literatür incelendiğinde, LOGSTA ve AROMAN yöntemlerinin dijital hazırlık performansı konusunda henüz uygulanmadığı görülmüştür. Buna ek olarak, bu iki yöntemin de henüz birlikte kullanılmamış olması, mevcut çalışmanın literatüre olan katkısını göstermektedir.

### **Materyal ve yöntem**

#### **Veri**

Bu çalışmada, Türkiye'nin yakın ilişkiler içinde olduğu Orta Doğu ve Kuzey Afrika (Middle East and North Africa - MENA) bölgesinde yer alan ülkelerin dijital hazırlık performanslarının karşılaştırmalı bir analizle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Portulans Institute (2024) tarafından yayımlanan Ağ Hazırlık Endeksi (Network Readiness Index - NRI) 2024 raporunda yer alan verilerden

faaydalanılmıştır. Söy konusu raporda verisi bulunan ve analize dahil edilen bölge ölkeleri Tablo 1’de sunulmuştur. Çalışmada etik kurul izin belgesine gerek bulunmamaktadır.

**Tablo 1:** Analize Dahil Edilen Ölkeler

| Ölke    | Sembol | Ölke   | Sembol | Ölke            | Sembol | Ölke                      | Sembol |
|---------|--------|--------|--------|-----------------|--------|---------------------------|--------|
| Cezayir | A1     | İsrail | A5     | Umman           | A9     | Birleşik Arap Emirlikleri | A13    |
| Bahreyn | A2     | Ördün  | A6     | Katar           | A10    | Yemen                     | A14    |
| Mısır   | A3     | Kuveyt | A7     | Suudi Arabistan | A11    | Türkiye                   | A15    |
| İran    | A4     | Fas    | A8     | Tunus           | A12    |                           |        |

NRI (2024), dört ana faktör altında üç alt faktör ve toplamda elli dört göstergeden oluşmaktadır (Portulans Institute, 2024). NRI yapısal olarak hiyerarşik bir yapıda tasarlanmıştır ve dijital hazırlığın elli dört göstergesi dört temel eksenle temsil edilmektedir. Elli dört göstergenin kriter olarak çalışmaya dahil edilmesi durumunda kriter ağırlıklarının çok küçük değerlere sahip olması sonucunda yorumlanabilirlik zayıflayacaktır. Bu nedenle çalışmada analizler dört ana faktör üzerinden yürütölmüştür. Çalışmanın kriterleri olarak belirlenen bu ana faktörlerin özelliklerine Tablo 2’de yer verilmiştir.

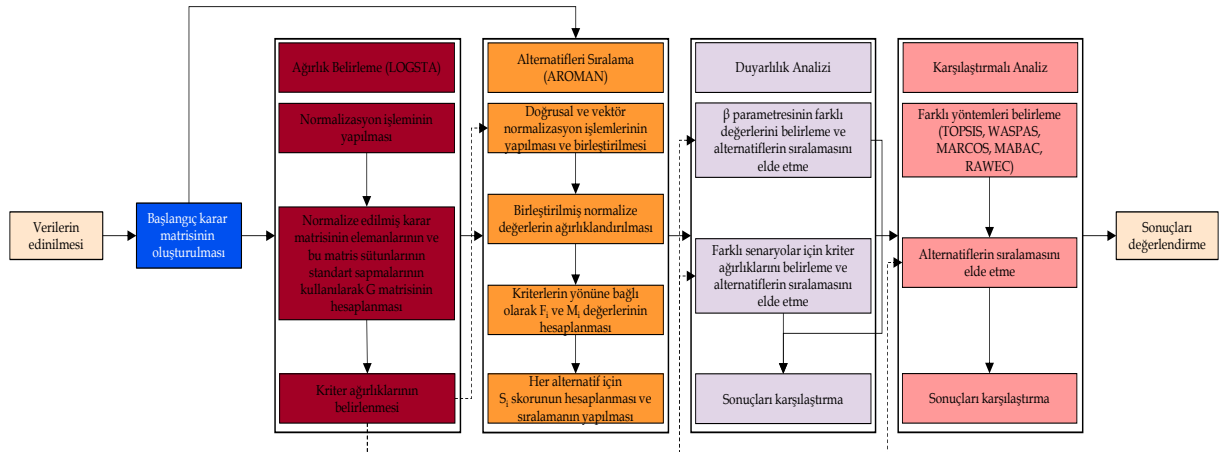
**Tablo 2:** Kriterler ve Özellikleri

| Kriter-Sembol             | Özellik                                                                                                                                                                                                                                                           | Kriter Yönu |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Teknoloji (Technology)-K1 | Teknolojik alt yapıyla ilgilidir. Bilgi ve İletişim Teknolojilerine (BİT) erişim ( <i>access</i> ), dijital içerik üretimi ( <i>content</i> ) ve gelecek teknolojilere adaptasyon ( <i>future technologies</i> ) alt faktörlere dayanır.                          | Fayda       |
| İnsan (People)-K2         | Teknolojinin kullanım yeterliliği ve etkinliği ile ilgilidir. Bireyler ( <i>individuals</i> ), işletmeler ( <i>businesses</i> ) ve hükümetler ( <i>governments</i> ) alt faktörleri ile ilişkilidir.                                                              | Fayda       |
| Yönetişim (Governance)-K3 | Ağın güçlendirilmesi ve kullanıcı güvenliği ile ilgilidir. Dijital ortamda güven ( <i>trust</i> ), düzenlemeler ( <i>regulation</i> ) ve kapsayıcılık ( <i>inclusion</i> ) alt faktörlerine dayanmaktadır.                                                        | Fayda       |
| Etki (Impact)-K4          | Ağ ekonomisine katılım ile ortaya çıkan büyüme ve toplumsal gelişim ile ilgilidir. Ekonomi ( <i>economy</i> ), yaşam kalitesi ( <i>quality of life</i> ) ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı ( <i>SDG contribution</i> ) alt faktörleri ile ilişkilidir. | Fayda       |

**Kaynak:** (Portulans Institute, 2024, ss. 34-36)

## Yöntem

Bu çalışmada araştırma sorularının cevaplanması için ve ölkelerin dijital hazırlık performanslarının değerlendirilmesi için dört aşamalı bir yaklaşımdan faydalanılmıştır. İlk olarak, LOGSTA yöntemiyle kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Bu ağırlık değerleri kullanılarak ikinci aşamada AROMAN yöntemiyle ölkeler performanslarına göre sıralanmıştır. LOGSTA-AROMAN yaklaşımının parametre ve kriter ağırlıklarındaki değışime karşı hassasiyetini incelemek için üçüncü aşamada duyarlılık analizi; sonuçların güvenilirliği için ise literatürde kabul görmüş TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) (Hwang ve Yoon, 1981), WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) (Zavadskas vd., 2012), MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking According to Compromise Solution) (Stević vd., 2020), MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) (Pamućar ve Ćirović, 2015) ve RAWEC (Ranking of Alternatives with Weights of Criterion) (Puška vd., 2024) yöntemleriyle dördüncü aşamada karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecine ilişkin süreç diyagramı Şekil 1’de sunulmuştur.



**Şekil 1:** Kullanılan Metodolojiye İlişkin Süreç Diyagramı

## LOGSTA yöntemi

LOGSTA (Logarithmic Normalization and Standard Deviation) yöntemi, literatüre son zamanlarda kazandırılmış olan objektif ağırlık belirleme yöntemlerinden biridir. Yöntem, kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olmasını dikkate alarak normalizasyon işlemi yapan ve logaritma ile standart sapmayı birlikte kullanan bir yaklaşıma sahiptir. Bu yöntemi kullanarak kriter ağırlıklarını elde etmek için izlenmesi gereken adımlar şu şekildedir (Stevic vd., 2025, ss. 592-593):

- 1. Adım.** Başlangıç karar matrisi ( $x_{ij} \in X$ ) oluşturulur. Bu matris,  $i = 1, 2, \dots, m$  adet alternatif;  $j = 1, 2, \dots, n$  adet kriterden oluşur. Oluşturulan başlangıç karar matrisi Eşitlik (1)'de gösterildiği gibidir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

- 2. Adım.** Başlangıç karar matrisi, kriterlerin fayda ya da maliyetli olmalarına göre sırasıyla Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) kullanılarak normalize karar matrisi ( $n_{ij} \in N$ ) elde edilir.

$$n_{ij} = \left| \frac{\ln x_{ij}}{\ln(\prod_{i=1}^m x_{ij})} \right| \quad (j \in \text{fayda yönlü kriterler}) \quad (2)$$

$$n_{ij} = \left| \frac{1 - \frac{\ln x_{ij}}{\ln(\prod_{i=1}^m x_{ij})}}{m-1} \right| \quad (j \in \text{maliyet yönlü kriterler}) \quad (3)$$

- 3. Adım.** Her bir kriter için normalize edilmiş değerlerin sütunlarının standart sapması ( $\sigma_j$ ) ile normalize karar matrisinin her bir sütun elemanlarının logaritmasının toplamının, toplama işlemine göre tersiyle çarpımı ile hesaplanan ( $g_j \in G$ ) matris oluşturulur. Bu matrisin elemanları Eşitlik (4)'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$g_j = \sigma_j \times \left( \left| \sum_{i=1}^m (\ln(n_{ij})) \right| \right)^{-1} \quad (4)$$

- 4. Adım.** Her bir kriterin ağırlığı ( $w_j$ ), Eşitlik (5) yardımıyla elde edilir.

