

AB ÜLKELERİNİN DİJİTALLEŞME SEVİYELERİNİN YENİ BİR VIKOR UZANTISIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Furkan GÖKTAŞ^{1*}, Sümeyra Sezer KAPLAN²

¹Karabük University, Faculty of Business, Department of Business Administration, 78050, Karabük, Türkiye

²Karabük University, Faculty of Business, Department of Actuarial Sciences, 78050, Karabük, Türkiye

Özet: Dijitalleşme kavramı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu çalışmanın amacı Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin 2017-2022 dönemindeki dijitalleşme seviyelerinin bütüncül bir bakış açısıyla karşılaştırılmasıdır. Bu nedenle VIKOR yönteminin norm minimizasyonuna dayalı bir uzantısı (NM-VIKOR) bu çalışmada önerilmiştir ve bu uzantı grup karar verme problemleri için genelleştirilmiştir. Bu genel hal NMG-VIKOR olarak adlandırılmıştır. Bu yaklaşımlar tanımları gereği tek çözüm vermektedir. NM-VIKOR kullanılarak yapılan karşılaştırmalara göre; 2021 ve 2022 yıllarında Danimarka ilk sırada iken 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında Finlandiya ilk sıradadır. Tüm periyot için NMG-VIKOR kullanılarak yapılan karşılaştırmaya göre; Finlandiya ve Danimarka sıralaması vardır. Buna karşın diğer AB ülkeleri dijital gelişim açısından görece yetersizdir.

Anahtar kelimeler: Avrupa Birliği, Çok kriterli karar verme, DESI, Dijitalleşme, Konveks optimizasyon, VIKOR


The Comparison of Digitalization Levels of EU Countries with a Novel VIKOR Extension


Abstract: The concept of digitalization is gaining importance day by day. This study aims to compare the digitalization levels of European Union (EU) countries in the 2017-2022 period from a holistic perspective. Thus, in this study, the extension of the VIKOR method based on norm minimization (NM-VIKOR) is proposed, and this extension is generalized for group decision-making problems. This general case is called NMG-VIKOR. These approaches give unique solutions by definitions. As a result of the comparisons made using NM-VIKOR, Finland is first ranked in the years 2017, 2018, 2019, and 2020 whereas Denmark is first ranked in the years 2021 and 2022. As a result of the comparison using NMG-VIKOR for the whole period, Finland and Denmark rankings are obtained. In contrast, other EU countries are relatively inadequate in terms of digital development.

Keywords: European Union, Multi-criteria decision-making, DESI, Digitalization, Convex optimization, VIKOR

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Karabük University, Faculty of Business, Department of Business Administration, 78050, Karabük, Türkiye

E mail: furkangoktas@karabuk.edu.tr (F. GÖKTAŞ)

Furkan GÖKTAŞ  <https://orcid.org/0000-0001-9291-3912>

Sümeyra Sezer KAPLAN  <https://orcid.org/0000-0002-7920-9389>

Gönderi: 01 Mayıs 2024

Kabul: 17 Aralık 2024

Yayınlanma: 15 Ocak 2025

Received: May 01, 2024

Accepted: December 17, 2024

Published: January 15, 2025

Cite as: Göktaş F, Kaplan SS. 2025. The comparison of digitalization levels of EU countries with a novel VIKOR extension. BSJ Eng Sci, 8(1): 199-205.

1. Giriş

Dijitalleşme, yeni teknolojilerin hayatın tüm unsurlarına uyarlanması ifade eder. Bir dönüştürme süreci olan dijitalleşme, insanların yaşam kalitesini artırmaktadır (Kumar vd., 2018). Dijital teknolojiler, dünyanın farklı alanlarında sosyal alanları bağlamak ve dijital verileri gerçek zamanlı olarak toplamak, analiz etmek ve manipüle etmek için kullanılır. Karmaşık ve dinamik bir süreç olan dijitalleşmenin faydaları açıktır, ancak bunların doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Bu nedenle teknolojinin belirli bir alanındaki ilerlemenin ölçüldüğü çok sayıda endeks oluşturulmuştur. Dijital Hükümet Endeksi (DGI), Dijital Benimseme Endeksi (DAI), Dijital Yoğunluk Endeksi (DII), Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) bunlara örnek olarak verilebilir. Çalışma kapsamında kullanılan DESI, Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilmiştir (Stankovic vd., 2021; Ionescu-Feleagă vd., 2023).

Ülkelerin dijitalleşme seviyelerini DESI verileriyle karşılaştıran bazı çalışmalar şunlardır. Stankovic vd. (2021) Avrupa ülkelerinin dijital gelişimlerini CRITIC

