

**ENTROPİ DESTEKLİ MABAC YÖNTEMİ İLE AB ÜLKELERİ DİJİTAL DÖNÜŞÜM  
PERFORMANSI ANALİZİ**  
**DIGITAL TRANSFORMATION PERFORMANCE ANALYSIS OF EU COUNTRIES WITH  
ENTROPY SUPPORTED MABAC METHOD**

Eda ÇINAROĞLU

Erciyes Üniversitesi/Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü

[ecinaroglu@erciyes.edu.tr](mailto:ecinaroglu@erciyes.edu.tr)

ORCID No: 0000-0002-2904-3376

**ÖZ**

Endüstriyel devrimler sonrası hem ülkelerin, hem de işletmelerin küresel boyutta yaşanan değişimlere ayak uydurması ve artan rekabet ortamında kalıcı olabilmek adına yeni stratejiler geliştirmesi elzemdir. Dijitalleşme bu stratejilerin önde gelenlerinden biridir. Bu kavram teknoloji ile uyum sağlanabilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI), AB ülkelerinin dijital performanslarını takip etmek ve iyileştirmek amacıyla 2015 yılında Avrupa Birliği (AB) komisyonu tarafından tasarlanmıştır. Çalışmada yeni DESİ metodolojisi esas alınarak AB ülkeleri 2021 yılı dijital dönüşüm performanslarının ÇKKV teknikleri ile analizi hedeflenmiştir. Analiz sürecinde dijital dönüşüm performansı ölçüm kriterlerinin önem düzeyleri Entropi yöntemi ile belirlenmiş olup, ülkelerin performans sıralamasına ise MABAC yöntemi ile ulaşılmıştır. Esas alınan kriterler içerisinde en fazla önem arz eden kriterin dijital teknolojinin entegrasyonu olduğu belirlenmiştir. Dijital dönüşüm performansı en yüksek olan AB ülkelerinin Danimarka, Finlandiya ve İsveç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sıralamanın sonlarında yer alan ve dijital dönüşüm performansı en düşük olan AB ülkeleri ise Yunanistan, Bulgaristan ve Romanya'dır. Ulaşılan sıralama sonuçları DESİ endeksi sıralama sonuçları ile çok yüksek düzeyde uyum içermektedir.

**ABSTRACT**

Following the industrial revolutions, it is critical for both countries and businesses to keep up with global changes and develop new strategies in order to remain competitive in an ever-increasingly competitive environment. One of the most prominent of these strategies is digitalization. This concept is defined as the process of adapting to technology. The European Union (EU) commission designed the Digital Economy and Society Index (DESI) in 2015 to track and improve the digital performance of EU countries. This study's goal is to analyze the digital transformation performances of EU countries in 2021 using MCDM techniques and the new DESI methodology. The Entropy method is used to determine the importance levels of the digital transformation performance measurement criteria and the MABAC method is used to determine the performance ranking of the countries. The integration of digital technology has been determined to be the most important criterion among the criteria used. Denmark, Finland and Sweden have been determined to have the best digital transformation performance in the EU. Greece, Bulgaria and Romania are the EU countries at the bottom of the ranking with the worst digital transformation performances. The obtained ranking results are very close to the DESI index ranking results.

**Geliş Tarihi:**

27.05.2022

**Kabul Tarihi:**

12.10.2022

**Yayın Tarihi:**

27.10.2022

**Anahtar Kelimeler:**

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), Entropi, MABAC, Dijital Dönüşüm, Performans Analizi

**Keywords:**

Multi-Criteria Decision Making (MCDM), Entropy, MABAC, Digital Transformation, Performance Analysis

**DOI:** <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1122529>

**Atf/Cite as:** Çınaroğlu, E. (2022). Entropi Destekli MABAC Yöntemi ile AB Ülkeleri Dijital Dönüşüm Performansı Analizi. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi, Dijitalleşme Özel Sayısı*. 18-34.

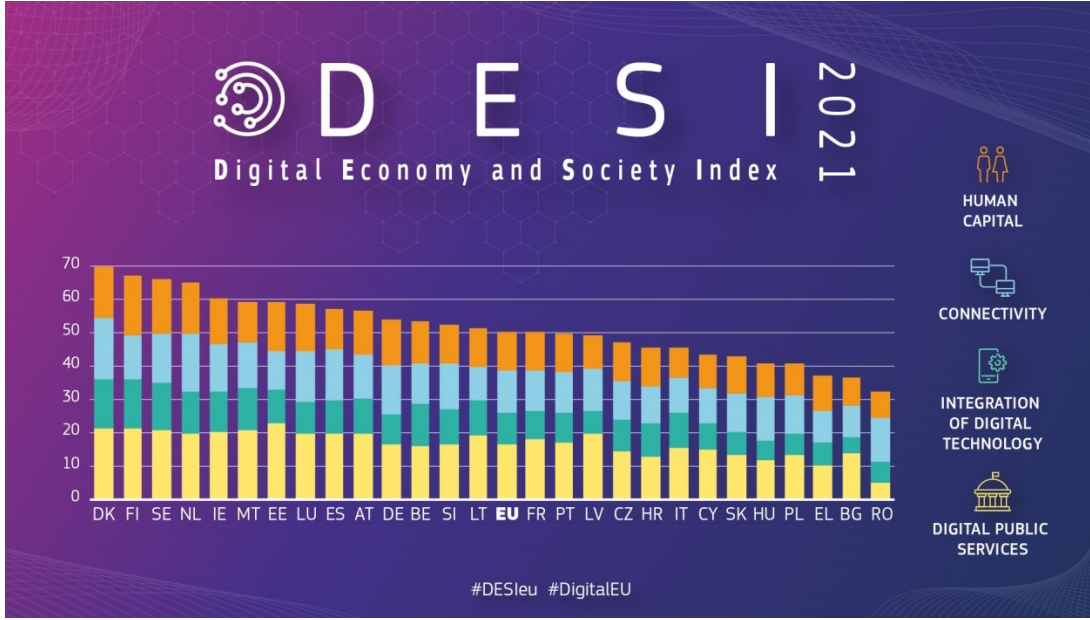
## Giriş

Toplumsal gelişme ve modernliğe adım olarak nitelendirilen endüstri devrimleri teknolojik değişimler ve ilerlemeler ile birlikte ortaya çıkmıştır. İlk endüstri devrimi 18. yüzyılda buharlı makinelerin icadı ile başlamış olup, emek gücü esaslı üretimden makine gücü esaslı üretime geçişi beraberinde getirmiştir. Endüstrileşmede ikinci aşama üretimde elektrik gücünün enerji kaynağı olarak kullanımı ile seri üretim mantığının hayata geçirilmesi, verimliliğin artırılması, maliyetlerin düşürülmesi ve fiyatların aşağı çekilmesi fırsatlarını doğurmuştur. Bu üretim miktarı artışı ülkelerde refah seviyesini yükselterek teknolojik gelişmelere ivme kazandırmış ve üçüncü endüstri devrimine temel teşkil etmiştir. Üçüncü endüstri devrimi 1960'lı yıllarda bilgisayar ve internetin ticari amaçla kullanımı ile başlamıştır. Bilgi ve iletişim alanındaki ilerlemeler ile üretim alanında otomasyon desteklenmiştir. Endüstri 4.0 ise toplumsal hayatın bütününe etkileyecek bir teknolojik gelişim ve dijitalleşme süreci olarak karşımıza çıkmıştır. Endüstri 4.0, bilginin kontrollü bir ortamda makineler arasında aktığı ve insan müdahalesinin minimuma indirildiği yüksek düzeyde dijitalleştirilmiş üretim süreçlerini ifade eden bir kavramdır (Qin vd., 2016: 174). Modern ve rekabetçi üretim için bir ürün fikrinin yaratılmasından, üretim ve kalite kontrolün organizasyonunu ve nihai endüstriyel hizmetlere kadar üretim sürecinin tamamen dijitalleştirilmesini ifade eder (Arsić ve Gajić, 2021: 133). Büyük veri, nesnelerin interneti, bulut teknolojisi, yapay zeka uygulamaları, siber-fiziksel sistemler, akıllı makineler ve akıllı ürünler gibi kavramlar ile karakterize edilen bu süreç ilk olarak 2011 yılında dile getirilen teknoloji-sanayi entegrasyonu olarak da tanımlanabilir (Schumacher vd., 2016: 162; Castelo-Branco vd., 2019: 22). Bu konsept kalite artışı, üretim maliyetlerinde azalış, verimlilik, esneklik, üretkenlik ve rekabet avantajlarını beraberinde getirmektedir (Kusiak, 2018: 514; Masood ve Sonntag, 2020: 3). Endüstriyel devrimler sonrası hem ülkelerin, hem de işletmelerin küresel boyutta yaşanan değişimlere ayak uydurması ve artan rekabet ortamında kalıcı olabilmek adına yeni stratejiler geliştirmesi elzemdir. Dijitalleşme bu stratejilerin önde gelenlerinden biridir.