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

## AROMAN yöntemi

AROMAN (Alternative Ranking Order Method Accounting for Two-Step Normalization) yöntemi, iki farklı normalizasyon yaklaşımını birlikte kullanarak daha kesin normalize edilmiş veri elde etme fikrine dayanan ve alternatif sıralamaları kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olmalarını dikkate alarak elde eden bir yaklaşıma sahiptir. Bu yöntemi kullanarak alternatiflerin sıralamasını elde etmek için uygulanması gereken adımlar şu şekildedir (Bošković vd., 2023, ss. 5-6):

- 1. Adım.** Başlangıç karar matrisi, Eşitlik (1)'de gösterildiği şekilde oluşturulur.
- 2. Adım.** Başlangıç karar matrisinde yer alan veriler iki farklı yaklaşımla normalize edilir. Normalizasyon işlemi sonucunda veriler  $[0, 1]$  aralığında değerlere dönüştürülür. Doğrusal normalizasyon için Eşitlik (6), vektör normalizasyon işlemi için ise Eşitlik (7) kullanılır. Normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen değerler  $\beta \in [0, 1]$  parametresi kullanılarak birleştirilir. Bu parametrenin değeri, her normalizasyon yöntemine eşit önem veriliyorsa 0,5 olarak belirlenir. Bu birleştirme işlemi, Eşitlik (8) yardımıyla yapılır.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij}^{\min}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}} \quad (6)$$

$$n_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (7)$$

$$n_{ij}^{\text{norm}} = \frac{\beta n_{ij} + (1 - \beta) n_{ij}^*}{2} \quad (8)$$

Burada yer alan her iki normalizasyon işlemi de hem fayda hem de maliyet yönlü kriterlere uygulanır.

**3. Adım.** Birleştirilmiş normalize değerler, belirlenen kriter ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıklandırılır. Ağırlıklandırılmış değerler, Eşitlik (9) kullanılarak hesaplanır.

$$\hat{n}_{ij} = n_{ij}^{norm} \cdot w_j \quad (9)$$

**4. Adım.** Ağırlıklandırılmış ve birleştirilmiş normalize değerler, kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olması dikkate alınarak sırasıyla Eşitlik (10) ve Eşitlik (11) ile toplanarak her bir alternatif için  $F_i$  ve  $M_i$  değerleri hesaplanır.

$$F_i = \sum_{j=1}^n \hat{n}_{ij} \quad (j \in \text{fayda yönlü kriterler}) \quad (10)$$

$$M_i = \sum_{j=1}^n \hat{n}_{ij} \quad (j \in \text{maliyet yönlü kriterler}) \quad (11)$$

**5. Adım.**  $F_i$  ve  $M_i$  değerleri kullanılarak her bir alternatif için sıralamaya esas skor değeri  $S_i$  hesaplanır. Bu değer hesaplanırken  $\lambda \in [0,1]$  parametresi kullanılır.  $S_i$ , Eşitlik (12)'de gösterildiği şekilde elde edilir.

$$S_i = M_i^\lambda + F_i^{(1-\lambda)} \quad (12)$$

$\lambda$  parametresinin değeri, kullanılan kriter kümesindeki maliyet yönlü kriterlerin toplam kriter sayısına oranı olarak belirlenebilir (Bošković vd., 2023).  $S_i$  değerleri yüksekten düşüğe doğru sıralanarak alternatiflerin sıralaması elde edilir.

## Uygulama

Analize dahil edilen alternatifler ve kriterler kullanılarak oluşturulan başlangıç karar matrisi Tablo 3'te verildiği gibidir.

**Tablo 3:** Başlangıç Karar Matrisi

| Alternatif | K1      | K2             | K3             | K4             | Alternatif | K1             | K2             | K3             | K4             |
|------------|---------|----------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A1         | 36,3200 | 40,2400        | 41,0700        | 39,3400        | A11        | 53,9500        | 51,1300        | 70,4400        | 59,4700        |
| A2         | 44,7800 | 43,3800        | 65,9800        | 59,8500        | A12        | 42,3400        | 36,7500        | 49,4100        | 37,7900        |
| A3         | 44,8300 | 36,9400        | 46,9900        | 48,9400        | A13        | <b>59,5100</b> | 60,7400        | 66,5800        | 64,3100        |
| A4         | 45,4000 | 45,8300        | 52,6200        | 38,1800        | A14        | 14,9600        | 13,9600        | 18,8600        | 33,1700        |
| A5         | 55,1800 | <b>68,9100</b> | <b>77,7600</b> | <b>80,0000</b> | A15        | 50,2600        | 47,3300        | 64,2800        | 48,7500        |
| A6         | 44,6900 | 45,6800        | 55,2200        | 42,5500        | Minimum    | 14,9600        | 13,9600        | 18,8600        | 33,1700        |
| A7         | 43,0600 | 40,5500        | 55,7900        | 57,8000        | Maksimum   | <b>59,5100</b> | <b>68,9100</b> | <b>77,7600</b> | <b>80,0000</b> |
| A8         | 43,8200 | 40,1200        | 51,9500        | 47,8500        | Maks-Min   | 44,5500        | 54,9500        | 58,9000        | 46,8300        |
| A9         | 43,1800 | 46,2600        | 68,4600        | 56,1600        | Ortalama   | 44,9580        | 44,5747        | 56,9800        | 51,4153        |
| A10        | 52,0900 | 50,8000        | 69,2900        | 57,0700        |            |                |                |                |                |

Kaynak: (Portulans Institute, 2024)

Tablo 3 incelendiğinde, ülkelerin ortalama olarak en düşük performansa K2 kriterinde; en yüksek performansa ise K3 kriterinde olduğu, buna karşın dağılım aralığının en düşük K1 kriterinde; en yüksek ise K3 kriterinde olduğu tespit edilmiştir. Kriter özelinde inceleme yapıldığında, ülkelerin K1 kriterinde 14,96-59,51 değerleri arasında performans gösterdiği görülmüştür. Buna göre, en yüksek performansı A13; en düşük performansı ise A14 göstermiştir. K2 kriterinde performans değerlerinin 13,96 ile 68,91 arasında değiştiği, A5'in en iyi; A14'ün ise en kötü performansı gösterdiği gözlemlenmiştir. K3 kriteri için performansların 18,86-77,76 aralığında değiştiği ve A5 ile A14'ün sırasıyla en yüksek ve en düşük performansları sergilediği tespit edilmiştir. Son olarak, K4 kriterinde performansların 33,17 ile 80,0 arasında gözlemlendiği ve A5 ile A14'ün diğer kriterlerde olduğu gibi en yüksek ve en düşük performanslara sahip olduğu görülmüştür.

### Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Başlangıç karar matrisi oluşturulduktan sonra, LOGSTA yöntemiyle birinci araştırma sorusu olan kriter ağırlıklarının belirlenmesi için ilk olarak, bu matrisin elemanları Eşitlik (2) kullanılarak normalize edilir. Normalize edilmiş karar matrisinin elemanları Tablo 4'te verildiği gibidir.

