



Türkiye'nin dijital dönüşüm endeksinin hesaplanması için alternatif bir yaklaşım: Bayesian BWM

An alternative approach for calculating Turkey's digital transformation index: Bayesian BWM

Ayşegül TUŞ¹ , Gülin Zeynep ÖZTAŞ¹ , Tayfun ÖZTAŞ¹ , Abdullah ÖZÇİL^{2*} , Esra AYTAÇ ADALI¹ 

¹İşletme Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.

atus@pau.edu.tr, gzeynepa@pau.edu.tr, toztas@pau.edu.tr, eaytac@pau.edu.tr

²İşletme Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Kahramanmaraş, Türkiye.
abdullahozcil@ksu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 21.12.2022
Kabul Tarihi/Accepted: 24.08.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 17.08.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.48310
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Endüstri 4.0'ın yol açtığı dijital dönüşüm süreci, ülkelerin yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir. Dijital dönüşüm, bilgi birikimi ile teknolojiyi entegre ederek verimliliği arttırmak yoluyla katma değere sahip ürünler ile sürdürülebilir bir kârlılığı hedeflemektedir. Dijital dönüşümün yarattığı fırsatların ve tehditlerin farkında olan ülkeler, rekabette avantaj elde ederek pazar paylarını arttırma imkânı bulabilmektedir. Bu nedenle ülkelerin, dijital dönüşümü benimseme ve uygulama düzeylerinin tespit edilebilmesi için çeşitli kuruluşlar tarafından analizler ve değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu çerçevede, Bilişim Sanayicileri Derneği (TÜBİSAD) tarafından hazırlanan ve ilki 2020 yılında yayımlanan Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksi, Türkiye'nin dijital dönüşüm performansının zaman içinde değişiminin gözlenmesine ve diğer ülkelerle karşılaştırma yapılmasına imkân sağlayan kullanışlı bir araçtır. Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksi, çeşitli göstergeleri (kriterleri) dikkate alarak, 4 ana bileşeni (ana kriteri) ve 10 alt bileşeni (alt kriteri) içeren bir endekstir. Bu endeks değeri hesaplanırken her bir kriterin öneminin eşit olduğu varsayılmaktadır. Ancak endeks değeri hesaplamada kullanılan ana ve alt kriterlerin önem derecelerinin gerçekte farklı olması nedeniyle kriter ağırlıklarının dikkate alınarak endeks hesaplamasının daha anlamlı olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, kriter ağırlıklarının hesaplanmasında dijital dönüşüm konusunda uzmanlaşmış kişilerin görüşleri dikkate alınarak Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Bayesian Best-Worst Method (BBWM) ile dijital dönüşüm endeks değeri yeniden hesaplanmıştır. Bu yöntem sayesinde bir uzman grubun bir kriteri diğerine tercih etme derecesi ölçülerek bütünselik ağırlıklar elde edilebilmektedir. Bu çalışma ile elde edilen bulgular, Türkiye'nin dijital dönüşüm performansını nasıl artırılacağına ilişkin ipuçları sunarken, bu bulguların TÜBİSAD'ın hazırladığı rapordaki sıralamayı ve yorumları etkileyeceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: ÇKKV, Dijital dönüşüm, Bayesian BWM.

