



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Belirsiz kriter ağırlıkları altında OECD ülkelerinin dijital gelişimlerinin değerlendirilmesi

Assessing the digital developments of the OECD countries under uncertain criteria weights

Yazar(lar) (Author(s)): Furkan GÖKTAŞ

ORCID: 0000-0001-9291-3912

To cite to this article: Göktas F., “Belirsiz kriter ağırlıkları altında OECD ülkelerinin dijital gelişimlerinin değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, 28(2): 521-530, (2025).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Göktas F., “Belirsiz kriter ağırlıkları altında OECD ülkelerinin dijital gelişimlerinin değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 28(2): 521-530, (2025).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1447229

Belirsiz Kriter Ağırlıkları Altında OECD Ülkelerinin Dijital Gelişimlerinin Değerlendirilmesi

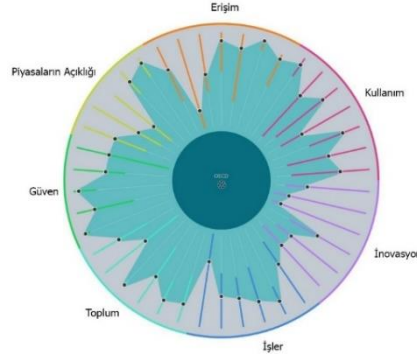
Assessing the Digital Developments of the OECD Countries Under Uncertain Criteria Weights

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Basit toplamli ağırlıklandırma yönteminin belirsiz kriter ağırlıkları için genelleştirilmesi. / The generalization of the simple additive weighting method for uncertain criteria weights.
- ❖ Dokuz OECD ülkesinin dijital gelişimlerinin değerlendirilmesi. / The assessment of digital developments of the nine OECD countries.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada OECD'nin dijital gelişim için belirlediği yedi kriter ve kırk iki alt kriter için en güncel OECD verileri kullanılmıştır. Grafik OECD resmi web sitesinden alınmıştır. / In this study, the latest OECD data is used for seven criteria and forty-two sub-criteria determined by OECD for the digital development. The figure is taken from the OECD official website.



Şekil. Dijital gelişimin boyutları / **Figure.** The dimensions of digital development

Amaç (Aim)

Belirsiz kriter ağırlıkları altında dokuz OECD ülkesinin dijital gelişimlerinin değerlendirilmesidir. / It is the assessment of the digital developments of the nine OECD countries under uncertain criteria weights.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Belirsiz kriter ağırlıklarıyla basit toplamli ağırlıklandırma ÇKKV yöntemi önerilmiştir ve kullanılmıştır. / An MCDM method called simple additive weighting with uncertain criteria weights has been proposed and used.

Özgünlük (Originality)

Basit toplamli ağırlıklandırma yöntemi belirsiz kriter ağırlıkları için genelleştirilerek objektif bir analiz yapılmıştır. / An objective analysis is made by generalizing the simple additive weighting method for uncertain criteria weights.

Bulgular (Findings)

Dokuz OECD ülkesi içinde dijital gelişimi en yüksek olan ülke Finlandiya'dır. / Among the nine OECD countries, the country with the highest digital development is Finland.

Sonuç (Conclusion)

Objektif bakış açısı ile yapılan değerlendirmenin sonucunda, dokuz OECD ülkesinin dijital gelişimlerinin benzer olduğu sonucuna varılmıştır. / As a result of the assessment made from an objective perspective, we conclude that the digital developments of the nine OECD countries are similar.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarı çalışmasında kullandığı materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan eder. / The author of this article declares that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Belirsiz Kriter Ağırlıkları Altında OECD Ülkelerinin Dijital Gelişimlerinin Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Furkan GÖKTAS*

İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 05.03.2024 ; Kabul/Accepted : 09.08.2024 ; Erken Görünüm/Early View : 11.08.2024)

ÖZ

Bu çalışmanın amacı belirsiz kriter ağırlıkları altında dokuz OECD ülkesinin dijital gelişimlerinin değerlendirilmesidir. Bu kapsamda basit toplamli ağırlıklandırma yöntemi (SAW) belirsiz kriter ağırlıkları için genelleştirilerek yeni bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem belirsiz kriter ağırlıklarıyla basit toplamli ağırlıklandırma yöntemi (U-SAW) olarak adlandırılmıştır. Çalışmada OECD'nin belirlediği kriterler baz alınmıştır ve en güncel OECD verileri kullanılmıştır. Yapılan analizin sonucunda ağırlığı en yüksek olan kriter, güven olarak bulunmuştur. Dijital gelişimi en yüksek olan ülke Finlandiya'dır. Dokuz OECD ülkesinin dijital gelişimlerinin benzer olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağırlıklı toplam, belirsiz kriter ağırlıkları, çok kriterli karar verme, dijitalleşme, konveks optimizasyon.

Assessing the Digital Developments of the OECD Countries Under Uncertain Criteria Weights

ABSTRACT

Digitalization is the word of our age. This study aims to assess the digital developments of the nine OECD countries under uncertain criteria weights. In this context, a new multi-criteria decision-making (MCDM) method has been proposed by generalizing the simple additive weighting method (SAW) for uncertain criteria weights. The proposed method is called the simple additive weighting method with uncertain criteria weights (U-SAW). The study is based on the criteria determined by the OECD, and the latest OECD data is used. As a result of the analysis, the criterion with the highest weight is found to be as trust. The country with the highest digital development is Finland. We conclude that the digital developments of the nine OECD countries are similar.