**Tablo 4:** Normalize Edilmiş Karar Matrisi

| Alternatif | K1     | K2     | K3     | K4     | Alternatif | K1     | K2     | K3     | K4     |
|------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|
| A1         | 0,0636 | 0,0657 | 0,0619 | 0,0626 | A9         | 0,0666 | 0,0682 | 0,0705 | 0,0686 |
| A2         | 0,0673 | 0,0670 | 0,0699 | 0,0697 | A10        | 0,0699 | 0,0698 | 0,0707 | 0,0689 |
| A3         | 0,0673 | 0,0642 | 0,0642 | 0,0663 | A11        | 0,0706 | 0,0699 | 0,0709 | 0,0696 |
| A4         | 0,0675 | 0,0680 | 0,0661 | 0,0621 | A12        | 0,0663 | 0,0641 | 0,0650 | 0,0619 |
| A5         | 0,0710 | 0,0753 | 0,0726 | 0,0747 | A13        | 0,0723 | 0,0730 | 0,0700 | 0,0709 |
| A6         | 0,0672 | 0,0679 | 0,0669 | 0,0639 | A14        | 0,0479 | 0,0469 | 0,0490 | 0,0597 |
| A7         | 0,0666 | 0,0658 | 0,0671 | 0,0691 | A15        | 0,0693 | 0,0686 | 0,0694 | 0,0662 |
| A8         | 0,0669 | 0,0656 | 0,0659 | 0,0659 |            |        |        |        |        |

Tablo 4’te yer alan değerlerden  $n_{11}$  şu şekilde hesaplanmıştır: K1 kriteri fayda yönlü olduğundan Tablo 3’te yer alan değerlerden ve Eşitlik (2) kullanılarak,  $\ln x_{11}$  değeri, birinci sütunda yer alan değerlerin çarpımının logaritmasına bölünmüştür ve sonucun mutlak değeri alınmıştır. Buna göre,

$$n_{11} = \left| \frac{\ln x_{11}}{\ln(x_{11} \times x_{21} \times \dots \times x_{151})} \right| = \left| \frac{\ln 36,3200}{\ln(36,3200 \times \dots \times 50,2600)} \right| = 0,0636$$

olarak hesaplanmıştır. Tablo 4’te yer alan diğer değerler de benzer yaklaşımla elde edilmiştir. Tablo 4’te yer alan değerler kullanılarak Eşitlik (4) yardımıyla  $G$  matrisi elde edilir. Bu matrisin elemanları ( $g_j \in G$ ), Eşitlik (5) kullanılarak kriter ağırlıklarına dönüştürülür.  $G$  matrisinin elemanları ve hesaplanan kriter ağırlıkları, Tablo 5’te sunulmuştur.

**Tablo 5:**  $G$  Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

| $g_1$    | $g_2$    | $g_3$    | $g_4$    |
|----------|----------|----------|----------|
| 0,000139 | 0,000154 | 0,000141 | 0,000100 |
| $w_1$    | $w_2$    | $w_3$    | $w_4$    |
| 0,2602   | 0,2887   | 0,2631   | 0,1880   |

Tablo 5’te yer alan  $G$  matrisinin elemanlarından  $g_2$  şu şekilde hesaplanmıştır:

$$g_2 = \sigma_2 \times \left( \left| \sum_{i=1}^{15} \ln(n_{i2}) \right| \right)^{-1} = 0,006278 \times \frac{1}{|\ln(0,0657) + \dots + \ln(0,0686)|} = 0,000154$$

Bu değer, diğer kriterler için de aynı yaklaşımla hesaplanan  $g_j$  değerlerinin toplamına bölünmüş ve K2 kriteri için ağırlık değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$w_2 = \frac{0,000154}{0,000139 + \dots + 0,000100} = 0,2887$$

Eşitlik (5) kullanılarak diğer kriterler için de aynı şekilde kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan kriter ağırlıkları, K2 kriterinin ( $w_2 = 0,2887$ ) en önemli kriter olduğunu göstermektedir. K3 ( $w_3 = 0,2631$ ) ve K1 ( $w_1 = 0,2602$ ) kriterleri yakın performans göstererek, K2 kriterini izlemiştir. K4 ( $w_4 = 0,1880$ ) kriteri ise en düşük öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir.

### Ülke sıralamalarının elde edilmesi

İkinci araştırma sorusunu cevaplandırmak amacıyla ülkelerin dijital hazırlık performanslarına göre sıralamaları, LOGSTA yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları AROMAN yöntemiyle kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, Tablo 3’te yer alan başlangıç karar matrisi kullanılmıştır. Eşitlik (6) ve Eşitlik (7) kullanılarak hesaplanan doğrusal normalizasyon ve vektör normalizasyon işlemlerine ait sonuçlar, Tablo 6’da verildiği gibidir.

**Tablo 6:** Normalize Karar Matrisleri

| Doğrusal Normalizasyon |        |        |        |        | Vektör Normalizasyon |        |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Alternatif             | K1     | K2     | K3     | K4     | Alternatif           | K1     | K2     | K3     | K4     |
| A1                     | 0,4795 | 0,4783 | 0,3771 | 0,1318 | A1                   | 0,2037 | 0,2254 | 0,1806 | 0,1924 |
| A2                     | 0,6694 | 0,5354 | 0,8000 | 0,5697 | A2                   | 0,2512 | 0,2430 | 0,2901 | 0,2927 |
| A3                     | 0,6705 | 0,4182 | 0,4776 | 0,3367 | A3                   | 0,2515 | 0,2069 | 0,2066 | 0,2393 |
| A4                     | 0,6833 | 0,5800 | 0,5732 | 0,1070 | A4                   | 0,2547 | 0,2567 | 0,2313 | 0,1867 |
| A5                     | 0,9028 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | A5                   | 0,3095 | 0,3860 | 0,3419 | 0,3912 |
| A6                     | 0,6673 | 0,5773 | 0,6173 | 0,2003 | A6                   | 0,2507 | 0,2559 | 0,2428 | 0,2081 |
| A7                     | 0,6308 | 0,4839 | 0,6270 | 0,5259 | A7                   | 0,2415 | 0,2272 | 0,2453 | 0,2827 |
| A8                     | 0,6478 | 0,4761 | 0,5618 | 0,3135 | A8                   | 0,2458 | 0,2248 | 0,2284 | 0,2340 |
| A9                     | 0,6334 | 0,5878 | 0,8421 | 0,4909 | A9                   | 0,2422 | 0,2591 | 0,3010 | 0,2746 |
| A10                    | 0,8334 | 0,6704 | 0,8562 | 0,5104 | A10                  | 0,2922 | 0,2846 | 0,3046 | 0,2791 |
| A11                    | 0,8752 | 0,6764 | 0,8757 | 0,5616 | A11                  | 0,3026 | 0,2864 | 0,3097 | 0,2908 |
| A12                    | 0,6146 | 0,4147 | 0,5187 | 0,0987 | A12                  | 0,2375 | 0,2059 | 0,2172 | 0,1848 |
| A13                    | 1,0000 | 0,8513 | 0,8102 | 0,6650 | A13                  | 0,3338 | 0,3403 | 0,2927 | 0,3145 |
| A14                    | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | A14                  | 0,0839 | 0,0782 | 0,0829 | 0,1622 |
| A15                    | 0,7924 | 0,6073 | 0,7711 | 0,3327 | A15                  | 0,2819 | 0,2651 | 0,2826 | 0,2384 |

Tablo 6’da yer alan değerlerden  $n_{13}$  ve  $n_{13}^*$ , Eşitlik (6) ve Eşitlik (7) kullanılarak şu şekilde hesaplanmıştır:

$$n_{13} = \frac{x_{13} - x_{i3}^{min}}{x_{i3}^{max} - x_{i3}^{min}} = \frac{41,0700 - 18,8600}{77,7600 - 18,8600} = 0,3771, n_{13}^* = \frac{x_{13}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{15} x_{i3}^2}} = \frac{41,0700}{\sqrt{41,0700^2 + \dots + 64,2800^2}} = 0,1806$$

Tablo 6’da yer alan doğrusal normalizasyon değerleriyle vektör normalizasyon değerleri,  $\beta = 0,5$  için Eşitlik (8) kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen birleştirilmiş normalize karar matrisi, Tablo 7’de sunulmuştur.