ağırlıklı TOPSIS kullanarak karşılaştırmıştır. Kiselakova vd. (2022) AB ülkelerini DESI ve Küresel Dijital Rekabetçilik Endeksi verileriyle karşılaştırmıştır. Georgescu vd. (2023) Avrupa ülkelerinin dijital gelişimlerini DEA kullanarak karşılaştırmıştır. Marti ve Puertas (2023) Küresel İnovasyon Endeksi tarafından ölçülen yenilik faktörlerini ve DESI'nin boyutlarını içeren sentetik bir gösterge üretmek AB ülkelerinin rekabet gücünü analiz etmiştir. Banhidi ve Dobos (2023a) Brexit öncesi AB'nin yirmi sekiz ülkesinin dijital gelişimlerini DEA kullanarak karşılaştırmıştır. Banhidi ve Dobos (2023b) üç farklı yöntem kullanarak AB ülkelerini dijital gelişim açısından gruplandırmıştır. Banhidi ve Dobos (2024) TOPSIS kullanılarak bulunan, AB ülkelerinin dijital gelişim sıralamalarının kriter ağırlıklarına ve veri normalizasyonuna olan hassaslığını analiz etmiştir. Bunlardan farklı olarak Zerhouni ve Özarı (2022) I-DESI (uluslararası DESI) verileriyle 45 ülkenin dijital gelişimlerini Entropi ağırlıklı TOPSIS kullanarak karşılaştırmıştır.

Yukarıdaki çalışmalarda, birden çok yıl için dijitalleşme



seviyesi karşılaştırması yapılmışsa periyottaki her bir yıl için ayrı ayrı analiz yapılması ve sonrasında periyotun geneli için bir değerlendirme yapılması yaklaşımı tercih edilmiştir. Öte yandan bu yaklaşımla tüm periyot için tek bir sonuç bulunmamaktadır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak ve AB ülkelerinin 2027-2022 dönemindeki dijitalleşme seviyelerinin bütüncül bir şekilde karşılaştırılması çalışmada amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için popüler çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan VIKOR'un, norm minimizasyonuna dayalı uzantısı (NM-VIKOR) çalışmada önerilmiştir ve sonrasında söz konusu uzantı grup karar verme problemleri için geliştirilmiştir. Göktaş (2024) TOPSIS yöntemini baz alarak benzer yaklaşım uygulamıştır. Çalışmanın orijinaliği önerilen uzantıdan ve bunun genel halinden (NMG-VIKOR) kaynaklanmaktadır. NM-VIKOR, iki farklı kesin konveks minimizasyon problemine dayanmaktadır ve alternatiflerin uzlaşık performans değerini bir kapalı aralık olarak belirlemektedir. NMG-VIKOR için de bu bilgiler geçerlidir. Bununla birlikte NMG-VIKOR, periyottaki her bir yılın ayrı bir karar verici olarak belirlenmesine imkân verdiği için daha kapsamlı analizlerde kullanılabilir. Söz konusu yaklaşımlar; sıralamaya ek olarak gruplandırma ve kaynak dağıtımında kullanılabilir olduğundan, VIKOR'a oranla daha fazla bilgi taşımaktadır.

Çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2'de DESI metodolojisi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bölüm 3'te VIKOR kısaca açıklandıktan sonra, çalışmada önerilen NM-VIKOR ve NMG-VIKOR tanıtılmıştır. Bölüm 4'te AB ülkelerinin 2017-2022 dönemindeki dijitalleşme seviyeleri NMG-VIKOR kullanılarak karşılaştırılmıştır (DESI, 2022a). Ayrıca NM-VIKOR kullanılarak AB ülkelerinin dijitalleşme seviyeleri her bir yıl için analiz edilmiştir. Bölüm 5'teki son değerlendirmelerle çalışma sonuçlandırılmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve

DESI, AB ülkelerinin dijital rekabet gücündeki genel performansını değerlendirmek ve bu alandaki ilerlemelerini izlemek için kullanılmaktadır (DESI, 2022b). Bu endeks ilk kez 2014 yılında hesaplanmıştır ve 2021'de, dijital politik bir program olan Dijital On yıl Pusulası ile uyumlu hale getirilmiştir (Skvarciany vd., 2023). Bu program, dijital hedefleri sunmaktadır ve 2030 için ana hedefleri dört ana noktada belirlemiştir. Bunlar; yetkinlikler, altyapı, şirketlerin ve kamu hizmetlerinin dijital dönüşümü olarak sıralanabilir. DESI'yi oluşturan dört boyut, on altı boyut, otuz üç gösterge vardır. DESI'nin dört boyutu; insan sermayesi, bağlantı, dijital teknolojinin entegrasyonu, dijital kamu hizmetleri olarak sıralanabilir (Stankovic vd., 2021; DESI, 2022b; Ionescu-Feleagă vd., 2023).

İnsan sermayesi boyutu, internet kullanım becerilerini ve gelişmiş dijital becerileri kapsamaktadır. Bu tür becerilerin değerlendirilmesi gereklidir, çünkü dijital beceriler günümüz dünyası için vazgeçilmez unsurlardandır. Bilgi tabanlı iş gücüne katılmayı hedefleyen insanlar, Bilgi ve İletişim Teknolojilerini (BİT) verimli bir şekilde kullanmalıdır (Van Laar vd., 2017). Bağlantı boyutu, ekonomik kalkınma ve toplumun refahı için hayati öneme sahiptir. Dünya genelinde internet kullanımı %50'yi aşmıştır. Dünya nüfusunun %75'i aktif mobil geniş bant aboneliğine sahiptir ve bunun %57'den fazlası evde internet erişimine sahiptir (ITU, 2019). Dijital teknolojinin entegrasyonu boyutu, işletmelerin dijital göstergeleri ile ilgilidir. Yapay Zekâ (AI) kullanımı da bu boyuta dahildir. AI, işletmelerin dijital dönüşümünün önemli bir unsurudur ve şirketlerin verimliliğini artırmaktadır (Calp, 2020). Dijital kamu hizmetleri boyutu, vatandaşlar ve işletmeler için dijital kamu hizmetlerini değerlendirmektedir. Bu tür hizmetlerin sayısı ve verimliliği dijitalleşme ile birlikte artmıştır (DESI, 2022b). Tüm boyutlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. DESI yapısı (DESI, 2022b, Ionescu-Feleagă vd., 2023).