Dijitalleşme kavramı bilginin sayısallaştırılması olarak ifade edilmektedir (Ersöz ve Özmen, 2020: 172). Ürün ve hizmetlerin üretiminde kaynakların etkin kullanımını hedefleyen, yüksek değer üretebilecek fırsatlar yaratılması amacıyla teknoloji ile uyum sağlanabilmesi süreci olarak da tanımlanabilir. Dijital teknolojilerin kullanımı ile iş süreçlerinde iyileştirmeyi esas alan bir dönüşümdür. Bu dönüşüm teknolojiadaki hızlı ilerlemelerle sürekli devam eden bir nitelik arz etmektedir.

2020 yılında hayatımıza giren Covid-19 pandemisi dijitalleşme sürecini hızlandıran bir faktör olmuştur. Bu virüsün dijital bir dünya devletinin kurulması maksadı ile laboratuvarlarda üretildiği tezini savunan komplo teorisyenleri çok sayıdadır (Bozkurt, 2020: 117). Dijital teknolojiler modern dünya ekonomisinin ana güçleri konumuna gelmiştir. Yaşanan bu zorunlu dijital dönüşüm ülkeler için hem yeni fırsatlar, hem de tehditleri bünyesinde barındırmaktadır. Bu minvalde dijital hazırlık ve dijital dönüşüm kavramlarının tanımlanması, ülkelerin bu dijital dönüşüm sürecine dair performanslarının tespiti ve sürekli olarak izlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sayede sorunlu alanların tespiti, öncelikli politika ve stratejilerin geliştirilmesi mümkün olabilecektir.

“Dijital ekonomi” terimi ilk olarak Massachusetts Üniversitesi'nden Nicholas Negroponte (1995) tarafından kullanılmıştır. Bu kavram devlet, iş dünyası ve toplum tarafından bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) kullanımı olarak anlaşılmaktadır (Moroz, 2017: 175). Ardından, ekonominin geleceği bilişimde görülerek ülkelerin bu alandaki gelişim düzeyini belirlemek için Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) geliştirilmiştir. DESI, AB ülkelerinin dijital performanslarını takip etmek, iyileştirmek ve dijital pazarın oluşturulması için öncelikli yatırım alanlarını belirlemek amacıyla 2015 yılında Avrupa Birliği (AB) komisyonu tarafından tasarlanmıştır (Stoica ve Bogoslov, 2017: 258). DESI, 28 Avrupa ülkesinin dijital ekonomi ve toplumsal gelişim anlamında kaydettiği ilerlemeyi karakterize etmektedir (Stavytsky vd., 2019: 246). Avrupa Komisyonu, 2014 yılından bu yana Avrupa'nın genel dijital performansını gözlemleyerek her yıl AB ülkeleri DESI raporlarını yayınlamaktadır. Şekil 1'de 2020 yılı verilerine dayalı olarak oluşturulan DESI 2021 üye ülkeler sıralaması yer almaktadır. Dijital dönüşüm performansı en yüksek olan ülkelerin Danimarka, Finlandiya ve İsveç olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 1. DESI 2021 raporu (<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>)

Çalışmada AB ülkeleri 2021 yılı dijital dönüşüm performanslarının ÇKKV teknikleri ile analizi hedeflenmiştir. Ülkelerin ekonomide ve toplumda büyük dönüşümleri tetikleyen Endüstri 4.0'a dayalı ileri teknolojileri uygulayabilme kabiliyetleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Ulaşılan sonuçlar ülkelerin dijitalleşme durumuna ilişkin bilgi vermekte, politika yapımcıların öncelikli yatırım ve stratejik eylem gerektiren alanları belirlemelerine yardımcı olma niteliği taşımaktadır. Analiz sürecinde dijital dönüşüm performansı ölçüm kriterlerinin önem düzeyleri Entropi yöntemi ile belirlenmiş olup, ülkelerin performans sıralamasına ise MABAC yöntemi ile ulaşılmıştır. ÇKKV yöntemlerinin dijital dönüşüm performansı analizine yönelik kullanımını içeren çok az sayıda yayın mevcuttur. 2015 yılında literatüre kazandırmış olan MABAC yönteminin bu amaçla kullanıldığı yerli veya yabancı herhangi bir yayına rastlanmamıştır. Çalışmanın bu bağlamda literatüre katkı sağlayacağı ümit edilmektedir. Çalışmanın ülkelerin dijital dönüşüm performansı analizinde 2021 yılında gerçekleştirilen düzenlemeler sonrasındaki DESI metodolojisini esas alan ilk değerlendirme olması sebebiyle de özgün nitelik taşıdığı düşünülmektedir.

Çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde literatürde DESI analizini konu edinen yayınlar ile Entropi temelli MABAC yönteminin farklı analizler kapsamında kullanıldığı çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölüm veriler, metodoloji ve yöntemler ile ilgili detaylı bilgilendirmeler içermektedir. Dördüncü bölümde AB ülkeleri dijital dönüşüm performansı analizi gerçekleştirilmiştir. Son bölüm ise ulaşılan sonuçlar ve geleceğe yönelik önerileri içermektedir.

### Literatür Taraması

Araştırma literatürü iki açıdan ele alınmıştır. İlk bölümde dijital dönüşüm performansı analizine yönelik yapılmış olan araştırmalar irdelenmiştir. İkinci bölüm ise Entropi destekli MABAC yönteminin farklı karar problemleri kapsamında kullanıldığı çalışmaları içermektedir.

Dijital hazırlık ve dijital dönüşüm son yıllarda araştırmacıların oldukça ilgisini çeken konu başlıkları olmuştur. Cahyadi ve Magra (2021), G20 ülkelerinin dijital hazırlık, rekabet ve inovasyon boyutları arasındaki ilişkinin tespitine yönelik 2019 yılı CISCO Dijital Hazırlık Endeksi (CDRI), Küresel Rekabet Endeksi (GCI) ve Küresel İnovasyon Endeksi (GII) değerlerini korelasyon analizine tabi tutmuşlardır. Sonuçlar bileşenler arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişkinin var olduğuna işaret etmektedir. Çelen (2021), çalışmasında Türkiye'nin dijital dönüşüm hazırlık düzeyinin ölçümünü amaçlamıştır. CDRI verilerinin kullanıldığı analizde Türkiye'nin temel ihtiyaçlar açısından iyi bir seviyede olduğu saptanmıştır. Beşeri sermaye ve iş kolaylığı konularında ortalamanın üzerinde olan ülkemizin, devlet ve işletme yatırımları ile teknoloji alt yapısı ve teknolojiyi benimseme başlıklarında