**Tablo 7:** Birleştirilmiş Normalize Karar Matrisi

| Alternatif | K1     | K2     | K3     | K4     | Alternatif | K1     | K2     | K3     | K4     |
|------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|
| A1         | 0,1708 | 0,1759 | 0,1394 | 0,0810 | A9         | 0,2189 | 0,2117 | 0,2858 | 0,1914 |
| A2         | 0,2301 | 0,1946 | 0,2725 | 0,2156 | A10        | 0,2814 | 0,2388 | 0,2902 | 0,1974 |
| A3         | 0,2305 | 0,1563 | 0,1710 | 0,1440 | A11        | 0,2945 | 0,2407 | 0,2964 | 0,2131 |
| A4         | 0,2345 | 0,2092 | 0,2011 | 0,0734 | A12        | 0,2130 | 0,1552 | 0,1840 | 0,0709 |
| A5         | 0,3031 | 0,3465 | 0,3355 | 0,3478 | A13        | 0,3334 | 0,2979 | 0,2757 | 0,2449 |
| A6         | 0,2295 | 0,2083 | 0,2150 | 0,1021 | A14        | 0,0210 | 0,0196 | 0,0207 | 0,0406 |
| A7         | 0,2181 | 0,1778 | 0,2181 | 0,2022 | A15        | 0,2686 | 0,2181 | 0,2634 | 0,1428 |
| A8         | 0,2234 | 0,1752 | 0,1975 | 0,1369 |            |        |        |        |        |

Tablo 7’de yer alan değerlerden  $n_{14}^{norm}$ , şu şekilde hesaplanmıştır:

$$n_{14}^{norm} = \frac{\beta n_{14} + (1 - \beta) n_{14}^*}{2} = \frac{(0,5 \times 0,1318) + (0,5 \times 0,1924)}{2} = 0,0810$$

Matrisin diğer elemanları da aynı yaklaşımla hesaplanmıştır. Daha sonra bu karar matrisi, LOGSTA yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları ve Eşitlik (9) kullanılarak ağırlıklandırılır. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi, Tablo 8’de verildiği gibidir.

**Tablo 8:** Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

| Alternatif | K1     | K2     | K3     | K4     | Alternatif | K1     | K2     | K3     | K4     |
|------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|
| A1         | 0,0444 | 0,0508 | 0,0367 | 0,0152 | A9         | 0,0570 | 0,0611 | 0,0752 | 0,0360 |
| A2         | 0,0599 | 0,0562 | 0,0717 | 0,0405 | A10        | 0,0732 | 0,0689 | 0,0764 | 0,0371 |
| A3         | 0,0600 | 0,0451 | 0,0450 | 0,0271 | A11        | 0,0766 | 0,0695 | 0,0780 | 0,0401 |
| A4         | 0,0610 | 0,0604 | 0,0529 | 0,0138 | A12        | 0,0554 | 0,0448 | 0,0484 | 0,0133 |
| A5         | 0,0789 | 0,1000 | 0,0883 | 0,0654 | A13        | 0,0868 | 0,0860 | 0,0725 | 0,0460 |
| A6         | 0,0597 | 0,0601 | 0,0566 | 0,0192 | A14        | 0,0055 | 0,0056 | 0,0055 | 0,0076 |
| A7         | 0,0567 | 0,0513 | 0,0574 | 0,0380 | A15        | 0,0699 | 0,0630 | 0,0693 | 0,0268 |
| A8         | 0,0581 | 0,0506 | 0,0520 | 0,0257 |            |        |        |        |        |

Tablo 8’de yer alan değerlerden  $\hat{n}_{21}$ , şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\hat{n}_{21} = n_{21}^{norm} \times w_1 = 0,2301 \times 0,2602 = 0,0599$$

Matrisin diğer elemanları da aynı şekilde edilmiştir. Daha sonra, Eşitlik (10), Eşitlik (11) ve Eşitlik (12) kullanılarak  $M_i$ ,  $F_i$ , ve  $S_i$  değerleri elde edilmiştir. Analizde kullanılan bütün kriterler fayda yönlü olduğundan  $\lambda$  parametresinin değeri 0 olarak seçilmiştir. Ayrıca,  $S_i$  değerlerine bağlı olarak elde edilen sıralama sonuçları Tablo 9'da sunulmuştur.

**Tablo 9:**  $F_i$ ,  $M_i$ ,  $S_i$  Değerleri ve Sıralamalar

| Alternatif | $M_i$ | $F_i$  | $S_i$  | Sıra | Alternatif | $M_i$ | $F_i$  | $S_i$  | Sıra |
|------------|-------|--------|--------|------|------------|-------|--------|--------|------|
| A1         | 0     | 0,1471 | 1,1471 | 14   | A9         | 0     | 0,2293 | 1,2293 | 5    |
| A2         | 0     | 0,2283 | 1,2283 | 7    | A10        | 0     | 0,2556 | 1,2556 | 4    |
| A3         | 0     | 0,1772 | 1,1772 | 12   | A11        | 0     | 0,2641 | 1,2641 | 3    |
| A4         | 0     | 0,1881 | 1,1881 | 10   | A12        | 0     | 0,1619 | 1,1619 | 13   |
| A5         | 0     | 0,3325 | 1,3325 | 1    | A13        | 0     | 0,2913 | 1,2913 | 2    |
| A6         | 0     | 0,1956 | 1,1956 | 9    | A14        | 0     | 0,0242 | 1,0242 | 15   |
| A7         | 0     | 0,2034 | 1,2034 | 8    | A15        | 0     | 0,2290 | 1,2290 | 6    |
| A8         | 0     | 0,1864 | 1,1864 | 11   |            |       |        |        |      |

Analizde kullanılan kriterler fayda yönlü olduğundan,  $M_i$  değerleri 0 olarak hesaplanmıştır.  $F_i$  değerlerinden  $F_3$ , örnek olarak şu şekilde hesaplanmıştır:

$$F_3 = \sum_{j=1}^4 \hat{n}_{3j} = 0,0600 + \dots + 0,0271 = 0,1772$$

Diğer  $F_i$  değerleri de hesaplandıktan sonra, Eşitlik (12) kullanılarak  $S_i$  değerleri hesaplanmıştır. Örnek olarak  $S_5$ , şu şekilde elde edilmiştir:

$$S_5 = M_5^0 + F_5^1 = 1 + 0,3325 = 1,3325$$

Bütün alternatifler için  $S_i$  değerleri hesaplandıktan sonra bu skorlar yüksekten düşüğe doğru sıralanır. Buna göre, sıralamada ilk üç sırayı A5 (İsrail,  $S_5 = 1,3325$ ), A13 (Birleşik Arap Emirlikleri,  $S_{13} = 1,2913$ ) ve A11 (Suudi Arabistan,  $S_{11} = 1,2641$ ) alırken; A12 (Tunus,  $S_{12} = 1,1619$ ), A1 (Cezayir,  $S_1 = 1,1471$ ) ve A14 (Yemen,  $S_{14} = 1,0242$ ) almıştır.

### Duyarlılık analizi

AROMAN yönteminin parametre değerlerindeki değişimlere ve kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı hassasiyetini analiz etmek için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle,  $\beta$  parametresinin sıralama sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirmek için parametre değeri  $[0,1]$  aralığında 0,10 birim artırılarak alternatiflerin sıralama değerleri hesaplanmıştır. Bu analizde  $\beta$  parametresinin değeri haricinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Kriter ağırlıklarının, sıralama sonuçlarına etkisini tespit edebilmek için on senaryo geliştirilmiş ve bu senaryolar için belirlenmiş ağırlık değerleri kullanılarak sıralamalar hesaplanmıştır. Geliştirilen senaryolara ilişkin belirlenen kriter ağırlıkları Tablo 10'da verilmiştir.