Abstract

The digital transformation process caused by Industry 4.0 requires the restructuring of countries. Digital transformation integrates the knowledge and technology. It aims at sustainable profitability with products with added value by increasing efficiency. Countries that are aware of the opportunities and threats created by digital transformation can find the opportunity to increase their market share by gaining a competitive advantage. For this reason, analyses and evaluations are made by various organizations in order to determine the level of adoption and implementation of digital transformation by countries. In this framework, Turkey Digital Transformation Index was prepared by Informatics Industry Association (TÜBİSAD) and the first one was published in 2020. It is a useful tool that allows observing the change in Turkey's digital transformation performance over time and making comparisons with other countries. The Turkey Digital Transformation Index includes 4 main components (main criteria) and 10 sub-components (sub-criteria) taking into account various indicators (criteria). It is assumed that the importance of each criterion is equal when calculating this index value. However, it is thought that the main and sub-criteria used in the index value calculation are actually different in importance. Therefore, it will be more meaningful to calculate the index by considering the criteria weights. For this reason, they are calculated in this study with Bayesian Best-Worst Method (BBWM), which is one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, taking into account the opinions of experts in digital transformation. The digital transformation index value is recalculated with these criteria weights. Thanks to this method, aggregated weights are obtained by measuring the degree to which an expert group prefers one criterion to another. This study provides tips on how to increase Turkey's digital transformation performance. It is thought that the findings will affect the ranking and comments.

Keywords: MCDM, Digital transformation, Bayesian BWM.

1 Giriş

Dünya; müşteri beklentilerini yeniden tanımlayan, işletmelerin yeni beklentileri karşılmasını sağlayan, insanların yaşama ve çalışma şeklini değiştiren yeni teknolojiler tarafından dönüştürülmektedir. Bu dönüşüm hem akademide hem de endüstride yaygın olarak Dijital Dönüşüm (DD) olarak adlandırılmaktadır [1]. DD, bir kuruluşun değer yaratma

süreçlerini değiştirmek için mobil bilgi işlem, yapay zekâ, bulut bilişim ve nesnelerin interneti gibi dijital teknolojileri kullanarak çevresel değişikliklere yanıt verme sürecini ifade etmektedir [2]. DD, dijital teknolojiler kullanılarak geliştirilen yeni iş modelleri ve yeni stratejiler ile rekabet avantajı elde etmeyi ve kurumsal değer zincirinde verimlilik yaratacak faaliyetleri gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır [3],[4]. Dijital teknolojiler; üretimin yanı sıra, işlerin, iş yapma modellerinin ve insan kaynağının da dönüşmesine neden olduğu için, atık

*Yazışılan yazar/Corresponding author

üretimimin azaldığı ve verimin arttığı bir üretim süreci oluşturmaktadır. Bu durum, döngüsel ekonomiyi destekleyerek sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır [5].

DD, insan odaklı özelliklere sahip olup genellikle teknoloji ve işin entegrasyonunu ve yeniliğini içerir. DD, müşteri deneyimini geliştirirken, operasyonları basitleştirirken veya yeni iş modelleri yaratırken şirketlerin stratejik çevikliklerini geliştirmelerine yardımcı olabilir. Bu nedenle DD, rekabetçi ve öngörülemez dış ortamlar karşısında değişimin itici gücü olarak girişimcilerin dış baskıyı içselleştirmeleri için bir araç haline gelmiştir. 2019 DD Pazar Trendleri Raporu'na göre, ankete katılanların %78'i bir şirketin hayatta kalması için DD'nin zorunlu olduğunu düşünürken, %24'ü DD'yi en büyük önceliği olarak görmüştür. Bir teknoloji pazarı araştırma kuruluşu olan International Data Corporation, toplam bilgi ve iletişim teknolojisi yatırımları içindeki DD harcamalarının oranının 2023 yılına kadar %50'yi aşacağını öngörmüştür. Ayrıca, küresel DD pazarının 2023 yılına kadar 7.1 trilyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir [6]. Dünyada DD'nin toplam net ekonomik faydasının yaklaşık 30 trilyon dolar olduğu, DD'nin en temel teknolojilerinden olan nesnelere internetinin 2025 yılı itibarı ile yaratacağı ekonomik değerin ise yılda 4-11 trilyon dolar arasında olacağı tahmin edilmektedir [7]. Bununla birlikte DD'nin etkileri, her zaman olumlu değildir. Dijitalleşme, yeni işler yaratırken mevcut işgücünü yok eder veya değiştirir, profesyonel işgücü gerekliliğini artırır. Bu, birçok insanın işsiz kalmasına ve ücretlerde eşitsizliğe yol açar. Ayrıca, hükümetler ve işletmeler ne kadar çok dijital teknolojilere güvenirse, siber terörizm tehdidine karşı o kadar savunmasız hale gelirler [8].