ortalamanın altında görünüm arz ettiği belirlenmiştir. Koca (2021), 2018 yılı Dijital Dönüşüm Raporu (Digital Transformation Scoreboard) verileri ile AB ülkelerinin dijital dönüşüm performanslarını değerlendirmiştir. ARAS yönteminin kullanıldığı çalışmada dijital dönüşüm performansı açısından en başarılı ülkelerin Finlandiya, Danimarka ve İsveç olduğu sonucuna ulaşmıştır. Goh (2021), ülkelerin dijital performanslarının ayrıntılı tespiti için CDRI ve GCI endekslerinin entegrasyonu ile oluşturulan yeni bir dijital hazırlık endeksi önermiştir. Altıntaş (2021), G20 ülkeleri dijital hazırlık performansı analizinde Entropi destekli VIKOR yöntemini kullanmış; Güney Kore, ABD ve Almanya'nın dijital dönüşüm performansı sıralamasında önde gelen ülkeler olduğu sonucuna ulaşmıştır. Arsic ve Gajic (2021), Entropi destekli TOPSIS yöntemi ile AB ülkeleri gelişmiş dijital teknoloji düzeylerini ölçümlemişlerdir. Banhidi vd. (2020) çalışmalarında dijital dönüşüm performansı ölçümünde kullanılan DESI boyutları arasındaki nedensellik ilişkisinin tespitine yönelik korelasyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Aynı çalışma AB ülkelerinin DESI değerlerine göre kümeleme yöntemi ile gruplandırılması başlığını da içermektedir. Stavtysky vd. (2019) dijital ekonominin gelişimini karakterize eden DESI'yi analiz etmişlerdir. Çalışmada 2013-2018 yıllarını içeren dönemde 28 Avrupa ülkesine ait veriler kullanılarak, panel regresyon yöntemi ile tüketim endeksi ve işsizliğin DESI üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar DESI'nin yaklaşık %98'lik mevcut değerinin önceki trendler tarafından belirlendiğini ve dijital ekonominin gelişiminde hızlı bir kırılmanın mümkün olamayacağını göstermiştir. Nagy (2019) Macaristan'ın DESI skorlarını değerlendirdiği çalışmasında ülkenin dijital ekonomi ve toplumsal durumunu analiz etmek, Ukrayna ile karşılaştırmak ve gelecekteki gelişim trendleri ile ilgili sonuçlar çıkartmak amacını taşımaktadır. Borowiecki vd. (2019) DESI değerlerindeki değişim dinamiklerinin belirlenmesinde zaman serisi analizlerinden faydalanmışlardır. Aynı çalışma DESI değerleri benzerliği açısından ülkeleri sınıflandırmak için kümeleme analizi kullanımını da içermektedir. İnel (2019), çalışmasında veri zarflama analizine (DEA) dayalı olarak AB ülkeleri arasında dijital dönüşümün göreceli verimliliğini ölçmeyi amaçlamıştır. Stoica ve Bogoslov (2017) Romanya'nın DESI skorlarını diğer AB ülkeleri ile kıyasa tabi tutarak ülkenin dijital beceri açığının kapatılması noktasında öneriler geliştirmişlerdir. Moroz (2017), 2002-2016 yıllarını içeren dönem verilerini kullanarak Polonya'daki dijital ekonominin gelişme derecesini Slovakya, Almanya, Litvanya ve İtalya ile kıyaslamıştır. Değerlendirme sürecinde DESI kriterleri esas alınmıştır.

Entropi destekli MABAC yönteminin farklı ÇKKV problemlerinde kullanımını içeren çalışmalar ise şu şekildedir: Kalem ve Akpınar (2022), bir gıda firmasının personel seçimi sürecinde Entropi temelli MABAC yöntemini kullanmışlardır. Atukalp (2021), Türk bankacılık sisteminde faaliyet gösteren mevduat bankalarının performanslarının tespiti ve ortaklık yapısının performansa etkisinin belirlenmesi amaçlı çalışmasında bu yöntemlerden faydalanmıştır. Gülay vd. (2021), bu entegre yaklaşım ile BİST kurumsal yönetim endeksi içerisinde yer alan bankaların performanslarını değerlendirmişlerdir. Bouraima vd. (2021), demiryolu sistem performansı ölçümünde; Gökgöz ve Yalçın (2021), gelişmiş AB ülkelerinin döngüsel ekonomi performansının analizinde; Çınaroğlu (2020), yenilikçi girişimlere ait faaliyetlerin değerlendirilmesinde bu entegre yaklaşımı tercih etmişlerdir. Ndruru ve Utomo (2020), bir performans değerlendirme karar destek sisteminin geliştirilmesi sürecinde; Ulutaş (2019), bir mobilya atölyesi için en iyi pazarlama yöneticisinin seçimi probleminde; Ayçin ve Çakın (2019), ülkelerin inovasyon performansı analizinde bütünlük olarak iki yöntemi birlikte kullanmışlardır. Biswas vd. (2019), yatırım fonlarının performans değerlendirilmesinde; Biswas ve Das (2018), hibrid araç seçimi probleminde entegre yaklaşımı tercih etmişlerdir.

Yazın incelemesi sonucunda literatürde dijital dönüşüm performansının Entropi/MABAC yöntemleri ile analizini konu edinen herhangi bir yayına rastlanmamıştır. Çalışmanın bu anlamda literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## Metodoloji

Çalışmada AB ülkeleri dijital dönüşüm performansının değerlendirilmesi problemi Entropi destekli MABAC yaklaşımı ile ele alınmıştır.

## Entropi Yöntemi

Bir sistemde var olan belirsizlik ve düzensizliğin ifadecisi olan Entropi kavramı ilk olarak Clausius (1865) ile ortaya atılmış, sonrasında enformasyon teorisine Shannon (1948) tarafından entegre edilmiştir. Bu teori içerisinde verilerin sağladığı yararlı bilgi düzeyinin ölçümünde kullanılır. Karar verme sürecinde doğruluk ve

güvenilirlik ise işte bu bilgi düzeyi ile belirlenir (Wu vd., 2011: 5163). Bir karar probleminde esas alınan kriterlerin dağılıma düzeyleri ne denli fazla ise, entropi değerleri de o denli yüksek olur. Bu durum ise ilgili kriterlerin nihai değerlendirme sürecine etkisini o kadar yüksek kılar (Ömürbek ve Balcı, 2017: 15). Yöntem karar verici değerlendirmesi ihtiyacı içermeyen, objektif bir ağırlıklandırma tekniğidir. Entropi yöntemi 5 adım içeren bir çözüm sürecine sahiptir (Li vd., 2011: 2087; Zafar vd., 2021: 3113).

Adım 1. Eşitlik (1)'de gösterilen, n tane alternatif ve m tane kriter içeren karar matrisi oluşturulur.

$$X = [X_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2. Karar matrisinde içerisindeki kriterlerin ölçü birimi aykırılıklarını elimine etmek amacıyla standartlaştırma işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamada kriter türü önem arz eder. Standartlaştırma işlemi esnasında fayda yönlü kriterler için Eşitlik (2)'den, maliyet yönlü kriterler için Eşitlik (3)'den faydalanılır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (3)$$

Adım 3. Önceki adımda standartlaştırılmış olan değerler Eşitlik (4) kullanılarak normalize edilir. Bu eşitlikte yer alan  $f_{ij}$  değeri  $r_{ij}$  değerinin normalize edilmiş şeklidir.

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (4)$$

Adım 4. Bu adımda her bir kriter için entropi değerleri Eşitlik (5) kullanımı ile hesaplanır.

$$H_j = -\frac{\sum_{i=1}^m f_{ij} \cdot \ln f_{ij}}{\ln m} \quad (5)$$

Adım 5. En son adım her kriterin önem düzeyi yani ağırlık değerinin Eşitlik (6) kullanımı ile tespitini içerir.

$$w_j = \frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^n 1-H_j} \quad (6)$$

### MABAC Yöntemi

MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) tekniği Pamučar ile Čirović tarafından 2015 yılında literatüre kazandırılmıştır. Yöntem karar alternatifleri için sınır yakınlık alanından uzaklık toplamı olan kriter fonksiyonlarını esas alarak değerlendirme yapar (Milosavljević vd., 2018: 10). Altı adımlık bir çözüm süreci içerir (Pamučar ve Čirović, 2015: 3019).