**Tablo 10:** Duyarlılık Analizinde Kullanılan Senaryolar

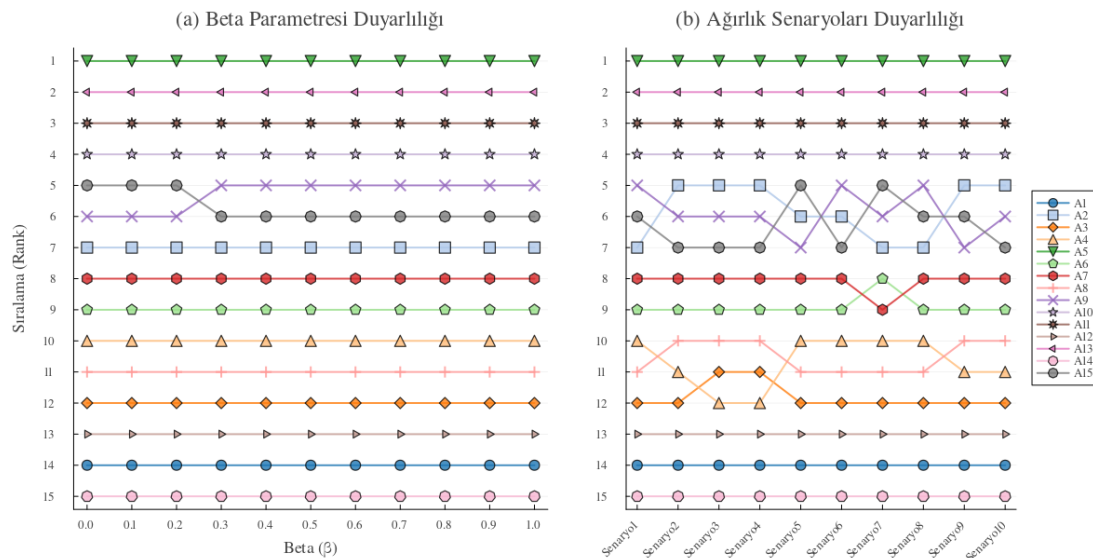
|           | $w_1$  | $w_2$  | $w_3$  | $w_4$  |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| Senaryo1  | 0,2602 | 0,2887 | 0,2631 | 0,1880 |
| Senaryo2  | 0,2500 | 0,2500 | 0,2500 | 0,2500 |
| Senaryo3  | 0,2631 | 0,1880 | 0,2602 | 0,2887 |
| Senaryo4  | 0,2243 | 0,2489 | 0,2268 | 0,3000 |
| Senaryo5  | 0,3253 | 0,2633 | 0,2400 | 0,1715 |
| Senaryo6  | 0,2323 | 0,2578 | 0,3420 | 0,1679 |
| Senaryo7  | 0,1810 | 0,5052 | 0,1830 | 0,1308 |
| Senaryo8  | 0,1961 | 0,3464 | 0,3157 | 0,1417 |
| Senaryo9  | 0,3122 | 0,2418 | 0,2204 | 0,2256 |
| Senaryo10 | 0,2887 | 0,2602 | 0,1880 | 0,2631 |

Senaryolara ilişkin özellikler şu şekildedir:

- Senaryo 1, LOGSTA yöntemiyle elde edilen orijinal kriter ağırlığı değerleridir.
- Senaryo 2, her kriterin eşit öneme sahip olduğu senaryodur.

- Senaryo 3, kriter ağırlıklarının önem sırasına göre ters sırada olduğu senaryodur. Örneğin, Senaryo 1’de en önemli kriter ağırlığı olan  $w_2$  ile en düşük kriter ağırlığı olan  $w_4$ ’ün; diğer ağırlıkların da benzer şekilde karşılıklı yer değiştirdiği senaryodur.
- Senaryo 4, Senaryo 1’de en düşük ağırlığa sahip  $w_4$ ’ün %30 artırılarak en yüksek önemli kriter olduğu; diğer ağırlıkların ise oransal olarak azaltıldığı senaryodur.
- Senaryo 5, Senaryo 1’deki  $w_1$ ’in %25 artırılarak en yüksek önemli kriter olduğu; diğer ağırlıkların ise oransal olarak azaltıldığı senaryodur.
- Senaryo 6, Senaryo 1’deki  $w_3$ ’in %30 artırılarak en yüksek önemli kriter olduğu; diğer ağırlıkların ise oransal olarak azaltıldığı senaryodur.
- Senaryo7, Senaryo1’deki en yüksek ağırlığa sahip  $w_2$ ’nin %75 artırılarak çok daha baskın bir kriter (toplam kriter ağırlığının yarısından fazla) olduğu; diğer ağırlıkların ise oransal azaltıldığı senaryodur.
- Senaryo 8, Senaryo 1’deki en önemli iki kriter olan  $w_2$  ve  $w_3$ ’ün %20 artırılarak daha önemli hale getirildiği; diğer ağırlıkların ise oransal olarak azaltıldığı senaryodur.
- Senaryo 9, Senaryo 1’deki en düşük öneme sahip olan  $w_1$  ve  $w_4$ ’ün %20 artırılarak toplam kriter ağırlığının yarısından fazlasına sahip olacak şekilde daha baskın hale getirildiği; diğer ağırlıkların ise oransal olarak azaltıldığı senaryodur.
- Senaryo 10, Senaryo 1’deki önem sırasına göre uç ve orta noktaların yer değişiminin etkisini görmek amacıyla  $w_1$  ile  $w_2$ ’nin ve  $w_3$  ile  $w_4$ ’ün karşılıklı yer değiştirdiği senaryodur.

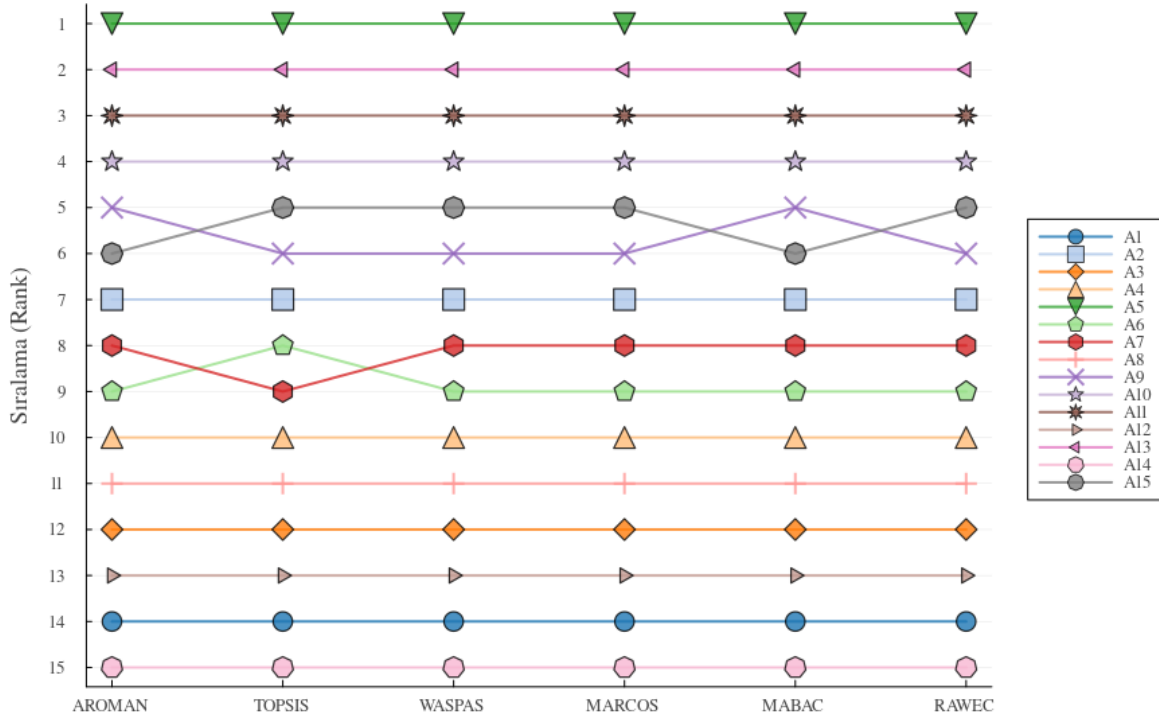
Bu analize göre elde edilen sıralama sonuçları Şekil 2’de sunulmuştur. Şekil 2’nin (a) kısmında yer alan  $\beta$  parametresine ilişkin 11 farklı değer için yapılan analiz, AROMAN yönteminin parametre değerlerindeki değişime karşı dirençli (robust) olduğunu göstermektedir. Yalnızca, A9 ve A15 alternatiflerinin sıralamalarında  $\beta$  parametresinin değerinin 0,3 olmasından itibaren karşılıklı olarak 1 sıra değiştiği tespit edilmiştir. Şekil 2’nin (b) kısmında yer alan kriter ağırlıklarına ilişkin oluşturulan senaryolara ilişkin analiz, AROMAN yönteminin kriter ağırlıklarındaki değişime karşı da dirençli (robust) olduğunu göstermektedir. Sıralamadaki ilk dört (A5, A13, A11 ve A10) ve son üç (A12, A1 ve A14) sıradaki ülkelerin sıralamaları bütün senaryolar altında stabil kalırken; A2, A9 ve A15’in kriter ağırlıklarındaki değişimlere hassas ülkeler olduğu, sıralamalarının beşinci, altıncı ve yedinci sıralar arasında değiştiği ve Senaryo 5, Senaryo 6 ve Senaryo 7’de bu değişimlerin belirginleştiği görülmüştür. A6 ve A7 ülkeleri arasındaki sekizinci ve dokuzuncu sıralar arasındaki pozisyon değişiminin yalnızca  $w_2$  ağırlığının çok daha baskın hale geldiği Senaryo 7’de gerçekleşmiştir. Bu durumun A6’nın K2 açısından daha iyi performansa sahip olmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. A3, A4 ve A8 ülkelerinin ise sınırlı bir sıralama değişimi ile onuncu, on birinci ve on ikinci sıralar için rekabet içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, önerilen LOGSTA-AROMAN yönteminin istikrarlı bir şekilde en iyi ve en kötü performans sergileyen ülkeleri tespit edebildiğini ve birbirine yakın performans gösteren alternatifler için kriter ağırlığı değişimlerinin etkisini ortaya koymuştur.