Boyut	Alt Boyut ve Gösterge Sayıları
İnsan sermayesi (K1)	İnternet kullanım becerileri, ileri düzey beceriler ve gelişim (2 alt boyut ve 7 gösterge)
Bağlantı (K2)	Sabit geniş bant, sabit geniş bant kapsama alanı, mobil geniş bant, geniş bant fiyatları (4 alt boyut ve 10 gösterge)
Dijital teknolojinin entegrasyonu (K3)	Dijital yoğunluk, iş için dijital teknolojiler, e-ticaret (3 alt boyut ve 11 gösterge)
Dijital kamu hizmetleri (K4)	E-devlet (1 alt boyut ve 5 gösterge)

DESI metodolojisine göre; göstergelerden alınan puanların alt boyut puanlarını oluşturmasında, alt boyutlardan alınan puanların boyut puanlarını oluşturmasında ve dört boyuttan alınan puanların genel puanı oluşturmasında basit toplamlı ağırlıklandırma yöntemini kullanılır. Genel puan hesaplanırken, dört boyutun ağırlıkları eşit alınır (DESI, 2022b).

3. Materyal ve Yöntem

VIKOR yönteminin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Chatterjee ve Chakraborty, 2016). Anlaşılabilirliği artırmak amacıyla söz konusu adımlar basitleştirilmiştir.

Adım 1: i. alternatifi j. kriter bazında performans değeri a_{ij} olmak üzere karar matrisi $A_{n \times m} = (a_{ij})$ oluşturulur. Bununla birlikte kriterlerin ağırlık vektörü $w = (w_j)$ belirlenir. (Burada n alternatif sayısı iken, m kriter

sayısıdır.)

Adım 2: j. kriterin fayda veya maliyet yönlü kriter olması dikkate alınıp, $C=(c_{ij})$ matrisi eşitlik 1 ile oluşturulur. Burada $c_{ij} \in [0, w_j]$ kapalı aralığındadır. Bu değer küçüldükçe i. alternatifin j. kriter bazındaki performansı artar.

$$c_{ij} = \begin{cases} w_j \frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}}, & \text{fayda yönlü kriterse} \\ w_j \frac{a_{ij} - \min_i a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}}, & \text{maliyet yönlü kriterse} \end{cases} \quad (1)$$

Adım 3: C matrisinin i. satırının 1-normu olarak tanımlanan s_i , yine bunun i. satırının sonsuz-normu olarak tanımlanan r_i eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$s_i = \sum_{j=1}^m c_{ij} \quad (2)$$

$$r_i = \max_j c_{ij}$$

Uyarı: $c_{ij} \in [0, w_j]$ olduğundan negatif ideal çözüm $w=(w_j)$ vektörü olarak, pozitif ideal çözüm tüm elemanları 0 olan m elemanlı vektör yani sıfır vektörü olarak tanımlansın. Buna göre i. alternatifin pozitif ideal çözüme Manhattan uzaklığı s_i iken, buna Çebişev uzaklığı r_i olarak bulunur.

Adım 4: i. alternatif için q_i eşitlik 3 ile hesaplanır. $v \in [0, 1]$ genellikle 0.5 olarak alınır.

$$q_i = v \frac{s_i - \min_i s_i}{\max_i s_i - \min_i s_i} + (1-v) \frac{r_i - \min_i r_i}{\max_i r_i - \min_i r_i} \quad (3)$$

Adım 5: s_i , r_i ve q_i değerleri ayrı ayrı kullanılarak küçükten büyüğe sıralamalar yapılır. q_i değerleri kullanılarak yapılan sıralamada ilk sırada olan alternatif (a^*) eğer diğer iki sıralamadan birinde de ilk sıradaysa ve bu alternatifin q_i değeri ile en düşük ikinci q_i değeri arasındaki fark $1/(n-1)$ değerinden büyük eşitse a^* en iyi alternatif olarak belirlenir ve seçilir.