Adım 1. İlk adımda Eşitlik (7)'de yer alan m tane alternatif ve n tane kriterden oluşan başlangıç karar matrisi tesis edilir.

$$X = [X_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Adım 2. İkinci adım karar matrisinin normalizasyonunu içerir. Bu adımda kriter türü göz önünde bulundurularak karar matrisi elemanlarının [0,1] aralığında değerler alacak şekilde standart forma sokulması amaçlanır. Fayda

kriterleri Eşitlik (8), maliyet kriterleri ise Eşitlik (9) yardımıyla normalize edilir. Normalize matris Eşitlik (10)'da gösterilmiştir.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (8)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^- - x_i^+} \quad (9)$$

Eşitlik (8) ve Eşitlik (9)'da yer alan  $x_i^+$  karar matrisi sütunlarının maksimum değerlerinin,  $x_i^-$  ise karar matrisi sütunlarının minimum değerlerinin ifadesidir.

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \cdots & n_{1n} \\ n_{21} & n_{22} & \cdots & n_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ n_{m1} & n_{m2} & \cdots & n_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Adım 3. Üçüncü adım karar matrisinin ağırlıklandırılması adımdır. Bu adımda kriterlerin önem düzeylerini ifade eden ağırlık değerleri Eşitlik (11) yardımıyla değerlendirme sürecine eklenir.

$$v_{ij} = w_i * (n_{ij} + 1) \quad (11)$$

Adım 4. Dördüncü adım kriterler için sınır yakınlık alanı matrisinin oluşturulması adımdır. Kriterlerin sınır yakınlık alanı değerleri Eşitlik (12) kullanılarak hesaplanır.

$$g_i = \left( \prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (12)$$

Her bir kriterin  $g_i$  değerinin hesaplanması sonucunda Eşitlik (13) ile gösterilen *Sınır Yakınlık Alanı Matrisi* ( $G$ ) oluşturulur.

$$G = [g_1 \quad g_2 \quad \cdots \quad g_n] \quad (13)$$

Adım 5. Bu adım alternatiflerin sınır yakınlık alanından uzaklıklarının ( $Q$ ) tespiti adımdır. Eşitlik (15) ile gösterilen Sınır yakınlık alanından uzaklık matrisi ( $Q$ ) Ağırlıklandırılmış karar matrisi elemanları ( $v_{ij}$ ) ile sınır yakınlık matrisi elemanları ( $g_j$ ) farkının Eşitlik (14) kullanımı ile hesaplanması sonucunda elde edilir.

$$Q = V - G = \begin{bmatrix} v_{11} - g_1 & v_{12} - g_2 & \cdots & v_{1n} - g_n \\ v_{21} - g_2 & v_{22} - g_2 & \cdots & v_{2n} - g_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ v_{m1} - g_1 & v_{n2} - g_2 & \cdots & v_{mn} - g_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ q_{m1} & q_{n2} & \cdots & q_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Her bir alternatifin sınır yakınlık alanına göre durumu Eşitlik (16) yardımıyla tespit edilebilir.

$$A_i \in \begin{cases} G^+ & \text{eğer } q_{ij} > 0 \\ G & \text{eğer } q_{ij} = 0 \\ G^- & \text{eğer } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (16)$$

Bir karar alternatifinin *Sınır Yakınlık Alanında (G)*, *Üst Yakınlık Alanında (G<sup>+</sup>)* ya da *Alt Yakınlık Alanında (G<sup>-</sup>)* yer alması mümkündür. Kriter değerlerinin büyük bir kısmı üst yakınlık alanında (G<sup>+</sup>) yer alan alternatif karar problemi içerisinde en iyi alternatif olarak öne çıkar. Yani bir A<sub>i</sub> alternatifi için q<sub>ij</sub>>0 durumu A<sub>i</sub> alternatifinin ideal alternatife yakınlığının ifadesi iken, q<sub>ij</sub><0 durumu ise A<sub>i</sub> alternatifinin negatif ideal alternatife yakınlığının ifadesi olarak düşünülür.

Adım 6. Son adım alternatiflerin kriter fonksiyonlarının hesaplanması ve sıralamanın eldesi adıdır. Alternatiflerin sınıra yakınlık alanından uzaklık değerleri (q<sub>i</sub>) kullanılarak kriter fonksiyonları (S<sub>i</sub>) hesaplanır ve karar problemine dair sıralama sonucuna ulaşılır. Kriter fonksiyonu alternatiflerin sınır yakınlık alanından uzaklık değerlerinin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu toplam Eşitlik (17) ile gerçekleştirilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} , \quad i = 1,2, \dots, m \quad j = 1,2, \dots, n \quad (17)$$

En yüksek kriter fonksiyonu değerine sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir. Diğer alternatifler de benzer şekilde kriter fonksiyon değerleri göz önünde bulundurularak sıralamaya tabi tutulurlar.

### Uygulama

AB kapsamında, dijital dönüşüme hazırlıklı olma ve ilerlemeyi ölçmek için evrensel bir puanlama sistemi – Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) geliştirilmiştir. Üye ülkelerin dijital gelişiminin takibi amacıyla Avrupa Komisyonu tarafından her yıl DESI raporları yayınlanmaktadır. Bu raporlar dijital performansa ilişkin göstergeleri özetlemekte, ülkelerin dijital performans değerlendirmesini içermektedir. DESI, 28 AB ülkesinin istatistiksel verilerini beş ana boyutta toplamakta ve düzenlemektedir. 2014'ten beri var olan DESI ölçüm metodolojisinde 2021 yılı itibarıyla bir değişiklik yapılmış ve beş boyutlu yapının yerini dört boyutlu yeni bir yapı almıştır. Bu boyutlar İnsan Sermayesi, Bağlantı, Dijital Teknolojinin Entegrasyonu ve Dijital Kamu Hizmetleri olarak isimlendirilmiştir (Avrupa Komisyonu DESI Metodoloji Raporu, 2021).

Değerlendirme sürecinde Avrupa Komisyonu DESI 2021 Analiz Raporu'ndan edinilen veriler kullanılmıştır. DESI boyut ve alt boyutları ile bu boyutların çalışmaya dahil edildiği kriter kodları Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** DESI boyutları ve değerlendirme kriterleri

Kriter /DESI boyutu	Alt kriterler/DESI alt boyutları	Kriter kodu
İnsan sermayesi	İnternet kullanıcı becerileri	DESI1
	İleri beceri ve geliştirmeler	
Bağlantı	Sabit geniş bant alımı	DESI2
	Sabit geniş bant kapsama alanı	
	Mobil geniş bant	
	Geniş bant fiyatları	
Dijital Teknolojinin Entegrasyonu	Dijital yoğunluk	DESI3
	İşletmeler için dijital teknolojiler	
	E-ticaret	
Dijital Kamu Hizmetleri	E-devlet	DESI4

### ENTROPİ Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

DESI metodolojisinde tüm boyutların önem düzeylerinin eşit olduğu varsayımı ile hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Yani tüm kriter ağırlıkları %25 olarak alınmaktadır. Çalışmada kriterlerin göreceli önem

düzeylerinin objektif bir biçimde belirlenebilmesi amacıyla Entropi yönteminin kullanımı tercih edilmiştir. Kriter ağırlıkları Entropi yöntemi ile hesaplanırken 5 adımdan oluşan bir süreç izlenmiştir.