Keywords: Weighted sum, uncertain criteria weights, multi-criteria decision-making, digitalization, convex optimization.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dijitalleşme kavramı, dijital teknolojilerinin yaygın kullanımıyla birlikte önem kazanmaktadır. Dijitalleşme; bireyler, toplumlar, şirketler ve dolayısıyla ülkeler üzerinde ihmal edilemez bir etkiye sahiptir. Örneğin dijitalleşme; iletişim ve eğitim olanaklarını iyileştirmekte, toplumsal yapıları dönüştürmekte, yeni iş modellerini ortaya çıkarmakta, rekabeti artırmakta ve ekonomik büyümeyi hızlandırmaktadır. Ülkemizin kurucu üyesi olduğu Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü'ne (OECD) göre dijitalleşme, dijital teknolojilerin kullanımıyla birlikte yeni faaliyetlerin ortaya çıkmasını veya mevcut faaliyetlerde değişikliklerin gerçekleşmesini ifade etmektedir. Dolayısıyla dijitalleşme; bireyleri, toplumları, şirketleri ve ülkeleri etkileyen bir dönüştürme sürecidir. Dijital dönüşümse dijitalleşmenin ekonomik ve sosyal etkilerini ifade etmektedir [1,2].

Dijital gelişim, çok boyutlu bir kavramdır ve çeşitli alanlarda ölçülebilir ve izlenebilir etkileri içermektedir. OECD'ye göre dijital gelişimin yedi kriteri (boyutu) vardır. Erişim kriteri, dijital teknolojilerin yardımıyla veri erişim ve paylaşım düzeyini değerlendirmektedir.

Kullanım kriteri, dijital teknolojilerin kullanım ve benimsenme düzeyini değerlendirmektedir. İnovasyon kriteri, dijital dönüşümde inovasyon ve yeni dijital teknolojilerin yaygınlaşma düzeyini değerlendirmektedir. İşler kriteri, dijitalleşmenin işgücü piyasasını dönüştürme düzeyini değerlendirmektedir. Toplum kriteri, dijitalleşmenin toplum ve kültür üzerindeki karmaşık ve birbiriyle ilişkili olan etkisini değerlendirmektedir. Güven kriteri, dijital ortamda güvenin sağlanma ve korunma düzeyini değerlendirmektedir. Piyasaların açıklığı kriteri, dijital piyasaların açıklık ve rekabetçilik düzeyini değerlendirmektedir [1,2].

Dijital gelişim ülkeler için hayati öneme sahip olduğundan, ülkelerin dijital gelişimlerini ÇKKV yöntemlerini kullanarak değerlendiren çalışmalar literatürde mevcuttur. Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkelerinin yenilik kapasitesine ve dijitalleşme düzeyine dayalı rekabetçiliği TOPSIS ile değerlendirilmiştir [3]. AB üyesi ülkelerdeki şirketlerin dijitalleşme ve otomasyon düzeyi TOPSIS ile değerlendirilmiştir [4]. OECD ülkelerinin teknolojik olgunluğu PROMETHEE ile değerlendirilmiştir [5]. AB üyesi ülkelerdeki şirketlerin yenilikçilik ve dijitalleşme düzeyi EDAS,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : furkangoktas@karabuk.edu.tr

MOORA ve VIKOR ile değerlendirilmiştir [6]. Avrupa ülkelerinin dijital rekabetçiliği TOPSIS ile değerlendirilmiştir [7]. Avrupa ülkelerindeki finansal hizmetlerin dijitalleşme düzeyi SAW ile değerlendirilmiştir [8]. AB üyesi ülkelerin dijital dönüşüm düzeyi TOPSIS ile değerlendirilmiştir [9]. AB üyesi ülkelerdeki şirketlerin dijitalleşme düzeyi MOORA ile değerlendirilmiştir [10]. Merkez ve doğu Avrupa ülkelerindeki şirketlerin dijitalleşme düzeyi TOPSIS ve VIKOR ile değerlendirilmiştir [11]. Söz konusu ÇKKV yöntemlerinin aksine DEA, kriter ağırlıklarını içsel olarak belirlemektedir. OECD ülkelerinin dijitalleşme düzeyi DEA ile değerlendirilmiştir [12].

ÇKKV problemlerinde farklı kriter ağırlıkları kullanıldığında farklı sonuçlar elde edilmektedir. Bu da önemli bir eleştiri konusudur [13]. Bu nedenle TOPSIS yöntemi belirsiz kriter ağırlıkları için genelleştirilmiştir ve UW-TOPSIS yöntemi önerilmiştir [14]. Öte yandan bu yöntemde her bir alternatif için farklı kriter ağırlıklarının bulunması sorunu vardır [15]. Bu çalışmanın amacı, güncel tüm verilerine ulaşılabilen OECD ülkelerinin dijital gelişimlerinin belirsiz kriter ağırlıkları altında değerlendirilmesidir. En çok kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri SAW'dır [16]. Bu çalışmada SAW, belirsiz kriter ağırlıkları için genelleştirilerek U-SAW önerilmiştir. Önerilen yeni yöntem, kriterlerin ağırlık vektörünü ve alternatiflerin öncelik vektörünü tek olarak bulmaktadır. Bu çalışmanın özgünlüğü önerilen yeni yöntemden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmanın [12] numaralı kaynaktan iki temel farkı, OECD'ye göre dijital gelişimin yedi kriterinin tüm alt kriterlerinin verilerinin kullanılması ve ülkelerin tüm sıralamasının elde edilmesidir.

Bu çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2.1'de SAW ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Bölüm 2.2'de U-SAW tanımlanmıştır. Bölüm 3'te güncel OECD verileri kullanılarak dokuz OECD ülkesinin dijital gelişimleri U-SAW ile değerlendirilmiştir [17].

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting)

Farklı normalizasyon teknikleriyle kullanılabilen SAW'ın adımları şu şekilde sıralanabilir [16, 18].

Adım 1: Elemanları pozitif olan karar matrisi $A_{n \times m} = (a_{ij})$ Eşitlik 1'deki gibi oluşturulur. Burada i. alternatifin j. kriter için performans değeri a_{ij} ile gösterilmiştir. (Bu matrisin pozitif olmayan elemanları varsa bu matris için farklı dönüşümler uygulanabilir [16].)