Literatürde, DD'yi farklı açılardan ele alan pek çok araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmaların özetine, bir sonraki bölümde yer verilmiştir. Ayrıca, DD'ye ilişkin farklı kurumlar tarafından hesaplanan Dijital Dönüşüm Endeksleri (DDE) bulunmaktadır. Bu endeksler, müşterilerin dijital olgunluklarını ölçmelerine ve işletmelerin DD yolculuklarında göreceli olarak güçlü oldukları alanları ve gelişim fırsatlarını belirlemelerine yardımcı olur.

Başka bir deyişle bu endeksler, ülkelerin DD'den yararlanmaya hazır olma düzeyini belirler.

Ekonominin DD düzeyini değerlendirmenin ve ülkelerin DD'si hakkında bilgi toplamanın en basit ve etkili yolu, önde gelen derecelendirme kuruluşları tarafından geliştirilen uluslararası endeksleri kullanmaktır. Ülkemizde de DD'ye yönelik etkin politika ve stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamak amacıyla hazırlanan dijitalleşme endekslerine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. "Accenture Dijitalleşme Endeksi" [9], bunlardan en önemlisidir. Dünya Ekonomik Forumu, 2015 yılında Accenture ile iş birliği içinde, iş dünyasının ve toplumun dijitalleşmesindeki en son gelişmelerden kaynaklanan yeni fırsatlar ve temalar için odak noktası olarak hizmet etmek üzere DD girişimini başlatmıştır. 2015 yılında 104, 2016 yılında 106 şirketle yapılan görüşmeden elde edilen verilerle hesaplanan Accenture Dijitalleşme Endeksi, farklı sektörlerin dijitalleşme düzeyini hesaplamayı amaçlamıştır. Çalışma, 2015 ve 2016 yıllarından sonra tekrar yapılamadığından gelişim takip edilememiştir. Bir diğer çalışma, TÜSİAD ve Boston Danışma Grubu'nun (The Boston Consulting Group) 2017 yılında yaptığı "Türkiye'nin Sanayide Dönüşüm Yetkinliği" [10] araştırma raporudur. "Türkiye'de Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A)" [7], Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 platformu tarafından geliştirilen ve İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından finanse edilen, küçük ve orta ölçekli işletmelerin DD için olgunluk düzeyini belirlemeyi amaçlayan, bir değerlendirme endeksidir. TÜBİSAD tarafından hazırlanan "Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksi" [11], DD'nin mevzuat, altyapı, kullanım, beceri, ekonomi ve sosyal alanlardaki etkilerini kapsayan bir endeks olması açısından önemli bir girişimdir. 64 gösterge, 4 ana bileşen ve 10 alt boyut içeren bu bileşik endeks için endeks değerleri hesaplanırken 139 ülkenin verileri kullanılmaktadır. Dolayısıyla Türkiye ve diğer ülkelerin küresel dijitalleşmedeki konumu, endeks değerlerini etkilemektedir. Ayrıca Türkiye DDE, uluslararası karşılaştırılabilir verilerin yanı sıra Türkiye'nin DD konusunda yöneticilerin görüşlerini de içermektedir. Bahsedilen bu endeksler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Ulusal ve uluslararası dijital dönüşüm endeksleri.

Table 1. National and international digital transformation indexes.