VIKOR yönteminin çok sayıda uzantısı vardır (Chatterjee ve Chakraborty, 2016). Çalışmada önerilen NM-VIKOR adlı VIKOR uzantısı, iki farklı norm minimizasyonu problemi ile tanımlanmıştır. Alternatiflerin ağırlık vektörü $p=(p_i)$ ile gösterilsin. Bu vektöre karşı gelen kaynak dağıtım planı için kriter bazında performans vektörü, ağırlıklı toplam ifadesine karşı gelen $C^T p$ vektörüne eşittir. (C^T matrisi, C matrisinin transpozudur.) $C^T p$ vektörünün 1-normu eşitlik 4 ile minimize edilir. Geometrik olarak eşitlik 4, $C^T p$ vektörü ve pozitif ideal çözüm (sıfır vektörü) arasındaki Manhattan uzaklığının minimize edilmesine karşı gelir. Burada 1-norm yerine sonsuz-norm kullanıldığında, bu ikisi arasındaki Çebişev uzaklığı minimize edilir. eşitlik 4 konveks minimizasyon problemidir. Bu nedenle bunun optimal çözüm kümesi (F) konvektir (Boyd ve Vandenberghe, 2004).

$$\min \|C^T p\|_1$$

$$k.a. \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (4)$$

$$p_i \geq 0, \forall i$$

Öklid uzaklığı ile ilişkili olan 2-norm, argümanının kesin konveks fonksiyonu olduğundan konveks küme üzerinde minimize edilirse tek çözüm verir (Boyd ve Vandenberghe, 2004). F üzerinde 2-normu minimum olan yani orijine en yakın olan tek optimal çözümü yaklaşık olarak bulmak amacıyla çalışmada eşitlik 4 yerine eşitlik 5 kullanılmıştır. eşitlik 5, Tikhonov'un düzenlenmiş problemi olarak adlandırılır. Burada $p^T p$ ifadesi p vektörünün 2-normunun karesine eşittir ve ϵ , 0'a oldukça yakın pozitif bir sayıdır (Beck ve Sabach, 2014). (Çalışmada $\epsilon=2^{-23}$ olarak alınmıştır.) eşitlik 5 kesin konveks minimizasyon problemidir ve tek çözüm vermektedir.

$$\min \|C^T p\|_1 + \frac{\epsilon}{2} p^T p$$

$$k.a. \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (5)$$

$$p_i \geq 0, \forall i$$

eşitlik 5, MATLAB yazılımı olan CVX yardımıyla çözülebilir (Grant ve Boyd, 2008). Bunun için CVX kodu eşitlik 6'daki gibidir. 1-norm yerine sonsuz-norm kullanıldığında, norm(x,1) yerine norm(x,inf) ifadesi kullanılır.

```
cvx_solver mosek
cvx_begin
variables p(n);
d = 0.5*eps("single");
minimize (norm(transpose(C)*p,1) + d*transpose(p)*p)
subject to
    ones(1,n)*p == 1;
    p >= zeros(n,1);
cvx_end
```

NM-VIKOR'un ilk iki adımı VIKOR'un ilk iki adımı ile aynıdır. NM-VIKOR'un diğer adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Adım 3: eşitlik 5'in tek optimal çözümü $p^*=(p_i^*)$, eşitlik 6'daki CVX koduyla ya da başka bir şekilde bulunur. Her i için $s_i=1-p_i^*$ olmak üzere $s=(s_i)$ vektörü oluşturulur. eşitlik 5 ve eşitlik 6'da 1-norm yerine sonsuz-norm kullanıldığında her i için $r_i=1-p_i^*$ olmak üzere $r=(r_i)$ vektörü oluşturulur.

Adım 4: i. alternatif için aralık değerli uzlaşık performans olan $1-q_i$, eşitlik 7'deki gibi belirlenir.

$$1 - q_i := \left[\min(1 - s_i, 1 - r_i), \max(1 - s_i, 1 - r_i) \right] \quad (7)$$

Adım 5: Alternatifler büyükten küçüğe sıralanırken ve alternatiflere kaynak dağıtımını yapılırken eşitlik 7'deki kapalı aralığın orta noktası kullanılır. $1-q_i=0$ ise ilgili alternatif görece yetersiz alternatif olarak adlandırılır.

ÇKKV yöntemleri grup karar verme problemleri için geliştirildiğinde, aynı anda birden çok yılın bir bütün olarak ve herhangi bir bilgi kaybı olmadan analiz edilebilmesine imkân verir. NM-VIKOR'un grup karar verme problemleri için genel hali olan NMG-VIKOR'un adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Her bir karar verici için karar matrisi (A^k) ve kriterlerin ağırlık vektörü (w^k) ayrı ayrı belirlenir.

Adım 2: Her bir karar verici için C^k matrisi, eşitlik 1 kullanılarak ayrı ayrı oluşturulur.

Karar verici sayısı t olmak üzere eşitlik 5'in NMG-VIKOR'daki karşılığı eşitlik 8'deki gibi belirlenmiştir. eşitlik 5'te tek bir karar verici için pozitif ideal çözüme olan Manhattan uzaklığı kullanılırken, eşitlik 8'de farklı karar vericiler için pozitif ideal çözüme olan Manhattan uzaklıklarının toplamı kullanılmıştır.

$$\min \frac{\varepsilon}{2} p^T p + \sum_{k=1}^t \left\| (C^k)^T p \right\|_1$$

$$k.a. \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

$$p_i \geq 0, \forall i$$
(8)

eşitlik 8 için CVX kodu eşitlik 9'daki gibidir.

```
cvx_solver mosek
cvx_begin
variables p(n) y(t);
d = 0.5*eps("single");
minimize (sum(y) + d * transpose(p)* p)
subject to
    ones(1,n)* p == 1;
    p >= zeros(n,1);
    y(k,1) >= norm(transpose(C^k)* p,1), \forall k
cvx_end
```

(9)

Adım 3: eşitlik 8'in tek optimal çözümü $p^*=(p_i^*)$, eşitlik 9'daki CVX koduyla ya da başka bir şekilde bulunur. Her i için $s_i=1-p_i^*$ olmak üzere $s=(s_i)$ vektörü oluşturulur. eşitlik 8 ve eşitlik 9'da 1-norm yerine sonsuz-norm kullanıldığında, her i için $r_i=1-p_i^*$ olmak üzere $r=(r_i)$ vektörü oluşturulur.