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: j. kriter fayda yönlü kriterse Eşitlik 2'de, maliyet yönlü kriterse Eşitlik 3'te verilen doğrusal yöntem kullanılır ve normalize edilmiş karar matrisi $B = (b_{ij})$

oluşturulur. Bu matrisin elemanları pozitifdir ve her bir sütun toplamı 1'e eşittir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$b_{ij} = \frac{1/a_{ij}}{\sum_{i=1}^n 1/a_{ij}} \quad (3)$$

Adım 3: Kriterlerin ağırlık vektörü $\lambda = (\lambda_j)$, seçilen yöntemle belirlenir. Bu vektörün elemanları negatif değildir ve elemanları toplamı 1'i verir.

Adım 4: i. alternatifin ağırlıklı toplam değeri Eşitlik 4 ile bulunur ve pozitifdir. Alternatiflerin ağırlıklı toplam vektörü $w^* = (w_i^*)$, Bλ ifadesine eşittir.

$$w_i^* = \sum_{j=1}^m \lambda_j b_{ij}, \text{ her } i \text{ için} \quad (4)$$

Uyarı: B matrisinin her bir sütununun elemanları toplamı ve λ vektörünün elemanları toplamı 1 olduğundan, w^* vektörünün elemanları toplamı 1'e eşittir [19].

Adım 5: w^* vektörü ile alternatifler sıralanır veya alternatiflere kaynak dağıtımı yapılır.

2.2. Önerilen Yöntem (The Proposed Method)

$w = (w_i)$ vektörü elemanları toplamı 1 olan portföy (kaynak dağıtım planı) olmak üzere bunun j. kriter için kuadratik fayda fonksiyonu Eşitlik 5 ile tanımlanmıştır.

$$F_j(w) = \sum_{i=1}^n b_{ij} w_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i^2, \text{ her } j \text{ için} \quad (5)$$

U-SAW, farklı kriterler için en kötü durumdaki fayda fonksiyonunu maksimize eden portföyü (w^*) bulur. Söz konusu Maksimin optimizasyon problemi Eşitlik 6a'da verilmiştir. Buna benzer bir problem, dayanıklı portföy seçimi problemi için [20] numaralı kaynakta oluşturulmuştur ve çözülmüştür.

$$\max_w \sum_{j=1}^n b_{ij} w_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i^2 \quad (6a)$$

Minimum fonksiyonunun tanımı nedeniyle Eşitlik 6a ile Eşitlik 6b özdeştir. Burada y değişkeni en düşük kuadratik faydayı veren kriterler ile ilişkilidir.

$$\max_y y - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i^2 \quad (6b)$$

$$k.a. y - \sum_{i=1}^n b_{ij} w_i \leq 0, \text{ her } j \text{ için}$$

Eşitlik 6b kesin konkav maksimizasyon problemi olduğundan bunun tek çözümü Karush-Kuhn-Tucker (KKT) koşulları kullanılarak bulunabilir. Eşitlik 6b için Lagrange fonksiyonu Eşitlik 7'deki gibidir. Burada λ_j , Eşitlik 6b'nin j. kısıtıyla ilişkili olan dual optimaldir. KKT'nin dual olurluk koşulu nedeniyle $\lambda = (\lambda_j)$ vektörünün elemanları negatif değildir.

$$L(y, w, \lambda) = \left(-y + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i^2 \right) + \sum_{j=1}^m \left(\lambda_j \left(y - \sum_{i=1}^n b_{ij} w_i \right) \right) \quad (7)$$

KKT'nin ilk koşulu olan durağanlık koşulunu elde etmek için Eşitlik 7'nin y 'ye ve w_i 'ye göre kısmi türevleri alınıp 0'a eşitlenir. y 'ye göre kısmi türev alınıp 0'a eşitlendiğinde Eşitlik 8 elde edilir. Buna göre $\lambda = (\lambda_j)$ vektörü, kriterlerin ağırlık vektörü olması için gereken şartları sağlar.

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1 \quad (8)$$

w_i 'ye göre kısmi türev alınıp 0'a eşitlendiğinde Eşitlik 9 elde edilir. Buna göre U-SAW, Eşitlik 6b'nin dual optimallerini kriterlerin ağırlık vektörü olarak atar ve kriter ağırlıklandırma konusu dışında SAW ile özdeşir. SAW'da kriter ağırlıkları karar verici tarafından belirlenirken, U-SAW kriter ağırlıklarını alternatiflerin öncelik vektörüyle birlikte içsel olarak belirler.

$$w_i^* = \sum_{j=1}^m \lambda_j b_{ij}, \text{ her } i \text{ için} \quad (9)$$

Uyarı: w^T , w vektörünün transpozunu göstermek üzere, $\lambda = (\lambda_j)$ bilindiğinde Eşitlik 5'te verilen kriter bazında fayda fonksiyonları için ağırlıklı toplam değeri Eşitlik 10'daki gibidir. Amaç fonksiyonu Eşitlik 10'da verilen kısıtsız maksimizasyon probleminin çözümü ise $w^* = B\lambda$ olarak bulunur. Buna ve Eşitlik 9'a göre U-SAW, SAW'nın genel halidir.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \lambda_j F_j(w) &= \sum_{j=1}^m \lambda_j \left(\sum_{i=1}^n b_{ij} w_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i^2 \right) \\ &= \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \lambda_j b_{ij} w_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i^2 \\ &= w^T B \lambda - \frac{1}{2} w^T w \end{aligned} \quad (10)$$

KKT'nin diğer bir koşulu olan tümler gevşeklik ifadesi Eşitlik 11'de verilmiştir. Buna göre U-SAW nispeten zayıf olunan kriterlere odaklanır ve nispeten güçlü olunan kriterlerin ağırlığını (λ_j) 0 olarak atar.

$$\lambda_j \left(y - \sum_{i=1}^n b_{ij} w_i^* \right) = 0, \text{ her } j \text{ için} \quad (11)$$

$\lambda = (\lambda_j)$ vektörü bilinmediğinden Eşitlik 6b'nin optimal çözümü nümerik olarak elde edilmelidir. Eşitlik 6b, konveks optimizasyon algoritmalarıyla çözülebilir. Örneğin, MATLAB yazılımı olan CVX kodu Eşitlik 12'de verilmiştir [21].