Endeks	Kaynak (Hazırlayan Kuruluşlar)	Kriterler
Dijital Hazırlık Puanı (DRS)	Cisco Kurumsal İlişkiler	Temel ihtiyaçlar, insan sermayesi, iş yapma kolaylığı, iş ve devlet yatırımı, başlangıç ortamı, teknoloji altyapısı, teknoloji benimseme
Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI)	Avrupa Komisyonu	Bağlantı, insan sermayesi/dijital beceriler, internet kullanımı, dijital teknolojinin entegrasyonu, dijital kamu hizmetleri, Ar&Ge, BIT (Bilgi İletişim Teknolojileri)
Finansal Geliştirme Endeksi (FDI)	Uluslararası Para Fonu	Finansal kurumlar ve piyasalar, derinlik, erişim, verimlilik endeksi
Global İnovasyon Endeksi (GII)	Cornell Üniversitesi, INSEAD, Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü	Politik ortam, eğitim, altyapı ve iş karmaşıklığı
Dijital Rekabet Edebilirlik Endeksi (DCI)	Dünya Rekabetçilik Merkezi	Bilgi, teknoloji ve geleceğe hazır olma
Dijital Evrim Endeksi (DEI)	Tufts Üniversitesi	Arz ve talep koşulları, kurumsal çevre, yenilik ve değişim
BIT (Bilgi ve İletişim Teknolojileri) Geliştirme Endeksi (ICTDI)	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği	BIT hazırlığı, BIT yoğunluğu ve BIT etkisi
Dijital Benimseme Endeksi (DAI)	Dünya Bankası ve Microsoft Corporation	Ekonominin üç boyutunda (insanlar, hükümet ve iş) ülkelerin dijital kabulünü ölçen bir endeks
Etkin Dijitalleşme Endeksi (EDI)	Euler Hermes (2018)	Kurumsal, lojistik ve teknik yönler
Dijitalleşme Endeksi (DiGiX)	BBVA araştırması	Tedarik koşulları (altyapı ve maliyetler), talep koşulları (teknik toplum ve hükümet kabulü) ve kurumsal ortam (düzenlemeler ve lojistik)
Accenture Dijitalleşme Endeksi	Accenture, Vodafone, Boğaziçi Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Türkiye Bilişim Vakfı	Dijital strateji, dijital hizmetler, dijital operasyonel yetkinlikler
Türkiye'nin Sanayide Dönüşüm Yetkinliği	TÜSİAD ve Boston Danışma Grubu	Strateji ve yol haritası, yönetim, altyapı, veri güvenliği
Türkiye'de Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A)	Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 platformu	Organizasyonel yapı, müşteri yönetimi, ürün geliştirme, tedarik zinciri yönetimi, üretim yönetimi
Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksi	TÜBİSAD	Dijital ekosistem, yeterlilik, kullanım, dönüşüm

Kaynak: [8],[15].

Bu çalışmada, Türkiye'nin DDE değeri için alternatif bir hesaplama önerilmektedir. DDE'nin hesaplanması aşamasında endeksi oluşturan ana ve alt kriterlerin tamamının eşit ağırlığa (önem derecesine) sahip olduğu varsayılmaktadır. Oysaki karar vericilerin ana/alt kriterlere atadıkları ağırlıklar, birbirinden farklı olabilmektedir. Bu durumdan yola çıkarak bu çalışmada önerilen DDE hesaplaması, ÇKKV yöntemlerinden biri olan BBWM'ye dayanmaktadır. Başka bir deyişle, DDE'yi oluşturan kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında BBWM'nin kullanılması önerilmektedir. BWM, Rezaei [12] tarafından önerilmiş olup, Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process, AHP) yöntemi gibi ikili karşılaştırmaları temel almaktadır. AHP'den en büyük farkı, kriterler arasında daha az sayıda ikili karşılaştırma gerektirmesidir. Diğer yandan, Mohammadi ve Rezaei [13] tarafından önerilen BBWM ise BWM'ye olasılıksal bakış açısı ile yaklaşmaktadır [14]. BBWM, grup karar verme problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılmaktadır [13]. Bu çalışmada ise BBWM ile DDE'yi oluşturan 4 ana ve 10 alt kriter için tüm karar vericilerin görüşlerini yansıtan grup ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan ağırlık değerleri ve TÜBİSAD Dijitalleşme Endeksi'nin raporunda yer alan kriterlere ait Türkiye'nin notları kullanılarak Türkiye'nin BBWM yöntemine dayanan DDE'sinin hesaplanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın literatüre katkılarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