Adım 1. Karar problemine ait matris DESI verileri kullanılarak oluşturulmuş ve Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Dijital dönüşüm performansı karar matrisi

ÜLKELER	DESI1	DESI2	DESI3	DESI4
Almanya	55,2	58,0	35,5	67,5
Avusturya	53,3	53,0	41,3	79,8
Belçika	50,8	48,4	49,8	65,8
Bulgaristan	32,7	38,1	20,5	56,0
Çek Cum.	47,2	44,6	39,1	58,6
Danimarka	61,2	74,0	57,9	87,1
Estonya	57,9	46,6	41,5	91,8
Finlandiya	71,1	51,3	59,5	86,7
Fransa	47,4	47,4	34,8	73,0
Hırvatistan	46,7	45,4	40,0	52,0
Hollanda	61,5	68,4	50,7	79,9
İrlanda	54,1	56,4	48,0	82,6
İspanya	48,3	62,0	38,8	80,7
İsveç	64,6	59,6	56,3	83,9
İtalya	35,1	42,4	41,4	63,2
Kıbrıs	39,7	41,8	30,5	61,8
Letonya	41,1	50,4	26,8	79,6
Litvanya	46,1	41,7	41,2	78,0
Lüksemburg	56,2	61,0	39,4	79,4
Macaristan	40,5	52,0	23,3	49,2
Malta	49,1	54,1	50,8	84,2
Polonya	37,7	45,3	25,9	55,1
Portekiz	45,6	48,5	36,6	68,5
Romanya	33,1	53,2	23,8	21,5
Slovakya	43,8	46,3	29,1	53,7
Slovenya	47,8	53,2	42,3	68,0
Yunanistan	41,0	37,7	28,5	41,9

Adım 2. Karar matrisi elemanlarının standartlaştırılması sürecinde kriterlerin tümü fayda yönlü olduğundan Eşitlik (2) kullanılarak ölçü birimi aykırılıkları ortadan kaldırılmıştır. Standartlaştırılmış son matris Tablo 3'de yer almaktadır.



**Tablo 3.** Standartlaştırılmış karar matrisi

	<b>DESI1</b>	<b>DESI2</b>	<b>DESI3</b>	<b>DESI4</b>
<b>Almanya</b>	0,7764	0,7838	0,5966	0,7353
<b>Avusturya</b>	0,7496	0,7162	0,6941	0,8693
<b>Belçika</b>	0,7145	0,6541	0,8370	0,7168
<b>Bulgaristan</b>	0,4599	0,5149	0,3445	0,6100
<b>Çek Cum.</b>	0,6639	0,6027	0,6571	0,6383
<b>Danimarka</b>	0,8608	1,0000	0,9731	0,9488
<b>Estonya</b>	0,8143	0,6297	0,6975	1,0000
<b>Finlandiya</b>	1,0000	0,6932	1,0000	0,9444
<b>Fransa</b>	0,6667	0,6405	0,5849	0,7952
<b>Hırvatistan</b>	0,6568	0,6135	0,6723	0,5664
<b>Hollanda</b>	0,8650	0,9243	0,8521	0,8704
<b>İrlanda</b>	0,7609	0,7622	0,8067	0,8998
<b>İspanya</b>	0,6793	0,8378	0,6521	0,8791
<b>İsveç</b>	0,9086	0,8054	0,9462	0,9139
<b>İtalya</b>	0,4937	0,5730	0,6958	0,6885
<b>Kıbrıs</b>	0,5584	0,5649	0,5126	0,6732
<b>Letonya</b>	0,5781	0,6811	0,4504	0,8671
<b>Litvanya</b>	0,6484	0,5635	0,6924	0,8497
<b>Lüksemburg</b>	0,7904	0,8243	0,6622	0,8649
<b>Macaristan</b>	0,5696	0,7027	0,3916	0,5359
<b>Malta</b>	0,6906	0,7311	0,8538	0,9172
<b>Polonya</b>	0,5302	0,6122	0,4353	0,6002
<b>Portekiz</b>	0,6414	0,6554	0,6151	0,7462
<b>Romanya</b>	0,4655	0,7189	0,4000	0,2342
<b>Slovakya</b>	0,6160	0,6257	0,4891	0,5850
<b>Slovenya</b>	0,6723	0,7189	0,7109	0,7407
<b>Yunanistan</b>	0,5767	0,5095	0,4790	0,4564

Adım 3. Eşitlik (4) kullanımı ile standartlaştırılmış karar matrisi elemanlarının normalizasyon işlemi sonucunda ulaşılan normalize karar matrisi Tablo 4’de gösterildiği gibidir.

**Tablo 4.** Normalize karar matrisi

	<b>DESI1</b>	<b>DESI2</b>	<b>DESI3</b>	<b>DESI4</b>
<b>Almanya</b>	0,0422	0,0420	0,0337	0,0365
<b>Avusturya</b>	0,0407	0,0384	0,0392	0,0431
<b>Belçika</b>	0,0388	0,0351	0,0473	0,0356
<b>Bulgaristan</b>	0,0250	0,0276	0,0195	0,0303
<b>Çek Cum.</b>	0,0361	0,0323	0,0371	0,0317
<b>Danimarka</b>	0,0468	0,0536	0,0550	0,0471
<b>Estonya</b>	0,0442	0,0337	0,0394	0,0496
<b>Finlandiya</b>	0,0543	0,0372	0,0565	0,0469
<b>Fransa</b>	0,0362	0,0343	0,0330	0,0395
<b>Hırvatistan</b>	0,0357	0,0329	0,0380	0,0281
<b>Hollanda</b>	0,0470	0,0495	0,0481	0,0432
<b>İrlanda</b>	0,0413	0,0408	0,0456	0,0447
<b>İspanya</b>	0,0369	0,0449	0,0368	0,0436
<b>İsveç</b>	0,0494	0,0432	0,0535	0,0454
<b>İtalya</b>	0,0268	0,0307	0,0393	0,0342
<b>Kıbrıs</b>	0,0303	0,0303	0,0290	0,0334
<b>Letonya</b>	0,0314	0,0365	0,0254	0,0430
<b>Litvanya</b>	0,0352	0,0302	0,0391	0,0422
<b>Lüksemburg</b>	0,0429	0,0442	0,0374	0,0429
<b>Macaristan</b>	0,0309	0,0377	0,0221	0,0266
<b>Malta</b>	0,0375	0,0392	0,0482	0,0455
<b>Polonya</b>	0,0288	0,0328	0,0246	0,0298
<b>Portekiz</b>	0,0348	0,0351	0,0347	0,0370
<b>Romanya</b>	0,0253	0,0385	0,0226	0,0116
<b>Slovakya</b>	0,0335	0,0335	0,0276	0,0290
<b>Slovenya</b>	0,0365	0,0385	0,0402	0,0368
<b>Yunanistan</b>	0,0313	0,0273	0,0271	0,0227

Adım 4. Her bir kriter için entropi değerleri Eşitlik (5) ile hesaplanmış ve Tablo 5’de sunulmuştur.

**Tablo 5.** Kriter entropi değerleri

	<b>DESI1</b>	<b>DESI2</b>	<b>DESI3</b>	<b>DESI4</b>
<b>H<sub>j</sub></b>	0,9942	0,9958	0,9886	0,9906

Adım 5. Her bir kriter için ağırlık katsayısı Eşitlik (6) ile saptanmış ve Tablo 6'da sunulmuştur.

**Tablo 6.** Kriter ağırlık katsayıları

	DESI1	DESI2	DESI3	DESI4
$w_j$	0,1880	0,1356	0,3712	0,3052

Entropi yöntemi kullanılarak belirlenen ağırlık katsayılarına göre ülkelerin dijital dönüşüm performanslarının analizinde esas alınan boyutlar/kriterler içerisinde en çok önem arz eden kriterin dijital teknolojinin entegrasyonu (DESI3) olduğu saptanmıştır. En az önem arz eden kriterin ise bağlantı kriteri (DESI2) olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

### **MABAC Yöntemi ile AB Ülkeleri Dijital Dönüşüm Performansının Değerlendirilmesi**

Kriter önem düzeylerinin belirlenmesinin ardından AB ülkeleri dijital dönüşüm performansları MABAC yöntemi kullanılarak değerlendirmeye alınmıştır. İzlenen adımlar şu şekildedir:

Adım 1. Karar problemine dair başlangıç matrisi Tablo 2'de verilmiştir.