U-SAW ve SAW'nın ilk iki adımı aynıdır. SAW'nın üçüncü adımındaki kriter ağırlıklandırma U-SAW'da bulunmamaktadır. U-SAW'ın diğer adımları şu şekilde sıralanabilir.

Adım 3: Eşitlik 6b, Eşitlik 12'de verilen CVX koduyla ya da başka yöntemlerle çözülerek kriterlerin ağırlık vektörü $\lambda = (\lambda_j)$ ve alternatiflerin öncelik vektörü $w^* = (w_i^*)$ tek olarak bulunur.

cvx_solver mosek

cvx_begin

variables $w(n)$ y ;

dual variable λ ;

maximize $(y - 0.5 * \text{transpose}(w) * w)$; (12)

subject to

$\lambda : y * \text{ones}(m, 1) - \text{transpose}(B) * w \leq \text{zeros}(m, 1)$;

cvx_end

Uyarı: Eşitlik 9'a göre $w^* = B\lambda$ eşitliği geçerli olduğundan alternatiflerin öncelikleri pozitifdir ve bunların toplamı 1'e eşittir.

Adım 4: w^* vektörü ile alternatifler sıralanır veya alternatiflere kaynak dağıtımı yapılır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Bu bölümde OECD'nin dijital gelişim için belirlediği yedi kriter ve kırk iki alt kriter için güncel tüm verileri OECD'nin resmi web sitesinde bulunan dokuz OECD ülkesinin (alternatiflerin) dijital gelişimleri U-SAW kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada her bir alt kriter için her bir alternatifin 100 üzerinden skor değeri kullanılmıştır ve bu değer arttıkça alternatifin ilgili alt kriter bazındaki performansı artmaktadır.

Erişim kriteri için alt kriterler şu şekilde sıralanabilir.

E1: Yüz kişi başına sabit geniş bant abonelikleri.

E2: Yüz kişi başına mobil geniş bant abonelikleri.

E3: Yüz kişi başına Makineden Makineye (M2M) SIM kartlar.

E4: Haneler içinde geniş bant bağlantısına sahip olanların payı.

E5: İşletmeler içinde 30 Mbps veya daha fazla hızda internet kullananların payı.

E6: 4G veya daha gelişmiş mobil ağ tarafından kapsanan nüfus payı.

E7: Geniş bant açısından kentsel ve kırsal haneler arasındaki eşitsizlik.

Erişim kriteri için karar matrisi Çizelge 1'de verilmiştir. Bu matris için U-SAW kullanıldığında, erişim kriteri için alternatiflerin öncelikleri Çizelge 8'deki gibi bulunmuştur. Bu çalışmanın genelinde alt kriterler bazında U-SAW uygulama adımları atlanmıştır.

Kullanım kriteri için alt kriterler şu şekilde sıralanabilir.

K1: Bireyler içinde internet kullanıcıların payı.

K2: Küçük işletmeler içinde e-ticaret satışı yapanların payı.

K3: İnternet kullanıcıları içinde çevrim içi satın alma yapanların payı.

K4: Kamu yetkilileriyle iletişim kurmak için internet kullanan bireylerin payı.

K5: Teknoloji açısından zengin ortamlarda problem çözme için yetkin yetişkinlerin payı.

K6: İşletmeler içinde bulut hizmetleri satın alanların payı.

K7: İşletmeler içinde WEB varlığına sahip olanların payı.

Kullanım kriteri için karar matrisi Çizelge 2'de verilmiştir. Bu matris için U-SAW kullanıldığında, kullanım kriteri için alternatiflerin öncelikleri Çizelge 8'deki gibi bulunmuştur.

İnovasyon kriteri için alt kriterler şu şekilde sıralanabilir.

İ1: Bilgi İşlem Teknolojileri (BİT) yatırımlarının Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYH) içindeki payı.

İ2: Bilgi endüstrisi işletmelerindeki Ar-Ge harcamalarının GSYH içindeki payı.

İ3: En çok atıf yapılan %10 doküman içinde bilgisayar bilimleriyle ilgili olanların payı.

İ4: Toplam patentler içinde BİT patentlerinin payı.

İ5: Yeni kurulan firmaların içinde bilgi endüstrisinde olanların payı.

İ6: BİT sektöründeki girişim sermayesi yatırımlarının GSYH içindeki payı.

İnovasyon kriteri için karar matrisi Çizelge 3'te verilmiştir. Bu matris için U-SAW kullanıldığında, inovasyon kriteri için alternatiflerin öncelikleri Çizelge 8'deki gibi bulunmuştur.

İşler kriteri için alt kriterler şu şekilde sıralanabilir.

J1: Tüm işler içinde BİT görevi yoğun olanların payı.

J2: Toplam istihdam içinde dijital yoğun sektörlerin payı.

J3: Aktif işgücü piyasası politikalarına yapılan kamu harcamalarının GSYH içindeki payı.

J4: Üniversite yeni mezunları içinde bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik mezunlarının payı.

J5: Toplam istihdam içinde hizmet içi eğitim alanların payı.

J6: Haftada bir veya daha sık zaman aralıklarıyla uzaktan çalışmayı sağlayan işyeri ekipmanı olarak dijital ekipmanları kullanan bireylerin payı.