- ✓ Taranan literatür, BBWM'nin DD alanında henüz yer bulmadığına işaret etmektedir. Bu anlamda bu çalışma, BBWM'nin DD alanında kullanılması bakımından özgündür.
- ✓ Öncelikle BBWM, BWM'nin uzantısı olduğu için BWM'nin sunduğu tüm avantajları kullanmaktadır. Buna ek olarak, grup karar verme yöntemlerinde karar vericilerin değerlendirmelerinin birleştirilmesinde değerlendirmelerin istatistiksel dağılımları kullanıldığı için elde edilen kriter ağırlıklarında veri kaybı olmamakta ve gerçeği, daha tutarlı bir şekilde yansıtmaktadır.
- ✓ BBWM, grup karar verme problemlerinin çözümüne uygun bir yöntemdir. Bu anlamda elde edilen kriter ağırlıkları, konusunda uzman çok sayıda kişinin görüşünü yansıtmaktadır. Bu durumun da Türkiye'nin DD sürecindeki konumunu gerçeğe yakın bir şekilde belirlemede önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir.
- ✓ Karar vericiler, karar sürecine kriter ağırlıklarının belirlenmesi konusunda katıldıklarında Türkiye'nin DDE değerinin değişimi gözlenmiştir. Başka bir deyişle, kriter ağırlıkları değiştiğinde, endeks değerinde de değişimlerin olacağı düşünülmektedir. Kriter ağırlıklarını dikkate alan DDE değeri hesaplaması ile alternatif bir hesaplama önerilmektedir. Önerilen bu hesaplamanın, DDE değeri hesaplayan kurumlar, işletmeler veya ülkeler tarafından dikkate alınması beklenmektedir.

Çalışmanın devamı, şu şekilde yapılandırılmıştır. Literatür taraması bölümünde, DD'ye ilişkin genel çalışmalara yer verilmiş ve DD konusundaki karar problemlerine ÇKKV yöntemleri ile çözüm sunan çalışmalar incelenmiştir. Aynı bölümde, BBWM'yi farklı alanlarda uygulayan çalışmaların bir

özeti de verilmiştir. Metodoloji bölümünde, uygulamada kullanılan BBWM yöntemi açıklanmıştır. Uygulama bölümünde ise TÜBİSAD'ın "Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksi"ni hesaplamada kullandığı ana ve alt bileşenlerin ağırlıkları, metodoloji bölümünde anlatılan BBWM yöntemi ile tespit edilerek alternatif bir endeks değeri hesaplanmıştır. Sonuç ve öneriler bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

2 Literatür taraması

Günümüzde DD'yi farklı açılardan ve farklı yöntemler ile ele alan literatürdeki çalışmaların sayısı, her geçen gün artmaktadır. DD alanını ÇKKV yöntemi kullanarak analiz eden bu çalışmada, ilgili literatür üç farklı şekilde sunulmuştur. İlk olarak DD konusunu ele alan çalışmaların özetine yer verilmiştir. İkinci olarak, çalışmanın kapsamı doğrultusunda DD konusunda ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Son olarak ise bu çalışmanın ana yöntemi olan BBWM'yi kullanan çalışmalara yer verilmiştir.