Şekil 2: Duyarlılık Analizi Sonuçları

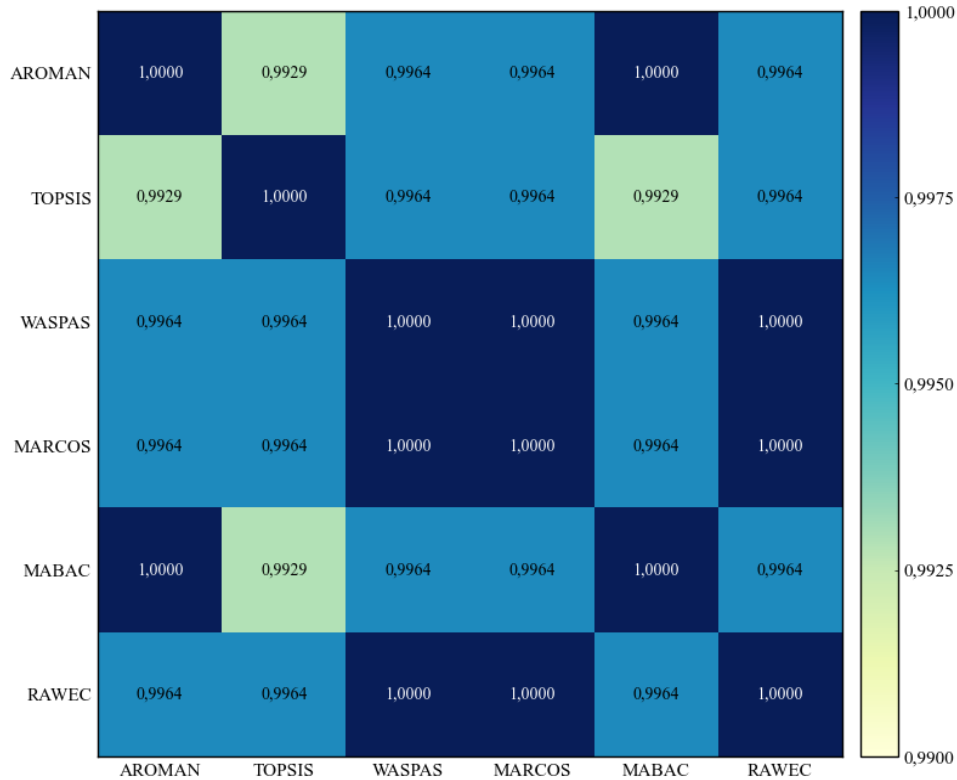
### Karşılaştırmalı analiz

LOGSTA-AROMAN yönteminin sıralama sonuçlarının güvenilirliğini test etmek için ise karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. Literatürde kabul görmüş ve farklı yaklaşımlara sahip ÇKKV yöntemleri kullanılarak elde edilen sıralama sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları

Karşılaştırmalı analizde kullanılan yöntemlerin farklı yaklaşımlara sahip olmasına karşın, ilk dört sıradaki ve son altı sıradaki alternatiflerin sıralamasının değişmemesi LOGSTA-AROMAN yaklaşımının güvenilir ve uyumlu sonuçlar ürettiğine işaret etmektedir. Yöntemler değiştikçe sıralaması etkilenen ülkelerin performans olarak birbirlerine çok yakın ülkeler olduğu görülmektedir. Bu değişimin de yalnızca 1 basamak olması farklılığın göz ardı edilebileceğine işaret etmektedir. Karşılaştırmalı analiz sonucunda yöntemlerin ortaya koyduğu sonuçların birbiriyle olan uyumunu belirlemek için hesaplanan Spearman korelasyon katsayıları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Spearman Korelasyon Katsayıları

Şekil 4'te, AROMAN yönteminin TOPSIS, WASPAS, MARCOS, MABAC ve RAWEC yöntemleriyle yaklaşık olarak %99,3'ün üzerinde uyuma sahip olduğu ve özellikle MABAC ile tam uyuma sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, LOGSTA-AROMAN yönteminin güvenilir sonuçlar ürettiğini doğrulamıştır.

## Sonuç

Çalışmada NRI verileri kullanılarak Türkiye ve seçilmiş MENA ülkelerinin dijital hazırlık performansları bütünlük ÇKKV yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında ilk iki araştırma sorusunu cevaplandırmak için en güncel ÇKKV yöntemlerinden olan LOGSTA ile kriter ağırlıkları objektif olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular insan boyutunun ve yönetim koşullarının ülkelerin dijital hazırlık performansında daha belirleyici olduğunu, ardından teknoloji boyutunun geldiğini, ancak etki boyutunun daha sınırlı bir önem düzeyine sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, dijital hazırlık performansının yalnızca teknolojik altyapıya sahip olduğunda güçlenmediğini göstermektedir. Politika perspektifinden bakıldığında, bu bulgular ülkelerin dijital hazırlık performanslarını güçlendirmeleri için öncelikli olarak dijital becerilerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmaları ve ardından işletmelerin ve kamu kurumlarının bu teknolojileri kullanabilecekleri düzenlemeleri hayata geçirmeleri gerektiğine işaret etmektedir. Dolayısıyla, bu bulgular neticesinde bireylerin ve kurumların teknolojiyi kullanım kapasitelerini artırması ülkelerin dijital hazırlık performanslarının güçlenmesine daha fazla katkı sağlayacağı sonucuna varılmaktadır. Daha sonra ise AROMAN yöntemiyle ülkelerin performansları sıralanmıştır. Dolayısıyla NRI raporunda bahsedilen eşit ağırlık varsayımına alternatif objektif ağırlıklara sahip göstergeler altında veriye dayalı bir sıralama çerçevesi oluşturulmuştur. Sıralama sonuçlarına göre İsrail, Birleşik Arap Emirlikleri, Suudi Arabistan, Katar ve Umman ilk beş sırada yer almıştır. Öne çıkan bu ülkelerin önemli bir kısmının Körfez Bölgesi'nden olduğu görülmüştür. Bölge içinde yürütülen dijital altyapı yatırımlarının dönüşüm etkisini bölgeye yaymakta olduğunu göstermiştir. Türkiye ise bu ülkeleri takiben altıncı sırada performans göstermiştir. Bu sonuç, Türkiye'nin teknoloji ve yönetim boyutlarında iyi bir performansa sahip olduğunu; ancak, insan ve etki boyutlarında hâlâ gelişmeye açık yönlerinin bulunduğuna işaret etmektedir. Türkiye'nin performansı Umman ile oldukça yakın olmasına rağmen beşinci sıraya yükselememesinin nedeni etki ve yönetim boyutunda görece düşük performans sergilemiş olmasıdır. Benzer şekilde, daha iyi performans göstermiş olan İsrail, Birleşik Arap Emirlikleri, Suudi Arabistan, Katar ile Türkiye arasındaki farkın yalnızca teknolojik kapasiteye bağlı olmadığı, bu kapasitenin insan boyutu ve çıktı üretme gücünden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Türkiye'nin daha iyi bir performansa sahip olabilmesi için öncelikli olarak teknoloji kullanım kapasitesinin artırılması, toplumsal gelişim, yaşam kalitesine odaklanması gerektiği görülmektedir. Buna karşılık, Tunus, Cezayir, Yemen gibi ülkelerin düşük performans gösterdiği görülmüştür. Bu ülkelerin tüm boyutlar açısından zayıf performansa sahip olmasının bir sonucu olarak yorumlanabilir.