İşler kriteri için karar matrisi Çizelge 4'te verilmiştir. Bu matris için U-SAW kullanıldığında, işler kriteri için alternatiflerin öncelikleri Çizelge 8'deki gibi bulunmuştur.

Toplum kriteri için alt kriterler şu şekilde sıralanabilir.

T1: 55-74 yaş arası bireyler içinde internet kullanıcılarının payı.

T2: Gelir olarak en düşük %20'lik dilimde olan bireyler içinde interneti kullanıcılarının payı.

T3: Fen, matematik ve okuma alanlarında en iyi performansı gösteren 15-16 yaş arası öğrencilerin payı.

T4: 16-24 yaş arasındaki kadınlar içinde programlama bilenlerin payı.

T5: Kadın ve erkek arasında internet kullanımında eşitsizlik.

T6: OECD Dijital Devlet Endeksi.

Toplum kriteri için karar matrisi Çizelge 5'te verilmiştir. Bu matris için U-SAW kullanıldığında, toplum kriteri

için alternatiflerin öncelikleri Çizelge 8'deki gibi bulunmuştur.

Güven kriteri için alt kriterler şu şekilde sıralanabilir.

G1: BİT güvenliği ile ilgili faaliyetleri, kendi çalışanlarınca yürütülen işletmelerin payı.

G2: Kişisel bilgileri suistimal edilen veya gizlilik ihlalleri yaşayan internet kullanıcılarının payı.

G3: Ödeme güvenliği endişeleri nedeniyle çevrim içi satın alma yapmayan internet kullanıcılarının payı.

G4: Ürünlerin iadesi ile ilgili endişeleri nedeniyle çevrim içi satın alma yapmayan internet kullanıcılarının payı.

G5: Sağlık verileri paylaşım yoğunluğu.

Güven kriteri için karar matrisi Çizelge 6'da verilmiştir. Bu matris için U-SAW kullanıldığında, güven kriteri için alternatiflerin öncelikleri Çizelge 8'deki gibi bulunmuştur.

Piyasaların açıklığı kriteri için alt kriterler şu şekilde sıralanabilir.

P1: Ticari hizmetler içinde dijital olarak teslim edilebilir olanların payı.

P2: E-ticaret yapan işletmeler içinde ülkeler arası satış yapanların payı.

P3: OECD Dijital Hizmet Ticareti Kısıtlılık Endeksi.

P4: OECD Doğrudan Yabancı Yatırım Kısıtlılık Endeksi.

P5: Uluslararası ticaret içinde BİT ürün ve hizmetlerinin payı.

Piyasaların açıklığı kriteri için karar matrisi Çizelge 7'de verilmiştir. Bu matris için U-SAW kullanıldığında, bu kriter için alternatiflerin öncelikleri Çizelge 8'deki gibi bulunmuştur.

Çizelge 8'deki bilgiler doğrultusunda, alternatiflerin kriterlere göre sıralamaları Çizelge 9'daki gibi bulunmuştur. Buna göre güven ve kullanım kriterleri için Finlandiya, inovasyon kriteri için Avusturya, işler ve piyasaların açıklığı kriterleri için Hollanda, erişim ve toplum kriterleri için Norveç ilk sıradadır. Çizelge 9'daki sıralamalar için Spearman'ın sıra korelasyon matrisi [22] hesaplanmıştır. Bu matrisin bazı elemanları negatiftir ve hiçbir elemanı 0,7'den büyük değildir. Buna göre dijital gelişimin farklı boyutları için ülkelerin başarı sıralamaları arasında yüksek düzeyde pozitif yönlü ilişki yoktur. Hatta bazı durumlarda bunlar arasındaki ilişki negatif yönlüdür [23]. Başka bir deyişle dijital gelişimin farklı boyutları için oldukça farklı sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 1. Erişim kriteri için veriler (The data for the access criterion)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Avusturya	60,120	56,071	57,799	93,187	73,895	98,000	88,078
Belçika	90,070	46,341	24,288	94,518	90,316	100,000	89,545
Almanya	92,936	45,136	31,426	91,697	92,288	99,830	88,707
Danimarka	93,029	69,457	15,249	96,128	100,000	100,000	88,816
Finlandiya	71,450	78,376	13,809	96,819	93,616	99,900	88,579
İrlanda	65,426	56,818	25,174	93,697	84,482	90,000	86,047
Hollanda	91,492	60,052	38,757	98,900	92,277	99,000	90,474
Norveç	94,819	50,394	32,432	99,050	89,028	99,900	90,938
Slovenya	66,821	47,287	2,206	93,758	85,914	99,990	88,142

Çizelge 2. Kullanım kriteri için veriler (The data for the use criterion)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Avusturya	93,899	38,048	75,506	63,245	73,478	53,583	94,720
Belçika	94,294	40,991	85,717	74,891	78,117	70,242	90,173
Almanya	91,909	32,750	88,684	34,643	81,399	55,180	93,044
Danimarka	98,155	52,636	97,477	97,197	87,508	85,982	96,573
Finlandiya	97,555	47,654	87,168	96,796	94,048	99,866	100,000
İrlanda	95,781	63,237	95,387	73,932	57,230	77,826	85,744
Hollanda	95,031	46,629	100,000	87,253	94,003	86,116	96,100
Norveç	100,000	44,161	99,805	96,842	92,736	84,924	86,876
Slovenya	89,183	36,735	75,355	66,718	57,389	56,631	86,714

Çizelge 3. İnovasyon kriteri için veriler (The data for the innovation criterion)