Henriette ve diğ. [16], DD araştırmalarını geniş bir perspektiften sistematik olarak inceleyen ilk kişilerdir. Gebayew ve diğ. [17] ve Reis ve diğ. [18], DD üzerine yapmış oldukları sistematik literatür incelemesi ile kuruluşların ve yöneticilerin hedeflerine ulaşmak için iş planlarını, stratejilerini veya politikalarını, yeni bir dijital iş modeline göre uyarlamaları gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Luz Martín-Peña ve diğ. [19], imalatın dijitalleşmesi ve hizmete açılması ile ilgili dijital iş modelleri üzerine bir inceleme yapmıştır. Büyüközkan ve Göçer [20], dijital tedarik zincirinin (DSC) gelişim durumunu gözden geçirmiş ve yeni bir DSC kavramsal modeli ve gelecekteki uygulamalar için bir yol haritası önermiştir. Mukhopadhyay ve Bouwman [21], dijital platform yönetişiminin temel faktörlerini ve stratejilerini ekosistemler açısından analiz etmiştir. Cortellazzo ve diğ. [22], DD bağlamında liderlik üzerine araştırmaları gözden geçirmiştir. Tiutiunyk ve diğ. [8], rekabet avantajlarının elde edilmesinde ve sürdürülebilir kalkınmada DD'nin rolünü belirlemek için 2001-2020 dönemi için AB ülkelerinin DD ve makroekonomik istikrar göstergelerini karşılaştırmıştır. Dobrolyubova [23], devletin dijitalleşmesini ölçmek için teorik ve pratik yaklaşımların kapsamlı bir incelemesini sunmuş ve DD'nin, kamu yönetiminin etkinliğini ve verimliliğini artırmak için bir araç olması gerektiğini savunmuştur. Aly [15], DD'nin farklı endekslerini analiz etmiş ve ardından Dijital Evrim Endeksini (DEI) kullanarak bir grup geliştirmekte olan ülkede DD ile ekonomik kalkınma, işgücü verimliliği ve istihdam arasındaki ilişkiyi uygulanabilir genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi ile incelemiştir. Nagano [24], Japonya'da sürdürülebilir dijital toplumu ölçmeye yönelik entegre bir endeks oluşturmayı amaçlamıştır. Yapılan metin madenciliği analizi; sürdürülebilir dijital endeks kavramlarındaki ana endekslerin organizasyon yönetimi, teknoloji yönetimi, çevre ekonomisi ve DD'den oluştuğunu göstermiştir. Strutynska ve diğ. [25], Ukrayna'nın Ternopil bölgesindeki işletmelerin DDE'sinin hesaplanmasında dijital okur yazarlık, dijital enstrüman ve teknoloji göstergelerini kapsayan metodolojik bir yaklaşım geliştirmiştir.

Diğer yandan, DD konusunda ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmaların sayısı da son zamanlarda artmaktadır. Tablo 2'de bu çalışmaların bir özetine yer verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde çalışmaların; şirket, sektör veya ülke bazında yapıldığı gözlemlenmektedir.

Tablo 2. DD konusunda ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmaların bir özeti.
Table 2. A summary of studies that perform MCDM methods in digital transformation areas.