Üçüncü ve dördüncü araştırma sorularını cevaplandırmak için kapsamlı bir duyarlılık analizi ve karşılaştırmalı analiz yürütülmüştür. Duyarlılık analizi kapsamında LOGSTA yönteminde yer alan  $\beta$  parametresinin farklı değerler alması durumunda ve on farklı ağırlık kümesi söz konusu olduğunda ülkelerin sıralamalarının nasıl değişkenlik gösterdiği incelenmiştir. Elde edilen duyarlılık analizi sonuçları, LOGSTA-AROMAN sıralama sonuçlarının farklı ağırlık kümelerine ve farklı  $\beta$  parametre değerlerine karşı dayanıklı olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, sıralama sonucunun yöntemlerden bağımsız ve sağlam olduğunu göstermek amacıyla sıralamalar TOPSIS, WASPAS, MARCOS, MABAC ve RAWEC yöntemleriyle yeniden hesaplanmıştır. Yapılan bu analiz, LOGSTA-AROMAN sonuçlarının alternatif yöntemlerle uyumlu olduğunu göstermiştir. Yöntemden bağımsız şekilde özellikle en iyi ve en kötü performans gösteren ülkelerin istikrarlı bir yapı sergilediği görülmüştür. Sıralama sonuçlarının yüksek düzeyde tutarlı bir yapıda olması Spearman korelasyon katsayılarıyla (0,9929-1,000) doğrulanmıştır.

Genel olarak, Türkiye ve MENA ülkeleri bağlamında dijital hazırlığı ölçen bu çalışma literatüre hem uygulama alanı açısından hem de metodolojik açıdan önemli çıktılar sağlamaktadır. Çalışma dijital hazırlık performanslarını artırmak isteyen ülkelerin odaklanması gereken kriterleri ön plana çıkararak mevcut durumlarını diğer ülkelere kıyasla analiz imkânı sunmaktadır. Çalışma ile elde edilen bulguların literatürdeki diğer çalışmalarla desteklenmesi araştırmanın geçerliliği açısından önem arz etmektedir. Dijital hazırlık performansı ve ÇKKV kapsamında yapılan çalışmalar irdelendiğinde Altıntaş (2021) G20 ülkelerini, Arıkan Kargı (2022) OECD ülkelerini, Özbacı (2025) Türk Devletleri Teşkilatı üye ülkeleri CISCO göstergeleri ile Satı (2024) Avrupa Birliği'ne üye ve aday ülkeleri üç ana endeksin bazı göstergeleri ile, Tokmergenova ve Dobos (2024) 130 ülkeyi NRI faktörlerinin ağırlıklarını eşit kabul ederek ele almıştır. Görüldüğü üzere, hem seçilen ülke grupları açısından hem kullanılan veri setinde yer alan göstergelerin farklılıklarından kaynaklı olarak mevcut çalışma ile karşılaştırılabilir

bulgular sunulamamaktadır. Qazi (2025) ise NRI kriterlerini ağırlıklandırmış, ancak önem sıralamasını teknoloji, etki, insan, yönetim olacak şekilde elde etmiştir. Ancak bu sonuç, çalışmamızın bulgusu olan insan, yönetim, teknoloji, etki ve önem sıralamasından farklıdır. Bu durum ÇKKV yöntemlerinin göreceli önem düzeylerini ortaya koyması ve Qazi (2025) tarafından yapılan çalışmanın 134 ülke için yapılmış olması sebebiyle açıklanabilir. Bu noktada, mevcut çalışmanın literatüre olan katkısı daha fazla ortaya konulabilmektedir. Çalışmanın sunduğu bulgular belirli ülkeler özelinde önem verilmesi gereken faktörleri öne çıkarmaktadır. Tüm bu değerlendirmeler doğrultusunda çalışmaya konu olan ülke grubunun özgünlüğü nedeniyle bulguların karşılaştırılması söz konusu olamayacağı görülmektedir. Bu durum, çalışmanın özgün değerini ortaya koymakla birlikte, elde edilen ülke performanslarının kıyaslanmasını kısıtlamaktadır.

Çalışma önemli çıktılar sağlamasının yanı sıra, çeşitli sınırlılıklara sahiptir. Elde edilen bulgular yalnızca NRI kapsamında sunulan veriler ışığında elde edilmiştir. Ayrıca sıralama sonuçları çalışma kapsamında ele alınan ülke grubu içerisinde göreceli bir sıralama sağlamaktadır. Bu nedenle farklı ülkelerin örneklemelerinin eklenmesiyle sonuçlar değişebilecektir. Ek olarak, veri setinde yer alan tüm kriterlerin fayda yönlü olması özellikle AROMAN yöntemi için bir sınırlılık olarak ifade edilebilir.

Gelecek çalışmalar için performans sıralamalarına zaman boyutu eklenebilir. Ayrıca ülkelerin dijital hazırlık performanslarının hesaplanması için farklı göstergeleri içeren veri setleri de objektif ağırlıklandırma yöntemleri ile ele alınabilir. Ek olarak farklı endeksler için de duyarlılık analizleri yapılarak, endeksler arası hassasiyetler karşılaştırılabilir.

#### **Hakem Değerlendirmesi / Peer-review:**

Dış bağımsız

*Externally peer-reviewed*

#### **Çıkar Çatışması / Conflict of interests:**

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

*The authors have no conflict of interest to declare.*

#### **Finansal Destek / Grant Support:**

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmişlerdir.

*The authors declared that this study has received no financial support.*

#### **Yazar Katkıları / Author Contributions:**

Fikir/Kavram/Tasarım - *Idea/Concept/ Design*: T.Ö., G.Z.Ö. Veri Toplama ve/veya İşleme - *Data Collection and/or Processing*: T.Ö. Analiz ve/veya Yorum - *Analysis and/or Interpretation*: T.Ö. Kaynak Taraması - *Literature Review*: T.Ö., G.Z.Ö. Makalenin Yazımı - *Writing the Article*: T.Ö., G.Z.Ö. Eleştirel İnceleme - *Critical Review*: T.Ö., G.Z.Ö. Onay - *Approval*: T.Ö., G.Z.Ö.

#### **Kaynakça / References**

- Afonasova, M. A., Panfilova, E. E., Galichkina, M. A. ve Ślusarczyk, B. (2019). Digitalisation in economy and innovation: The effect on social and economic processes. *Polish Journal of Management Studies*, 19(2), 22-32. <https://doi.org/10.17512/pjms.2019.19.2.02>
- Ajide, F. M. ve Osinubi, T. T. (2023). Digital technology usage and entrepreneurship in Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 15(7), 817-830. <https://doi.org/10.1080/20421338.2023.2209476>
- Altıntaş, F. F. (2021). G20 ülkelerinin dijital hazırlık performanslarının analizi: ENTROPİ tabanlı VIKOR yöntemi ile bir uygulama. *Akademik Hassasiyetler The Academic Elegance*, 8(17), 401-427.