	İ1	İ2	İ3	İ4	İ5	İ6
Avusturya	46,951	15,733	51,521	26,139	45,700	1,841
Belçika	33,026	16,065	25,181	34,155	26,536	3,437
Almanya	16,110	13,817	48,244	29,601	53,317	5,801
Danimarka	36,018	12,159	32,954	21,321	62,654	4,485
Finlandiya	19,448	27,340	49,312	80,034	66,093	7,211
İrlanda	17,837	14,959	41,699	64,885	27,273	3,611
Hollanda	41,427	8,511	30,163	46,914	61,916	4,450
Norveç	25,662	14,186	40,035	27,437	49,631	1,724
Slovenya	25,662	6,301	29,843	11,611	55,528	0,082

Çizelge 4. İşler kriteri için veriler (The data for the jobs criterion)

	J1	J2	J3	J4	J5	J6
Avusturya	41,102	88,999	49,020	85,361	76,785	55,263
Belçika	53,422	94,323	41,176	49,085	73,968	63,158
Almanya	42,225	92,930	26,144	100,000	81,230	47,368
Danimarka	54,335	84,344	27,451	64,225	99,327	68,421
Finlandiya	56,300	85,102	39,216	77,999	100,000	84,211
İrlanda	59,916	84,679	81,046	73,722	83,917	63,158
Hollanda	71,358	100,000	77,778	52,575	98,926	86,842
Norveç	57,178	76,305	16,340	59,253	95,859	97,368
Slovenya	46,157	86,283	12,418	79,961	76,885	68,421

Çizelge 5. Toplum kriteri için veriler (The data for the society criterion)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Avusturya	83,311	90,092	49,158	62,194	95,775	60,877
Belçika	89,481	90,850	52,071	45,428	96,120	54,713
Almanya	85,348	82,511	49,144	51,787	95,022	53,637
Danimarka	96,043	94,220	42,892	82,569	96,895	87,792
Finlandiya	93,335	96,812	60,175	45,088	95,848	47,909
İrlanda	84,560	99,676	49,453	26,475	96,613	55,397
Hollanda	94,094	89,221	63,912	64,762	96,148	60,572
Norveç	100,000	100,000	46,387	63,674	97,007	74,067
Slovenya	73,342	86,491	43,870	40,019	95,675	69,073

Çizelge 6. Güven kriteri için veriler (The data for the trust criterion)

	G1	G2	G3	G4	G5
Avusturya	68,363	97,904	70,167	86,462	57,776
Belçika	61,515	97,780	85,193	97,640	80,000
Almanya	66,960	98,297	96,364	99,237	53,333
Danimarka	92,750	97,575	72,017	96,545	100,000
Finlandiya	100,000	99,147	80,408	91,624	100,000
İrlanda	77,449	99,400	93,710	98,182	0,000
Hollanda	73,978	97,664	63,009	96,294	62,000
Norveç	79,762	97,479	63,605	94,838	100,000
Slovenya	57,813	99,364	85,517	97,339	60,000

Çizelge 7. Piyasaların açıklığı kriteri için veriler (The data for the market openness criterion)

	P1	P2	P3	P4	P5
Avusturya	32,745	94,292	79,798	89,759	20,666
Belçika	35,955	84,784	83,768	96,386	17,570
Almanya	48,414	79,429	87,738	98,092	22,557
Danimarka	25,218	62,017	89,583	97,088	24,979
Finlandiya	60,245	46,865	87,670	98,494	38,585
İrlanda	85,648	61,696	85,613	96,084	100,000
Hollanda	58,712	76,720	89,583	98,896	29,563
Norveç	33,734	29,068	93,905	91,867	20,509
Slovenya	27,123	83,518	81,923	99,699	8,375

Çizelge 8. Dijital gelişim için karar matrisi (The decision matrix for the digital development)

	Erişim	Kullanım	İnovasyon	İşler	Toplum	Güven	Piy. Açık.
Avusturya	0,11019	0,11073	0,14026	0,11026	0,11067	0,11025	0,10704
Belçika	0,11172	0,10983	0,08696	0,10631	0,11114	0,11081	0,11090
Almanya	0,11065	0,10848	0,10764	0,11514	0,10981	0,11102	0,11396
Danimarka	0,11147	0,11508	0,11393	0,10675	0,11179	0,11085	0,11262
Finlandiya	0,11143	0,11548	0,13157	0,11580	0,11104	0,11240	0,10965
İrlanda	0,10770	0,10995	0,09788	0,10684	0,11163	0,11139	0,11082
Hollanda	0,11326	0,11213	0,12264	0,12034	0,11148	0,11037	0,11546
Norveç	0,11355	0,11406	0,10605	0,10785	0,11201	0,11069	0,10946
Slovenya	0,11001	0,10427	0,09308	0,11072	0,11042	0,11222	0,11010

Çizelge 9. Kriterlere göre sıralamalar (The ranks by criteria)

	Erişim	Kullanım	İnovasyon	İşler	Toplum	Güven	Piy. Açık.
Avusturya	7	5	1	5	7	9	9
Belçika	3	7	9	9	5	6	4
Almanya	6	8	5	3	9	4	2
Danimarka	4	2	4	8	2	5	3
Finlandiya	5	1	2	2	6	1	7
İrlanda	9	6	7	7	3	3	5
Hollanda	2	4	3	1	4	8	1
Norveç	1	3	6	6	1	7	8
Slovenya	8	9	8	4	8	2	6

Ülkelerin dijital gelişimlerinin genel bir sıralamasını elde etmek için U-SAW şu adımlarla uygulanmıştır.

Adım 1: Karar matrisi (A) Çizelge 8'deki gibi oluşturulmuştur.

Adım 2: Normalize edilmiş karar matrisi (B) Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır. Burada A matrisinin özellikleri nedeniyle $B=A$ olarak bulunmuştur.

Adım 3: Eşitlik 12'de verilen CVX koduyla Eşitlik 6b çözülerek alternatiflerin öncelik vektörü (w^*) Çizelge 10'daki gibi bulunmuştur.