NMG-VIKOR'un son iki adımı, NM-VIKOR'un son iki adımı ile aynıdır. Başka bir deyişle NMG-VIKOR alternatiflerin uzlaşık performanslarını $(1-q_i)$ bir kapalı aralık olarak belirler. Alternatifler büyükten küçüğe sıralanırken ve alternatiflere kaynak dağıtımı yapılırken bu aralığın orta noktası kullanılır.

Uyarı: Tanımları gereği NM-VIKOR ve NMG-VIKOR, tüm alternatifleri değerlendirerek ideal bir alternatif portföyü oluşturur. Her i için $1-s_i$, $1-r_i$ ve $1-q_i$ değerleri, i . alternatifin bu ideal alternatif portföyündeki ağırlığı ile ilişkilidir. Görece yetersiz olan alternatiflerin bu portföydeki ağırlıkları sıfırdır.

4. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde öncelikle 2022 yılı DESI verileri kullanılarak NM-VIKOR'un uygulama adımları gösterilmiştir. Ayrıca

2017-2022 dönemindeki her bir yıl için yirmi yedi AB ülkesinin dijitalleşme seviyelerinin karşılaştırılmasında NM-VIKOR kullanılarak elde edilen sonuçlar, yine bu kapsamda ama bu kez 2017-2022 döneminin geneli için NMG-VIKOR kullanılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca elde edilen tüm sonuçlar, birbirleriyle ve literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. DESI'nin dört boyutu olarak belirlenen ve Tablo 1'de açıklanan fayda yönlü kriterler (K1, K2, K3 ve K4) bu karşılaştırmada kullanılmıştır. DESI metodolojinde bu boyutların ağırlıkları eşit olduğundan çalışmada kriter ağırlıkları eşit olarak alınmıştır. Sonuçları özel olarak belirtilmeyen ülkeler için bulunan uzlaşık performans değerleri $(1-q_i)$ 2017-2022 döneminin tüm yılları için 0'dır. Yani bu ülkeler 2017-2022 dönemindeki tüm yıllarda dijitalleşme seviyesi açısından görece yetersiz ülke olarak bulunmuştur. NM-VIKOR, 2022 yılı DESI verileri kullanılarak aşağıdaki adımlarla uygulanmıştır.

Adım 1: Karar matrisi (A) Tablo 2'deki gibi oluşturulmuştur. Kriter ağırlıkları eşit alınmıştır.

Tablo 2. Karar matrisi

	K1	K2	K3	K4
Avusturya	50,95	56,47	39,17	72,12
Belçika	48,69	39,83	47,96	64,75
Bulgaristan	32,59	50,70	15,53	51,90
G. Kıbrıs	41,77	58,78	35,35	57,52
Çekya	45,59	52,69	33,84	64,46
Almanya	44,97	67,32	35,84	63,41
Danimarka	59,19	77,09	57,99	83,07
Estonya	53,95	44,45	36,47	91,18
Yunanistan	40,13	49,58	26,63	39,39
İspanya	51,32	69,71	38,54	83,52
Finlandiya	71,39	60,55	59,09	87,37
Fransa	49,87	64,19	31,91	67,35
Hırvatistan	51,83	48,06	36,73	53,57
Macaristan	38,45	57,60	21,58	57,40
İrlanda	62,64	61,54	43,32	83,45
İtalya	36,57	61,23	40,74	58,48
Litvanya	42,46	49,35	37,25	81,80
Lüksemburg	57,77	59,30	34,96	83,37
Letonya	44,14	50,07	25,83	78,81
Malta	56,60	53,00	48,13	85,81
Hollanda	63,13	70,10	52,07	84,19
Polonya	37,03	46,52	22,88	55,76
Portekiz	45,94	51,59	37,59	67,91
Romanya	30,92	55,23	15,15	21,04
İsveç	61,98	60,25	56,24	82,42
Slovenya	44,25	59,90	39,84	69,49
Slovakya	44,13	49,82	27,83	52,00

Adım 2: eşitlik 1 kullanılarak, C matrisi Tablo 3'teki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3. C matrisi