- Arkan Kargı, V. S. (2022). Determining digital readiness levels of the OECD countries with CRITIC-based ARAS method. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 13(2), 363-376. <https://doi.org/10.54688/ayd.1111357>
- Bánhidi, Z. ve Dobos, I. (2024). Measuring digital development: ranking using data envelopment analysis (DEA) and network readiness index (NRI). *Central European Journal of Operations Research*, 32(4), 1089-1108. <https://doi.org/10.1007/s10100-024-00919-y>
- Bektaş, S. ve Baykuş, O. (2024). CRITIC-AROMAN yöntemleri ile makro göstergeler ışığında MINT ülkelerinin makroekonomik performansının değerlendirilmesi: 2020-2023 dönemi analizi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, Eylül, 29-51.
- Bhimani, A., Hausken, K. ve Arif, S. (2022). Do national development factors affect cryptocurrency adoption? *Technological Forecasting and Social Change*, 181, 121739. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121739>
- Bilan, Y., Oliinyk, O., Mishchuk, H. ve Skare, M. (2023). Impact of information and communications technology on the development and use of knowledge. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122519. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122519>
- Bošković, S., Švadlenka, L., Dobrodolac, M., Jovčić, S., Chatterjee, P. ve Bauer, L. (2025). Hydrogen Refueling Station Selection Using the AROMAN Method: A Case Study in the Pardubice Region. *Transportation Research Procedia*, 91, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.10.014>
- Bošković, S., Švadlenka, L., Jovčić, S., Dobrodolac, M., Simić, V. ve Bacanin, N. (2023). An Alternative Ranking Order Method Accounting for Two-Step Normalization (AROMAN) – A Case Study of the Electric Vehicle Selection Problem. *IEEE Access*, 11, 39496-39507. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3265818>
- Cisco. (2025). *Global digital readiness index* [https://www.cisco.com/c/dam/m/en\\_us/solutions/ai/readiness-index/2025-m10/documents/cisco-ai-readiness-index-2025-realizing-the-value-of-ai.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/ai/readiness-index/2025-m10/documents/cisco-ai-readiness-index-2025-realizing-the-value-of-ai.pdf) Erişim tarihi 26 Aralık 2025
- Gupta, S., Ghosh, P. ve Sridhar, V. (2022). Impact of data trade restrictions on IT services export: A cross-country analysis. *Telecommunications Policy*, 46, 102403. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102403>
- Hwang, C.-L. ve Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making* (C. 186). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- IMD World Competitiveness Center. (2024). *World Digital Competitiveness Ranking 2024: The digital divide – Risks and opportunities* <https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/> Erişim tarihi 26 Aralık 2025
- Jemović, M., Marković, I., Ljajić, A. ve Marinković, S. (2025). Network readiness, financial inclusion, and sustainable development goals: Insights from a clustering approach. *Borsa Istanbul Review*, 25(5), 999-1011. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2025.05.013>
- Kara, K., Yalçın, G. C., Acar, A. Z., Simic, V., Konya, S. ve Pamucar, D. (2024). The MEREC-AROMAN method for determining sustainable competitiveness levels: A case study for Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 91, 101762. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101762>
- Kara, K., Yalçın, G. C., Simic, V., Tuğrul Yıldırım, A., Pamucar, D. ve Siarry, P. (2024). A spherical fuzzy-based DIBR II-AROMAN model for sustainability performance benchmarking of wind energy power plants. *Expert Systems with Applications*, 253, 124300. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124300>
- Košíková, M. ve Vašaničová, P. (2025). Exploring the Link Between Digital Readiness and Sustainable Development: A Cluster Analysis of EU Countries. *Sustainability (Switzerland)*, 17, 5080. <https://doi.org/10.3390/su17115080>
- Miškufová, M., Košíková, M., Vašaničová, P. ve Kisěřáková, D. (2025). Digitalization and Artificial Intelligence: A Comparative Study of Indices on Digital Competitiveness. *Information (Switzerland)*, 16, 286. <https://doi.org/10.3390/info16040286>
- Nikolić, I., Milutinović, J., Božanić, D. ve Dobrodolac, M. (2023). Using an Interval Type-2 Fuzzy AROMAN Decision-Making Method to Improve the Sustainability of the Postal Network in Rural Areas. *Mathematics*, 11(14), 3105. <https://doi.org/10.3390/math11143105>

- OECD (2019a), Vectors of digital transformation (OECD Digital Economy Papers, No. 273). OECD Publishing, <https://doi.org/10.1787/5ade2bba-en> Erişim tarihi 26 Aralık 2025
- OECD (2019b). Public-private partnerships. In *Government at a glance Southeast Asia 2019* (pp. 72-74). OECD Publishing. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/09/government-at-a-glance-southeast-asia-2019\\_g1g94fff/9789264305915-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/09/government-at-a-glance-southeast-asia-2019_g1g94fff/9789264305915-en.pdf) Erişim tarihi 26 Aralık 2025
- Olteanu (Burcă), A. L., Ionaşcu, A. E., Cosma, S., Barbu, C. A., Popa, A., Cioroiu, C. G. ve Goswami, S. S. (2024). Prioritising the European Investment Sectors Based on Different Economic, Social, and Governance Factors Using a Fuzzy-MEREC-AROMAN Decision-Making Model. *Sustainability*, 16(17), 7790. <https://doi.org/10.3390/su16177790>
- Oxford Insights (2025). *Government AI Readiness Index 2025*. <https://oxfordinsights.com/ai-readiness/government-ai-readiness-index-2025/> Erişim tarihi 26 Aralık 2025
- Özbalcı, A. A. (2025). Türk devletleri teşkilatı'nın dijital dönüşümü: CRITIC ve ARAS ile performans analizi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(52), 293-332. <https://doi.org/10.46928/.t.cusbe.1571555>
- Pamuçar, D. ve Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>
- Portulans Institute. (2024). *Network Readiness Index 2024 Building a Digital Tomorrow: Public-Private Partnerships for Digital Readiness*. <https://networkreadinessindex.org/> Erişim tarihi 15 Aralık 2025
- Puška, A., Štilić, A., Pamučar, D., Božanić, D. ve Nedeljković, M. (2024). Introducing a Novel multi-criteria Ranking of Alternatives with Weights of Criterion (RAWEC) model. *MethodsX*, 12, 102628. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102628>
- Qazi, A. (2025). Prioritising factors influencing global network readiness index with bayesian belief networks. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 11, 100522. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2025.100522>
- Riaz, M., Shahzadi, T., Saqlain, M. ve Merigo, J. M. (2026). Integrated LOPCOW-AROMAN framework with softmax hamacher information aggregation: Enhancing airport security screening efficiency in uncertain environment. *Information Sciences*, 727, 122776. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2025.122776>
- Satı, Z. E. (2024). Comparison of the criteria affecting the digital innovation performance of the European Union (EU) member and candidate countries with the entropy weight-TOPSIS method and investigation of its importance for SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, 200, 123094. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123094>
- Seifi, N., Keshavarz, M., Kalhor, H., Shahrahipour, S. ve Adibifar, A. (2025). Ranking of Criteria Affecting the Implementation Readiness of Internet of Things in Industries Using TISM and Fuzzy TOPSIS Analysis. *Journal of Operations Intelligence*, 3(1), 47-67. <https://doi.org/10.31181/jopi31202533>
- Silva, D. S., Yamashita, G. H., Cortimiglia, M. N., Brust-Renck, P. G. ve ten Caten, C. S. (2022). Are we ready to assess digital readiness? Exploring digital implications for social progress from the Network Readiness Index. *Technology in Society*, 68, 101875. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101875>
- Song, M., Stević, Ž., Badi, I., Marinković, D., Lv, Y. ve Zhong, K. (2025). Assessing public acceptance of autonomous vehicles using a novel IRN PIPRECIA - IRN AROMAN model. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 23(1), 127. <https://doi.org/10.22190/FUME240729040S>
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A. ve Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to Compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>
- Stevic, Z., Ulutas, A., Topal, A., Marinkovic, D. ve Cavoski, S. (2025). A New Objective Method for Determining Criteria Weights in MCDM Models - LOGSTA. *International Journal of Simulation Modelling*, 24(4), 589-600. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM24-4-738>

- Tokmergenova, M., ve Dobos, I. (2024). Analysis of the Network Readiness Index (NRI) Using Multivariate Statistics. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 32(1), 28-36. <https://doi.org/10.3311/PPso.20548>
- Tran, T. L. Q., Herdon, M., Phan, T. D. ve Nguyen, T. M. (2023). Digital skill types and economic performance in the EU27 region, 2020-2021. *Regional Statistics*, 13(3), 536-558. <https://doi.org/10.15196/RS130307>
- Valaskova, K., Juracka, D., Nagy, M. ve Chaudhuri, S. (2025). Digital readiness across the European Union: A multidimensional empirical assessment of structural determinants, intra-regional disparities, and strategic implications in the era of Industry 5.0. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 20(3), 1035-1086. <https://doi.org/10.24136/eq.3886>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda, *Journal of Strategic Information Systems*, 28, 118-144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- World Bank (2025) *Digital transformation: Overview* <https://www.worldbank.org/en/topic/digital/overview> Erişim tarihi 26 Aralık 2025
- World Bank. (2016). *Digital Adoption Index*. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016/Digital-Adoption-Index> Erişim tarihi 28 Aralık 2025
- World Economic Forum (2023). *Digital transition framework: An action plan for public-private collaboration*. <https://www.weforum.org/publications/digital-transition-framework-an-action-plan-for-public-private-collaboration/> Erişim tarihi 26 Aralık 2025
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. ve Zakarevicius, A. (2012). Optimisation of Weighted Aggregated Sum Product Assessment. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 122(6), 3-6. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>
- Zhang, X., Zhang, N. (Aaron), Li, J., Li, Q., Liu, X., Cao, C. (Lukas), Mao, H., Yan, R., Qi, Y., Yang, X. (Chenny), Li, J., Zhou, A. K., Yan, X., Feng, H. ve Chen, F. (2026). Machine learning nested MCDM model to enhance decision reliability for transport safety engineering. *Results in Engineering*, 29, 108543. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108543>