Adım 2. Karar matrisinin normalizasyonu adımımda tüm kriterlerin fayda yönlü olması göz önünde bulundurularak Eşitlik (8) yardımı ile Tablo 7'de yer alan normalize karar matrisi elde edilmiştir.

**Tablo 7.** Normalize karar matrisi

	DESI1	DESI2	DESI3	DESI4
<b>Almanya</b>	0,5859	0,5592	0,3846	0,6543
<b>Avusturya</b>	0,5365	0,4215	0,5333	0,8293
<b>Belçika</b>	0,4714	0,2948	0,7513	0,6302
<b>Bulgaristan</b>	0,0000	0,0110	0,0000	0,4908
<b>Çek Cum.</b>	0,3776	0,1901	0,4769	0,5277
<b>Danimarka</b>	0,7422	1,0000	0,9590	0,9331
<b>Estonya</b>	0,6563	0,2452	0,5385	1,0000
<b>Finlandiya</b>	1,0000	0,3747	1,0000	0,9275
<b>Fransa</b>	0,3828	0,2672	0,3667	0,7326
<b>Hırvatistan</b>	0,3646	0,2121	0,5000	0,4339
<b>Hollanda</b>	0,7500	0,8457	0,7744	0,8307
<b>İrlanda</b>	0,5573	0,5152	0,7051	0,8691
<b>İspanya</b>	0,4063	0,6694	0,4692	0,8421
<b>İsveç</b>	0,8307	0,6033	0,9179	0,8876
<b>İtalya</b>	0,0625	0,1295	0,5359	0,5932
<b>Kıbrıs</b>	0,1823	0,1129	0,2564	0,5733
<b>Letonya</b>	0,2188	0,3499	0,1615	0,8265
<b>Litvanya</b>	0,3490	0,1102	0,5308	0,8037
<b>Lüksemburg</b>	0,6120	0,6419	0,4846	0,8236
<b>Macaristan</b>	0,2031	0,3939	0,0718	0,3940
<b>Malta</b>	0,4271	0,4518	0,7769	0,8919
<b>Polonya</b>	0,1302	0,2094	0,1385	0,4780
<b>Portekiz</b>	0,3359	0,2975	0,4128	0,6686
<b>Romanya</b>	0,0104	0,4270	0,0846	0,0000
<b>Slovakya</b>	0,2891	0,2369	0,2205	0,4580
<b>Slovenya</b>	0,3932	0,4270	0,5590	0,6615
<b>Yunanistan</b>	0,2161	0,0000	0,2051	0,2902

Adım 3. Kriterlerin ağırlık katsayılarının analize dahil edildiği bu adımda Eşitlik (11) kullanımı ile ağırlıklandırılmış yeni karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 8’de sunulmuştur.

**Tablo 8.** Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

	<b>DESI1</b>	<b>DESI2</b>	<b>DESI3</b>	<b>DESI4</b>
<b>Almanya</b>	0,2982	0,2114	0,5139	0,5049
<b>Avusturya</b>	0,2889	0,1928	0,5691	0,5583
<b>Belçika</b>	0,2766	0,1756	0,6500	0,4976
<b>Bulgaristan</b>	0,1880	0,1371	0,3712	0,4550
<b>Çek Cum.</b>	0,2590	0,1614	0,5482	0,4663
<b>Danimarka</b>	0,3276	0,2712	0,7271	0,5900
<b>Estonya</b>	0,3114	0,1688	0,5710	0,6104
<b>Finlandiya</b>	0,3760	0,1864	0,7423	0,5883
<b>Fransa</b>	0,2600	0,1718	0,5072	0,5288
<b>Hırvatistan</b>	0,2566	0,1644	0,5567	0,4376
<b>Hollanda</b>	0,3290	0,2503	0,6586	0,5588
<b>İrlanda</b>	0,2928	0,2055	0,6329	0,5705
<b>İspanya</b>	0,2644	0,2264	0,5453	0,5623
<b>İsveç</b>	0,3442	0,2174	0,7119	0,5761
<b>İtalya</b>	0,1998	0,1532	0,5701	0,4863
<b>Kıbrıs</b>	0,2223	0,1509	0,4663	0,4802
<b>Letonya</b>	0,2292	0,1830	0,4311	0,5575
<b>Litvanya</b>	0,2536	0,1505	0,5681	0,5505
<b>Lüksemburg</b>	0,3031	0,2226	0,5510	0,5566
<b>Macaristan</b>	0,2262	0,1890	0,3978	0,4255
<b>Malta</b>	0,2683	0,1969	0,6595	0,5774
<b>Polonya</b>	0,2125	0,1640	0,4225	0,4511
<b>Portekiz</b>	0,2512	0,1759	0,5244	0,5093
<b>Romanya</b>	0,1900	0,1935	0,4026	0,3052
<b>Slovakya</b>	0,2424	0,1677	0,4530	0,4450
<b>Slovenya</b>	0,2620	0,1935	0,5786	0,5071
<b>Yunanistan</b>	0,2287	0,1356	0,4473	0,3938

Adım 4. Bu adımda kriterlere ait sınır yakınlık alanı değerleri hesaplanmıştır. Eşitlik (12) kullanılarak saptanan bu değerler ile Tablo 9’da sunulan sınır yakınlık alanı matrisi (G) tesis edilmiştir.

**Tablo 9.** Sınır Yakınlık Alanı Matrisi

	DESI 1	DESI2	DESI3	DESI4
$g_i$	0,2612	0,1832	0,5379	0,5039

Adım 5. Bu adımda alternatiflerin sınır yakınlık alanından uzaklıklarının tespiti için sınır yakınlık matrisi elemanları ile ağırlıklandırılmış karar matrisi elemanları arasındaki farklar belirlenmiştir. Ağırlıklandırılmış karar matrisi elemanlarının sınır yakınlık alanı matrisi elemanlarından yüksek olmasının alternatifler açısından tercih sebebi olduğu bilinmektedir. Sınır yakınlık alanından uzaklık matrisi Tablo 10'da sunulmuştur.

Adım 6. Son adımda Eşitlik (17) yardımıyla alternatiflerin kriter fonksiyonları hesaplanmıştır. En yüksek kriter fonksiyonu değerli alternatif en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Kriter fonksiyon değerleri esas alınarak tüm alternatiflerin büyükten küçüğe sıralanması ile karar problemine dair sıralama sonucu elde edilmiştir. Ulaşılan kriter fonksiyonu değerleri ile dijital dönüşüm performansı açısından AB ülkelerinin sıralama sonucu da Tablo 10'da yer almaktadır. Tablo 10 DESI sıralamasını da içermektedir.