	K1	K2	K3	K4
Avusturya	0,1262	0,1384	0,1133	0,0679
Belçika	0,1402	0,2500	0,0633	0,0942
Bulgaristan	0,2397	0,1770	0,2479	0,1400
G. Kıbrıs	0,1830	0,1229	0,1351	0,1200
Çekya	0,1594	0,1637	0,1437	0,0953
Almanya	0,1632	0,0655	0,1323	0,0990
Danimarka	0,0754	0,0000	0,0062	0,0289
Estonya	0,1077	0,2190	0,1287	0,0000
Yunanistan	0,1931	0,1846	0,1847	0,1846
İspanya	0,1240	0,0495	0,1169	0,0273
Finlandiya	0,0000	0,1110	0,0000	0,0136
Fransa	0,1329	0,0866	0,1546	0,0849
Hırvatistan	0,1208	0,1948	0,1272	0,1341
Macaristan	0,2035	0,1307	0,2134	0,1204
İrlanda	0,0540	0,1043	0,0897	0,0276
İtalya	0,2151	0,1064	0,1044	0,1166
Litvanya	0,1787	0,1861	0,1243	0,0334
Lüksemburg	0,0841	0,1193	0,1373	0,0278
Letonya	0,1684	0,1812	0,1893	0,0441
Malta	0,0914	0,1616	0,0624	0,0191
Hollanda	0,0510	0,0469	0,0400	0,0249
Polonya	0,2122	0,2051	0,2060	0,1262
Portekiz	0,1572	0,1711	0,1223	0,0830
Romanya	0,2500	0,1467	0,2500	0,2500
İsveç	0,0581	0,1129	0,0162	0,0312
Slovenya	0,1676	0,1153	0,1095	0,0773
Slovakya	0,1684	0,1829	0,1778	0,1397

Adım 3: eşitlik 5'in tek çözümü eşitlik 6 kullanılarak bulunmuştur. Buna göre $1-s_i$ değerleri; Danimarka için 1 iken, diğer ülkeler için 0'dır. eşitlik 5 ve eşitlik 6'da 1-norm yerine sonsuz-norm kullanılarak bulunan tek optimal çözüme göre $1-r_i$ değerleri; Danimarka için 0,595, Finlandiya için 0,405 ve diğer ülkeler için 0'dır.

Adım 4: i. alternatifin uzlaşık performans değeri ($1-q_i$), eşitlik 7 kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre Danimarka için $1-q_i=[0,595,1]$, Finlandiya için $1-q_i=[0,0,405]$ ve diğer ülkeler için $1-q_i=0$ olarak bulunmuştur.

Adım 5: Uzlaşık performans değerlerinin orta noktaları kullanılarak 2022 yılındaki sıralama, Danimarka ve

Finlandiya olarak bulunmuştur. Diğer ülkelerin uzlaşık performans değerleri 0 olduğundan bu ülkeler görece yetersiz ülke (Y) olarak bulunmuştur. Söz konusu bilgiler Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. 2022 yılı için sonuçlar

	$1-s_i$	$1-r_i$	$1-q_i$	Sıra
Danimarka	1	0,595	[0,595, 1]	1
Finlandiya	0	0,405	[0, 0,405]	2
Lüksemburg	0	0	0	Y
İsveç	0	0	0	Y

2021 yılına ait verilerle yapılan karşılaştırmada, Tablo 5'teki sonuçlar elde edilmiştir. 2021 yılı için bulunan sıralama; Danimarka ve Finlandiya şeklindedir. Diğer ülkeler, dijitalleşme seviyesi açısından görece yetersiz ülke olarak bulunmuştur.

Tablo 5. 2021 yılı için sonuçlar

	$1-s_i$	$1-r_i$	$1-q_i$	Sıra
Danimarka	1	0,663	[0,663, 1]	1
Finlandiya	0	0,337	[0, 0,337]	2
Lüksemburg	0	0	0	Y
İsveç	0	0	0	Y

2020 yılına ait verilerle yapılan karşılaştırmada, Tablo 6'daki sonuçlar elde edilmiştir. 2020 yılı için bulunan sıralama; Finlandiya ve İsveç şeklindedir. Diğer ülkeler, dijitalleşme seviyesi açısından görece yetersiz ülke olarak bulunmuştur.

Tablo 6. 2020 yılı için sonuçlar

	$1-s_i$	$1-r_i$	$1-q_i$	Sıra
Danimarka	0	0	0	Y
Finlandiya	1	0,430	[0,430, 1]	1
Lüksemburg	0	0	0	Y
İsveç	0	0,570	[0, 0,570]	2

2019 yılına ait verilerle yapılan karşılaştırmada, Tablo 7'deki sonuçlar elde edilmiştir. 2019 yılı için bulunan sıralama; Finlandiya ve İsveç şeklindedir. Diğer ülkeler, dijitalleşme seviyesi açısından görece yetersiz ülke olarak bulunmuştur.

2018 yılına ait verilerle yapılan karşılaştırmada, Tablo 8'deki sonuçlar elde edilmiştir. 2018 yılı için bulunan sıralama; Finlandiya ve İsveç şeklindedir. Diğer ülkeler, dijitalleşme seviyesi açısından görece yetersiz ülke olarak bulunmuştur.

2017 yılına ait verilerle yapılan karşılaştırmada, Tablo 9'daki sonuçlar elde edilmiştir. 2017 yılı için bulunan sıralama; Finlandiya, Lüksemburg ve Danimarka şeklindedir. Diğer ülkeler, dijitalleşme seviyesi açısından görece yetersiz ülke olarak bulunmuştur.