Çizelge 10. Alternatiflerin öncelikleri (The priorities of the alternatives)

	Öncelik	Sıralama
Avusturya	0,11044	9
Belçika	0,11085	7
Almanya	0,11062	8
Danimarka	0,11137	2
Finlandiya	0,11176	1
İrlanda	0,11123	5
Hollanda	0,11131	3
Norveç	0,11128	4
Slovenya	0,11114	6

Kriterlerin objektif bir şekilde belirlenen ağırlık vektörü (λ), Çizelge 11'deki gibidir. Buna göre ağırlığı en yüksek olan kriter güvenken, kullanım kriterinin ağırlığı 0'dır. (Eşitlik 11'e göre kullanım kriteri, w^* vektörü ile verilen kaynak dağıtım planı için nispeten güçlü olunan kriterdir.)

Çizelge 11. Kriterlerin ağırlıkları (The weights of the criteria)

	Ağırlık
Erişim	0,0393
Kullanım	0
İnovasyon	0,0055
İşler	0,0035
Toplum	0,4317
Güven	0,4715
Piyaasaların Açıklığı	0,0485

Adım 4: Çalışma kapsamındaki ülkelerin dijital gelişim sıralaması; Finlandiya, Danimarka, Hollanda, Norveç, İrlanda, Slovenya, Belçika, Almanya ve Avusturya şeklindedir. Öte yandan söz konusu ülkelerin, U-SAW ile bulunan öncelikleri birbirlerine oldukça yakındır.

Bu çalışmada, dijital gelişimi en yüksek olan ülke Finlandiya olarak bulunmuştur. Çizelge 12'de görüldüğü

üzere literatürdeki diğer çalışmalarda da Finlandiya ilk sıralardadır. Ayrıca [12] numaralı kaynaktan kullanılan DEA sonucuna göre Finlandiya, etkinlik skoru 1 olan sekiz ülkeden biridir.

Çizelge 12. Sonuçların karşılaştırılması (The comparison of the results)

	Sıra 1	Sıra 2	Sıra 3
[3]	İsveç	Hollanda	Finlandiya
[4]	Finlandiya	Danimarka	Belçika
[5]	Hollanda	Finlandiya	Litvanya
[6]	Belçika	Finlandiya	İsveç
[7]	Finlandiya	Hollanda	Danimarka
[8]	Norveç	İsveç	Finlandiya
[9]	Danimarka	Finlandiya	Avusturya
[10]	Danimarka	Finlandiya	Belçika
Bu çalışma	Finlandiya	Danimarka	Hollanda

4. SONUÇ (CONCLUSION)

ÇKKV yöntemleri farklı problemlerinin çözümünde kullanılabilmektedir [24-27]. Bu alana duyulan ilgi arttıkça ÇKKV yöntemlerinin sayısı hızla artmaktadır. Öte yandan en eski ÇKKV yöntemlerinden biri olan basit toplamli ağırlıklandırma yöntemi (SAW) en çok kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biridir. Hatta AHP gibi ÇKKV yöntemleri belirli aşamalarında SAW'ı kullanmaktadır [16]. Bu nedenle SAW özel bir ilgiyi hak etmektedir. Bu çalışmada SAW, belirsiz kriter ağırlıkları için genelleştirilerek U-SAW önerilmiştir.

U-SAW, kriter ağırlıklandırma sorunsalını aşar ve kriter ağırlıkları bilindiğinde SAW ile özdeş sonuç verir. Bununla birlikte sürdürülebilirlik, dijital gelişim gibi objektif bakış açısına ihtiyaç duyulan analizlerde U-SAW daha uygun bir tercihtir. Öte yandan, U-SAW'ın kullanımı için konveks optimizasyon problemlerinin çözülebildiği paket programlar gereklidir. SAW ise MS Excel gibi programlarla kolayca uygulanabilir. SAW'a benzer şekilde U-SAW'ın da belirli sınırlılıkları vardır. Örneğin U-SAW, her bir alternatif için en kötü ya da en iyi performansa sahip olunan kriterleri ayrıca dikkate almaz [28, 29]. U-SAW'ın diğer bir sınırlılığı ise bu çalışmada olduğu gibi alt kriterlerin ve kriterlerin olduğu hiyerarşik bir problemde tüm alt kriterlerin verileri birlikte kullanılarak yapılacak analizin, alt kriter sayısı görece fazla olan kriterlerin ağırlıklarını olduğundan yüksek gösterebileceğinden uygun olmamasıdır. Bu nedenle AHP gibi U-SAW, hiyerarşik yapıları dikkate alarak ÇKKV problemlerini çözer.

Bu çalışmada önerilen U-SAW, belirsiz kriter ağırlıkları altında dokuz OECD ülkesinin dijital gelişimlerinin

değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Buna göre dijital gelişimi en yüksek olan ülke Finlandiya'dır. Diğer ülkelerin dijital gelişimleri ise Finlandiya'ya oldukça yakındır. Bu çalışmanın en önemli sınırlılığı, veri eksikliği nedeniyle bazı OECD ülkelerinin çalışmaya dahil edilememesidir. Diğer bir sınırlılık, bu çalışmada tek bir yöntemin kullanılmasıdır. İlerideki çalışmalarda farklı yöntemlerin kullanıldığı dijital gelişim değerlendirmeleri yapılabilir. Ayrıca U-SAW, farklı ÇKKV problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bununla birlikte AHP'nin son adımında U-SAW kullanılarak belirsiz kriter ağırlıkları için AHP genelleştirilebilir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmada kullandığı materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan eder.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Furkan GÖKTAŞ: Çalışmanın tamamına %100 katkı yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] OECD, "Going digital: Shaping policies, improving lives", *OECD Publishing*, Paris, (2019).
- [2] OECD, "OECD digital economy outlook 2020", *OECD Publishing*, Paris, (2020).
- [3] Marti L. and Puertas R., "Analysis of European competitiveness based on its innovative capacity and digitalization level", *Technology in Society*, 72: 102206, (2023).
- [4] Brodny J. and Tutak M., "Assessing the level of digitalization and robotization in the enterprises of the European Union member states", *Plos One*, 16(7): e0254993, (2021).
- [5] Balkan D. and Akyüz G.A., "Technological maturity of the OECD countries: A multi-criteria decision-making approach using PROMETHEE", *Cogent Engineering*, 10(1): 2219097, (2023).
- [6] Brodny J. and Tutak M., "Assessing the level of innovativeness and digitalization of enterprises in the European Union states", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(1): 100210, (2024).
- [7] Stankovic J.J., Marjanovic I., Drezgic S. and Popovic Z., "The digital competitiveness of European countries: A multiple-criteria approach", *Journal of Competitiveness*, 13(2): 117-134, (2021).
- [8] Pakhnenko O., Rubanov P., Hacı D., Yatsenko V. and Vida I., "Digitalization of financial services in European countries: Evaluation and comparative analysis", *Journal of International Studies*, 14(2): 267-282, (2021).
- [9] Małkowska A., Urbaniec M. and Kosała M., "The impact of digital transformation on European countries: Insights from a comparative analysis", *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 16(2): 325-355, (2021).
- [10] Brodny J. and Tutak M., "Analyzing the level of digitalization among the enterprises of the European Union member states and their impact on economic growth", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(2): 70, (2022).
- [11] Brodny J. and Tutak M., "The level of digitization of small, medium and large enterprises in the central and eastern European countries and its relationship with economic parameters", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(3): 113, (2022).
- [12] Keles E.U. and Alptekin G.I., "Evaluation of the digitalization efficiency of countries using data envelopment analysis", *In IEEE 2023 Smart City Symposium Prague (SCSP)*, 1-15, (2023).
- [13] Bouslah K., Liern V., Ouenniche J. and Pérez-Gladish B., "Ranking firms based on their financial and diversity performance using multiple-stage unweighted TOPSIS", *International Transactions in Operational Research*, 30(5): 2485-2505, (2023).
- [14] Liern V. and Pérez-Gladish B., "Multiple criteria ranking method based on functional proximity index: Unweighted TOPSIS", *Annals of Operations Research*, 311(2): 1099-1121, (2022).
- [15] López-García A., Liern V. and Pérez-Gladish B., "Determining the underlying role of corporate sustainability criteria in a ranking problem using UW-TOPSIS", *Annals of Operations Research*, 1-24, (2023).
- [16] Taherdoost H., "Analysis of simple additive weighting method (SAW) as a multiattribute decision-making technique: A step-by-step guide", *Journal of Management Science & Engineering Research*, 6(1): 21-24, (2023).
- [17] OECD, "Going digital toolkit", 15 Şubat 2024 tarihinde <https://goingdigital.oecd.org/> adresinden erişildi.
- [18] Vafaei N., Ribeiro R.A. and Camarinha-Matos L.M., "Assessing normalization techniques for simple additive weighting method", *Procedia Computer Science*, 199: 1229-1236, (2022).
- [19] Trefethen L.N. and Bau D., "Numerical linear algebra", *Siam*, Philadelphia, (1997).
- [20] Lutgens F. and Schotman P.C., "Robust portfolio optimisation with multiple experts", *Review of Finance*, 14(2): 343-383, (2010).
- [21] Grant M.C. and Boyd S.P., "Graph implementations for nonsmooth convex programs", In Recent advances in learning and control (pp. 95-110), *Springer*, London, (2008).
- [22] Li H., Cao Y. and Su L., "Pythagorean fuzzy multi-criteria decision-making approach based on Spearman rank correlation coefficient", *Soft Computing*, 26(6): 3001-3012, (2022).
- [23] Hair J.F., Money A.H., Samouel P. and Page M., "Research methods for business", *Education+Training*, 49(4): 336-337, (2007).

- [24] Özcan N.A., Bulut M., Özcan E.C. ve Eren T., “Enerji üretim yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin istatistiksel ve analitik olarak karşılaştırması: Türkiye örneği”, *Politeknik Dergisi*, 25(2): 519-531, (2022).
- [25] Yegen N. ve Gül S., “Çevik proje yönetiminde scrum takımlarının başarı sınıflandırmasına yönelik bir ÇKKV modeli: AHS bütünleşik TOPSIS-Sort-B”, *Politeknik Dergisi*, 27(2): 731-748, (2024).
- [26] Yıldırım R. ve Karadöl İ., “Çok kriterli karar verme metodu kullanılarak biyogaz üretiminde kullanılacak en iyi enerji bitkisinin belirlenmesi ve belirlenen bu enerji bitkisinin Türkiye ölçeğindeki enerji potansiyelinin hesaplanması”, *Politeknik Dergisi*, baskıda.
- [27] Usta N.K., Tekin M., Toraman Y. ve Merdivenci F., “Küresel risk yönetim indeksi değerlendirmesi: Gri tabanlı TOPSIS yöntemi uygulaması”, *Politeknik Dergisi*, baskıda.
- [28] Göktaş F. ve Güçlü F., “Yeni bir çok kriterli karar verme yaklaşımı “olabilirlik değerlendirme sistemi”: Katılım fonları üzerine bir uygulama”, *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 7(1): 1-8, (2024).
- [29] Göktaş F. ve Güçlü F., “Belirsiz kriter ağırlıkları altında yeni bir ÇKKV yöntemi: Yapay zekâ sohbet robotlarına (ChatGPT4, Copilot, Gemini) dayalı portföy seçimi üzerine bir uygulama”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(Özel sayı): 68-80, (2024).