**Tablo 10.** Sınır Yakınlık Alanından Uzaklık Matrisi, Kriter fonksiyonları ( $S_i$ ) ve Sıralamalar

	DESI1	DESI2	DESI3	DESI4	$S_i$	Entropi/MABAC Sıralama	DESI sıralama
Almanya	0,0369	0,0283	-0,0240	0,0010	0,0422	13	11
Avusturya	0,0276	0,0096	0,0312	0,0544	0,1228	9	10
Belçika	0,0154	-0,0076	0,1121	-0,0064	0,1135	10	12
Bulgaristan	-0,0732	-0,0461	-0,1668	-0,0489	-0,3350	26	26
Çek Cum.	-0,0022	-0,0218	0,0103	-0,0376	-0,0514	17	18
Danimarka	0,0663	0,0880	0,1892	0,0861	0,4296	1	1
Estonya	0,0502	-0,0143	0,0331	0,1065	0,1754	7	7
Finlandiya	0,1148	0,0032	0,2044	0,0844	0,4068	2	2
Fransa	-0,0012	-0,0113	-0,0307	0,0249	-0,0184	15	15
Hırvatistan	-0,0047	-0,0188	0,0188	-0,0663	-0,0710	18	19
Hollanda	0,0678	0,0671	0,1206	0,0548	0,3104	4	4
İrlanda	0,0316	0,0223	0,0950	0,0666	0,2154	6	5
İspanya	0,0032	0,0432	0,0074	0,0583	0,1121	11	9
İsveç	0,0830	0,0342	0,1739	0,0722	0,3634	3	3
İtalya	-0,0615	-0,0300	0,0321	-0,0177	-0,0770	19	20
Kıbrıs	-0,0389	-0,0323	-0,0716	-0,0237	-0,1665	21	21
Letonya	-0,0321	-0,0001	-0,1068	0,0535	-0,0855	20	17
Litvanya	-0,0076	-0,0326	0,0302	0,0466	0,0366	14	14
Lüksemburg	0,0418	0,0395	0,0131	0,0527	0,1471	8	8
Macaristan	-0,0350	0,0058	-0,1401	-0,0784	-0,2477	24	23
Malta	0,0071	0,0137	0,1216	0,0735	0,2159	5	6
Polonya	-0,0487	-0,0192	-0,1154	-0,0528	-0,2361	23	24
Portekiz	-0,0101	-0,0072	-0,0135	0,0054	-0,0255	16	16
Romanya	-0,0713	0,0103	-0,1354	-0,1987	-0,3950	27	27
Slovakya	-0,0189	-0,0155	-0,0849	-0,0589	-0,1781	22	22
Slovenya	0,0007	0,0103	0,0407	0,0032	0,0549	12	13
Yunanistan	-0,0326	-0,0476	-0,0906	-0,1101	-0,2809	25	25

Analiz sonuçları 2021 yılı dijital dönüşüm performansı en yüksek olan AB ülkelerinin Danimarka, Finlandiya ve İsveç olduğuna işaret etmektedir. Dijital dönüşüm performansı en düşük olan AB ülkelerinin ise Romanya, Bulgaristan ve Yunanistan olduğu saptanmıştır. Entropi temelli MABAC yöntemi kullanılarak elde edilen sıralama sonuçları ile DESI sıralama sonuçları arasında %99,1'lik korelasyon düzeyi belirlenmiştir. Bu durum entegre yöntemin dijital dönüşüm performansı ölçümünde güvenle kullanılabileceğinin ampirik bir ispatı olarak yorumlanabilir.

## Sonuç ve Öneriler

Global çapta yaşanan dijital dönüşüm sürecine uyum ülkeler için hayati önem arz etmektedir. Toplumsal kalkınma ve küresel rekabette öncülük dijital dönüşüm sürecine uyum kabiliyeti ile birebir ilişki içerisindedir. Endüstrinin dijitalleşmesi AB için de öncelikli konu başlıklarından biri haline gelmiş, bu süreçlerin dijitalleştirilmesi için stratejiler, standartlar ve teşvikler oluşturulmuştur. İşte AB ülkelerinin dijital performanslarındaki ilerlemenin ölçümüne yönelik geliştirilen standartlardan birisi de DESI'dir. Komisyon Avrupa'nın genel dijital performansını her yıl belirlediği bu endeks ile takip etmektedir. Üye ülkeler açısından da dijital geçişi yönetmek adına etkili kamu politikası stratejileri için dijitalleşmenin ölçümü bir gereklilik haline gelmiştir.

Çalışmada AB ülkelerinin dijital dönüşüm performansı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Birden fazla ölçütün esas alındığı bu değerlendirme süreci bir ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Entropi destekli MABAC yöntemi ile analiz gerçekleştirilmiştir. Entropi yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş, MABAC yöntemi ile de ülkelerin sıralama sonuçlarına ulaşılmıştır. Esas alınan kriterler içerisinde en fazla önem arz eden kriterin dijital teknolojinin entegrasyonu olduğu belirlenmiştir. Dijital dönüşüm performansı en yüksek olan AB ülkelerinin Danimarka, Finlandiya ve İsveç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sıralamanın sonlarında yer alan ve dijital dönüşüm performansı en düşük olan AB ülkeleri ise Yunanistan, Bulgaristan ve Romanya'dır. Bulgular Koca (2021) çalışma sonuçları ile bire bir benzerlik göstermektedir. Ulaşılan sıralama sonuçları DESI endeksi sıralama sonuçları ile de çok yüksek düzeyde uyumludur. İki sıralama sonucu arasında %99,1'lik bir korelasyon düzeyi tespit edilmiştir. Bu sonuç DESI analiz sürecinde ÇKKV tekniklerinin güvenle uygulanabilirliğine işaret etmektedir.

Analiz, boylamsal bir araştırma bakışı ile farklı yıllar bazında tekrarlanarak AB ülkelerinin dijital dönüşüm performansı açısından gelişim süreci izlenebilir. İlerleyen çalışmalarda dijital dönüşüm performansını etkileyen faktörlerin tespiti ve ülkelerin bu minvalde değerlendirmesine yönelik farklı ÇKKV yaklaşımları kullanılabilir. Farklı yaklaşımlar ile ulaşılan sonuçlar mevcut çalışma sonuçları ile karşılaştırılabilir. Pandemi öncesi ve sonrası sıralama sonuçları kıyaslanabilir. AB ülkeleri kapsamında gerçekleştirilen analiz farklı ülkeleri kapsayacak şekilde genişletilebilir. Dijital dönüşüm performansının tespitine yönelik DESI göstergelerine, ülkelere özgü yeni göstergeler eklenerek analizler gerçekleştirilebilir.

## Kaynakça

- Altıntaş, F. F. (2021). G20 Ülkelerinin Dijital Hazırlık Performanslarının Analizi: Entropi Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Bir Uygulama. *Akademik Hassasiyetler*, 8(17), 401-427.
- Arsić, S., & Gajić, M. (2021). Industry 4.0: Assessing the Level of Advanced Digital Technologies in the EU Countries Using Integrated Entropy–Topsis Methods. In *International Scientific Conference "UNITECH"* (Vol. 2, p. 133).
- Atukalp E. M. (2021). Entegre Yöntemlerle Türk Bankacılık Sisteminde Ortaklık Yapısı Odaklı İnceleme. *Ataturk University Journal of Economics & Administrative Sciences*, 35(2).
- Avrupa Komisyonu DESI Metodoloji Raporu, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>, Erişim tarihi: 05/05/2021.
- Ayçin, E., & Çakın, E. (2019). Ülkelerin inovasyon performanslarının ölçümünde Entropi ve MABAC çok kriterli karar verme yöntemlerinin bütünlük olarak kullanılması. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 19(2), 326-351.
- Bánhidı, Z., Dobos, I., & Nemeslaki, A. (2020). What the overall Digital Economy and Society Index reveals: A statistical analysis of the DESI EU28 dimensions. *Regional Statistics*, 10(2), 42-62.
- Biswas, S., Bandyopadhyay, G., Guha, B., & Bhattacharjee, M. (2019). An ensemble approach for portfolio selection in a multi-criteria decision making framework. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(2), 138-158.
- Biswas, T., & Das, M. (2018). Selection of hybrid vehicle for green environment using multi-attributive border approximation area comparison method. *Management Science Letters*, 8(2), 121-130.
- Borowiecki, R., Siuta-Tokarska, B., Maroń, J., Suder, M., Thier, A., & Żmija, K. (2021). Developing digital economy and society in the light of the issue of digital convergence of the markets in the European Union countries. *Energies*, 14(9), 2717.
- Bouraima, M. B., Stević, Ž., Tanackov, I., & Qiu, Y. (2021). Assessing the performance of Sub-Saharan African (SSA) railways based on an integrated Entropy-MARCOS approach. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(2), 13-35.
- Bozkurt, V. (2020). Pandemi döneminde çalışma: ekonomik kaygılar, dijitalleşme ve verimlilik. *COVID-19 Pandemisinin Ekonomik, Toplumsal ve Siyasal Etkileri*, 115-136.
- Cahyadi, A., & Magda, R. (2021). Digital leadership in the economies of the G20 countries: A secondary research. *Economies*, 9(1), 32.
- Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., & Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, 107, 22-32.
- Çelen A. İ. (2021). CISCO Dijital Hazırlık Endeksinde Türkiye İçin Perspektifler. *Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi*, (5), 68-103.
- Çınaroğlu, E. (2020). Yenilikçi girişimlere ait faaliyetlerin Entropi destekli MABAC yöntemi ile değerlendirilmesi. *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 9(1), 111-135.
- Ersöz, B., & Özmen, M. (2020). Dijitalleşme ve bilişim teknolojilerinin çalışanlar üzerindeki etkileri. *AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi*, 11(42), 170-179.
- Goh, A. (2021). Digital Readiness Index for Arbitration Institutions: Challenges and Implications for Dispute Resolution Under the Belt and Road Initiative. *Journal of International Arbitration*, 38(2).
- Gökgöz, F., & Yalçın, E., (2021). A Performance Analysis in Circular Economy for the Selected EU Countries, *13<sup>th</sup> International Conference on Humanities, Psychology & Social Sciences*, Netherlands, 95-103.
- Gülay, G., Öncü, E., Karşılı, H., & Gündüz, V. (2021). BİST kurumsal yönetim endeksinde yer alan bankaların performans analizi. *Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 11(4), 2001-2018.
- İnel, M. (2019). An empirical study on measurement of efficiency of digital transformation by using data envelopment analysis. *Management Science Letters*, 9(4), 549-556.
- Kalem, R. N., & Akpınar, M. E. (2022). Personnel Performance Assessment using Entropy based MABAC Method: An Application in the Food Sector. *Equinox Journal of Economics Business and Political Studies*, 9(1), 89-106.
- Koca, G. (2021). AB Ülkelerinin Dijital Dönüşüm Performanslarının ARAS Yöntemi ile İncelenmesi. *Dijital Dönüşüm ve İşletmecilik*, 7-24.
- Kusiak, A., 2018. Smart manufacturing. *Int. J. Prod. Res.* 56 (1–2), 508–517.
- Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H., & Gao, C. (2011). Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. *Procedia engineering*, 26, 2085-2091.

- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry, 121*, 103261.
- Milosavljević, M., Bursać, M., & Tričković, G. (2018). Selection of the railroad container terminal in Serbia based on multi criteria decision making methods. *Decision Making: Applications in Management and Engineering, 1*(2), 1-15.
- Moroz, M. (2017). The level of development of the digital economy in Poland and selected European countries: a comparative analysis. *Foundations of management, 175-190*.
- Nagy, S. (2019). Digital economy and society. A cross country comparison of Hungary and Ukraine. *arXiv preprint arXiv:1901.00283*.
- Ndruru, R. K., & Utomo, D. P. (2020). Sistem Pendukung Keputusan Penilaian Kinerja Generik Anggota Polri Di Polda Sumatera Utara Menggunakan Metode MABAC & Entropy. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer), 4*(1).
- Ömürbek, N., & Balcı, H. F. (2017). Entropi Temelli COPRAS Yöntemi ile Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye'nin Havayolu Taşımacılığının Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 8*(18), 13-25.
- Pamučar, D., & 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.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia cirp, 52*, 173-178.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia Cirp, 52*, 161-166.
- Stavytskyy, A., Kharlamova, G., & Stoica, E. A. (2019). The analysis of the digital economy and society index in the EU. *TalTech Journal of European Studies, 9*(3), 245-261.
- Stoica, E. A., & Bogoslov, I. A. (2017, December). A comprehensive analysis regarding DESI country progress for Romania relative to the European average trend. In *Balkan Region Conference on Engineering and Business Education* (Vol. 2, No. 1, pp. 258-266).
- Ulutaş, A. (2019). Entropi ve MABAC yöntemleri ile personel seçimi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, 13*(19), 1552-1573.
- Wu, J., Sun, J., Liang, L., & Zha, Y. (2011). Determination of weights for ultimate cross efficiency using Shannon entropy. *Expert Systems with Applications, 38*(5), 5162-5165.
- Zafar, S., Alamgir, Z., & Rehman, M. H. (2021). An effective blockchain evaluation system based on entropy-CRITIC weight method and MCDM techniques. *Peer-to-Peer Networking and Applications, 14*(5), 3110-3123.



## EXTENDED SUMMARY

With technological changes and advances, industrial revolutions emerged as a step toward social development and modernity. The first industrial revolution began in the 18th century with the invention of steam engines, which brought in a change from labor-based to machine-power-based production. The use of electrical power as an energy source in production and the realization of the logic of mass production ushered in the second stage of industrialization. With the commercial use of computers and the internet in the 1960s, the third industrial revolution began. Industry 4.0 has emerged as a technological development and digitalization process that will affect all aspects of social life.

Following the industrial revolutions, it is critical for both countries and businesses to keep up with global changes and develop new strategies in order to remain competitive in an ever-increasingly competitive environment. One of the most prominent of these strategies is digitalization. This concept is defined as the process of adapting to technology in order to create opportunities with high value, with the goal of making the best use of resources in the production of goods and services. It is a transformation based on the application of digital technologies and the enhancement of business processes. With rapid technological advances, this transformation is continuous.

The Covid-19 pandemic, which arrived in our lives in 2020, has accelerated the digitalization process. Digital technologies have evolved into the driving forces of the modern global economy. This unavoidable digital transformation brings with it both new opportunities and threats for countries. In this regard, it is critical to define the concepts of digital preparation and digital transformation in order to determine and constantly monitor countries' performance in this digital transformation process. This will allow us to identify problem areas and develop priority policies and strategies.

The term "digital economy" was first used by Nicholas Negroponte of the University of Massachusetts in 1995. The use of information and communication technologies (ICT) by the government, business and society is defined as this concept. The Digital Economy and Society Index (DESI) was created to determine the level of development of countries in this area after seeing the future of the economy in informatics. The European Union (EU) commission designed DESI in 2015 to track and improve the digital performance of EU countries and to identify priority investment areas for the creation of the digital market. DESI assesses the progress of 28 European countries in the digital economy and social development. DESI collects and organizes statistical data from 28 EU member countries across five major dimensions. A change has been made to the DESI measurement methodology, which has been in place since 2014, as of 2021, and a new four-dimensional structure has replaced the five-dimensional structure. These dimensions are Human Capital, Connectivity, Digital Technology Integration and Digital Public Services.

This study's goal is to use MCDM techniques to analyze the digital transformation performances of EU countries in 2021. It has been attempted to assess countries' ability to apply advanced technologies based on Industry 4.0, which will cause significant changes in the economy and society. The findings provide information on countries' digitalization status and assist policymakers in identifying areas that require priority investment and strategic action. During the analysis, the Entropy method is used to determine the importance levels of the digital transformation performance measurement criteria and the MABAC method is used to determine the performance ranking of the countries. There are few publications that aim the application of MCDM methods to digital transformation performance analysis. There have been no publications that use the MABAC method, which was introduced to the literature in 2015, for digital transformation performance analysis. It is hoped that the research will contribute to the literature in this way. The study is thought to be of exceptional quality because it is the first evaluation based on the DESI methodology following the 2021 regulations in the analysis of countries' digital transformation performance.

The Entropy supported MABAC method is used for analysis in the study. The integration of digital technology has been determined to be the most important criterion among the criteria used. Denmark, Finland, and Sweden have been determined to have the best digital transformation performance in the EU. Greece, Bulgaria, and Romania are the EU countries at the bottom of the ranking, with the worst digital transformation performance. The obtained ranking results are very close to the DESI index ranking results. The correlation level between the two ranking results was 99.1%. This result indicates that MCDM techniques can be used reliably in the DESI analysis process.

The development process of EU countries in terms of digital transformation performance can be tracked by repeating the analysis across numerous years with a longitudinal research perspective. Different MCDM approaches can be used in future studies to determine the factors influencing digital transformation performance and to evaluate countries in this manner. The outcomes of various approaches can be compared to the outcomes of the current study. Ranking results are comparable before and after the pandemic. The analysis conducted within the context of EU countries can be expanded to include other countries. Analyses can be performed by adding new country-specific indicators to the DESI indicators in order to determine digital transformation performance in future studies.