Tablo 7. 2019 yılı için sonuçlar

	1-s _i	1-r _i	1-q _i	Sıra
Danimarka	0	0	0	Y
Finlandiya	1	0,441	[0,441, 1]	1
Lüksemburg	0	0	0	Y
İsveç	0	0,559	[0, 0,559]	2

Tablo 8. 2018 yılı için sonuçlar

	1-s _i	1-r _i	1-q _i	Sıra
Danimarka	0	0	0	Y
Finlandiya	1	0,307	[0,307, 1]	1
Lüksemburg	0	0	0	Y
İsveç	0	0,693	[0, 0,693]	2

Tablo 9. 2017 yılı için sonuçlar

	1-s _i	1-r _i	1-q _i	Sıra
Danimarka	0	0,226	[0, 0,226]	3
Finlandiya	1	0,423	[0,423, 1]	1
Lüksemburg	0	0,351	[0, 0,351]	2
İsveç	0	0	0	Y

2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında Finlandiya dijitalleşme seviyesi açısından ilk sırada iken 2021 ve 2022 yıllarında yerini Danimarka'ya kaptırmıştır ve ikinci sıraya düşmüştür. 2017 yılında Danimarka üçüncü sırada iken 2018, 2019 ve 2020 yıllarında görece yetersiz ülke olarak bulunmuştur. 2017 yılında görece yetersiz ülke konumunda olan İsveç; 2018, 2019 ve 2020 yıllarında ikinci sıraya yükselse de 2021 ve 2022 yıllarında tekrardan görece yetersiz ülke konumuna düşmüştür. Lüksemburg 2017 yılında ikinci sırada iken sonraki yıllarda görece yetersiz ülke konumuna düşmüştür. Özetle, yıldan yıla AB ülkelerinin dijitalleşme seviyeleri değişmektedir. Öte yandan öne çıkan iki ülke Finlandiya ve Danimarka'dır.

2017-2022 döneminin geneli için bulunan sıralama Tablo 10'da sunulmuştur. Burada Finlandiya ilk sırada, Danimarka ikinci sıradadır. Diğer ülkeler ise görece yetersiz ülke olarak bulunmuştur. Söz konusu sonuçlar, periyottaki her bir yıl için ayrı ayrı bulunan sonuçlarla uyumludur.

Tablo 10. 2017-2022 dönemi için sonuçlar

	1-s _i	1-r _i	1-q _i	Sıra
Danimarka	0	0,665	[0, 0,665]	2
Finlandiya	1	0,335	[0,335, 1]	1
Lüksemburg	0	0	0	Y
İsveç	0	0	0	Y

AB ülkelerini karşılaştıran literatürdeki çalışmalarda elde edilen ilk üç sıra Tablo 11'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere bu çalışmanın sonuçları, literatürdeki sonuçlarla uyumludur.

Tablo 11. Literatürdeki sonuçlar

	1. sıra	2. sıra	3. sıra
Stankovic vd. (2021)	Finlandiya	Hollanda	Danimarka
Bandhi ve Dubos (2023a)	Danimarka	Finlandiya	İsveç
Bandhi ve Dubos (2023b)	Danimarka	Finlandiya	-
Bandhi ve Dubos (2024)	Finlandiya	İsveç	Danimarka
Marti ve Puertas (2023)	İsveç	Hollanda	Finlandiya
Kiselakova vd. (2022)	Danimarka	Finlandiya	Hollanda
Georgescu vd. (2023)	Finlandiya	İsveç	Danimarka
Bu çalışma	Finlandiya	Danimarka	-

5. Sonuç

Çalışmada, AB ülkelerinin 2017-2022 dönemindeki dijitalleşme seviyelerini bütüncül bir şekilde karşılaştırmak amacıyla VIKOR'un norm minimizasyonuna dayalı uzantısı (NM-VIKOR) önerilmiştir ve bu uzantı grup karar verme problemleri için genelleştirilmiştir. Bu uzantı ile yapılan karşılaştırmada farklı yıllar için farklı sonuçlar bulunmuştur. Örneğin, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında Finlandiya ilk sıradadır. 2021 ve 2022 yıllarında ise Danimarka ilk sıradadır. Bu uzantının genel hali olan NMG-VIKOR kullanıldığında ise 2017-2022 dönemi için ilk iki sıra; Finlandiya ve Danimarka olarak bulunmuştur. Diğer AB ülkeleri, dijitalleşme seviyesi açısından görece yetersizdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, dijitalleşme seviyesi açısından görece yetersiz olarak bulunan AB ülkelerinin ve ülkemiz gibi AB'ye aday, gelişmekte olan ülkelerin dijital gelişimlerinin iyileştirilmesi için söz konusu iki ülkeyi örnek alması gerektiğini göstermektedir.

Çalışmanın üç önemli sınırlılığı vardır. İlk olarak, DESI metodolojisi 2023 yılında kısmen değiştiği için 2023 yılı çalışma kapsamına dahil edilememiştir. Bununla birlikte çalışmada tek bir yöntem (NM-VIKOR) ve bunun genel hali (NMG-VIKOR) kullanılmıştır. Ayrıca AB'ye üye olmadıklarından ülkemiz gibi birçok ülke çalışmaya dahil edilmemiştir. İlerideki çalışmalarda dijitalleşme seviyelerinin karşılaştırılmasında kullanılan yöntem sayısı artırılabilir. Ayrıca I-DESI verileri kullanılarak çalışma kapsamı genişletilebilir. Bununla birlikte ülkelerin dijital gelişimlerinin karşılaştırılmasından farklı ÇKKV problemleri için bu yöntemler kullanılabilir. Öte yandan bu yöntemler, görece yetersiz olan alternatifleri kendi içlerinde sıralayamaz. Ayrıca orijinal problemler yerine Tikhonov'un düzenlenmiş problemlerini kullandıklarından yaklaşık sonuçlar verir. Bununla birlikte kullanılabilirlikleri için özel yazılımlara ihtiyaç duyulur. Öte yandan VIKOR'dan farklı olarak bu yöntemler, alternatiflerin gruplandırılmasında ve alternatiflere kaynak dağıtımında kullanılabilir. Başka bir deyişle bu yöntemlerden daha az bilgi taşısa da VIKOR, bunlara oranla daha pratik bir yöntemdir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	F.G.	S.S.K.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

Bánhidi Z, Dobos I. 2023a. A Data Envelopment Analysis model for ranking digital development in the countries of the European Union without explicit inputs and common weights analysis. *Decis Anal J*, 6: 100167. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100167>

Bánhidi Z, Dobos I. 2023b. Measurement of digital development with partial orders, Tiered DEA, and cluster analysis for the European Union. *Int Rev Appl Sci Eng*, 14(3): 392-401. <https://doi.org/10.1556/1848.2023.00612>

Bánhidi Z, Dobos I. 2024. Sensitivity of TOPSIS ranks to data normalization and objective weights on the example of digital development. *Cent Eur J Oper Res*, 32(1): 29-44. <https://doi.org/10.1007/s10100-023-00876-y>

Beck A, Sabach S. 2014. A first order method for finding minimal norm-like solutions of convex optimization problems. *Math Program*, 147(1): 25-46. <http://dx.doi.org/10.1007/s10107-013-0708-2>

Boyd SP, Vandenberghe L. 2004. *Convex optimization*. Cambridge University Press.

Calp MH. 2020. The role of artificial intelligence within the scope of digital transformation in enterprises. In *Advanced MIS and*

digital transformation for increased creativity and innovation in business. IGI Global, pp: 122-146.

Chatterjee P, Chakraborty S. 2016. A comparative analysis of VIKOR method and its variants. *Decis Sci Lett*, 5(4): 469-486. <http://dx.doi.org/10.5267/j.dsl.2016.5.004>

DESI. 2022a. Metadata. URL: <https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi-2022/metadata> (erişim tarihi: 20 Şubat 2024).

DESI. 2022b. Thematic chapters and methodological note. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi> (erişim tarihi: 20 Şubat 2024).

Georgescu MR, Lungu AE, Bogoslov IA, Stoica EA. 2023. European Efficiency or Inefficiency in Economic Growth Through Digital Transformation. *Sci Ann Econ Bus*, 70: 19-31. <https://doi.org/10.47743/saeb-2023-0010>

Göktaş F. 2024. İskandinav ülkelerinin dijital toplum seviyelerinin yeni bir TOPSIS uzantısı ile karşılaştırılması. *J Innov Eng Nat Sci*, 4(2): 482-494. <https://doi.org/10.61112/jiens.1461755>

Grant MC, Boyd SP. 2008. Graph implementations for nonsmooth convex programs. In *Recent advances in learning and control*. Springer London, pp: 95-110. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-155-8_7

Ionescu-Feleaga L, Ionescu BŞ, Stoica OC. 2023. The Link between Digitization and the Sustainable Development in European Union Countries. *Electronics*, 12(4): 961. <https://doi.org/10.3390/electronics12040961>

ITU. 2019. Measuring digital development facts and figures. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx> (erişim tarihi: 20 Şubat 2024).

Kiselakova D, Sofrankova B, Sira E, Fedorcikova R. 2022. Assessment of the digital economy's level among the EU countries-an empirical study. *Pol J Manag Stud*, 26(1): 107-124. <https://doi.org/10.17512/pjms.2022.26.1.07>

Kumar R, Sachan A, Mukherjee A. 2018. Direct vs indirect e-government adoption: an exploratory study. *Dig Policy Regul*, 19(1): 77-100. <https://doi.org/10.1108/DPRG-05-2021-0060>

Marti L, Puertas R. 2023. Analysis of European competitiveness based on its innovative capacity and digitalization level. *Technol Soc*, 72: 102206. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102206>

Skvarciany V, Lapinskaitė I, Stasytytė V. 2023. Efficiency of digital economy in the context of sustainable development: DEA-Tobit approach. *Prague Econ Pap*, 32(2): 129-158. <https://doi.org/10.18267/j.pep.824>

Stankovic JJ, Marjanovic I, Drezgic S, Popovic Z. 2021. The digital competitiveness of European countries: A multiple-criteria approach. *J Compet*, 13(2): 117-134. <https://doi.org/10.7441/joc.2021.02.07>

Van Laar E, Van Deursen AJ, Van Dijk JA, De Haan J. 2017. The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Comput Hum Behav*, 72: 577-588. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010>

Zerhouni MN, Özarı Ç. 2022. Assessment of international digital economy and society index using entropy based TOPSIS methods. *Int J Rec Res Commerce Economics Manag*, 9(2): 70-77. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6579884>