Yazar(lar)	Yöntem(ler)	Uygulama Alanı
Kökümer [26]	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACHBETH) ve Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	Beyaz eşya sektöründe Endüstri 4.0 DD yetkinlik analizi
Ataman [27]	Tereddütlü (hesitant) bulanık AHP	Savunma sanayinde Endüstri 4.0 seviyesinin belirlenmesi
Şahin [28]	Complex Proportional Assessment (COPRAS)	G-20 ülkelerinin Endüstri 4.0 ve DD seviyelerinin belirlenmesi
Güler ve Büyüközkan [4]	Bulanık AHP ve aksiyomatik Tasarım	Bankacılık sektöründe DD stratejilerinin analizi
Yılmaz Yalçiner ve Çaylak [29]	AHP ve TOPSIS	Türkiye'de Endüstri 4.0 dönüşümü için sektörlerin (Otomotiv, beyaz eşya, makine sistemleri, tekstil, gıda ve tarım, kimyasallar) bir analizi
Saçak ve diğ.[30]	TOPSIS	Türkiye'nin DD yol haritasında yer alan stratejilerin sıralanması
Li ve diğ.[31]	Aralık değerli tereddütlü bulanık entropi	Çin'deki sektörlerin DD durumunu belirlemek için bir izleme endeks sisteminin önerilmesi
Llopis-Albert ve diğ.[32]	Bulanık küme nitel karşılaştırmalı analiz	İspanya'daki otomotiv endüstrisinde DD'nin etkisinin ölçümü
Koca [33]	Additive Ratio ASsessment (ARAS)	AB ülkelerinin DD performanslarının değerlendirilmesi
Bil ve Mutlu Yıldırım [34]	Multi-Objective Optimization Method by Ratio Analysis (MOORA)	Bankacılık sektöründe DD etkinliğinin ölçülmesi
Karasan ve diğ.[35]	Pisagor bulanık AHP ve Pisagor bulanık TOPSIS	Yalın tedarik zinciri altında Endüstri 4.0 dönüşümü için sektörlerin önceliklendirilmesi
Brodny ve Tutak [36]	Entropi, TOPSIS, MOORA ve Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)	Orta ve Doğu Avrupa ülkelerindeki işletmelerin dijital hazırlık düzeyini değerlendirmek
Büyüközkan ve diğ.[37]	Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats (SWOT) tabanlı bulanık AHP- Measurement of Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution (MARCOS)	Hava taşımacılığı için farklı DD stratejilerinin değerlendirilmesi
Małkowska ve diğ.[38]	Kümeleme analizi ve TOPSIS	DD'nin AB ülkeleri üzerindeki etkisinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi
Aygün ve Satı [39]	AHP	Türkiye'de Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerin (KOBİ) Endüstri 4.0 dönüşüm çalışmalarında öne çıkan engellerin önceliklendirilmesi
Limoncuoğlu Eren [40]	Bulanık Delphi, tereddütlü bulanık Step wise weight assessment ratio analysis (SWARA) ve bulanık Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)	Proje yönetiminde DD süreçlerine ilişkin başarı kriterlerinin önceliklendirilmesi ve proje alternatiflerinin sıralanması
Eşiyok ve Demircioğlu [41]	CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) ve Combinative Distance-based Assessment (CODAS)	OECD ülkelerinin Endüstri 4.0 ve dijitalleşme performanslarının değerlendirilmesi
Abdallah ve diğ.[42]	BWM	Mısır ekonomisinde imalat sektöründe DD'yi uygulama aşamalarının sıralanması
Alkan ve Kahraman [43]	Aralık değerli fermatean bulanık AHP	Tedarik zincirinde DD için stratejilerin değerlendirilmesi

Ülke bazlı yapılan çalışmalar, mevcut çalışma ile benzeşmesi nedeniyle detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmalar, ülkelerin DD durumunu veya endekslerini farklı kriterler altında değerlendirmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan kriterler detaylı incelendiğinde Şahin [28], G-20 ülkelerinin Endüstri 4.0 ve DD seviyelerinin belirlenmesinde açık pazar endeksi, bilgi ve iletişim teknolojileri gelişmişlik endeksi, dünya ekonomik özgürlükler endeksi, e-devlet kalkınma endeksi, KOF (Konjunkturforschungsstelle) küreselleşme endeksi, küresel rekabet endeksi, şebekeleşmiş hazır bulunuşluk endeksi, ortaları teknoloji üretimin toplam üretim içerisindeki payı, küresel inovasyon endeksi, küresel girişimcilik monitörü, internet penetrasyon bağlanma oranı, toplam çalışan içerisinde tarım sektöründe çalışan sayısı oranı, 15-64 yaş aralığının toplam nüfusun içerisindeki payı ve toplam ihracat içerisinde yüksek teknoloji ihracatı oranı kriterlerini kullanmıştır. Yılmaz Yalçın ve Çaylak [29], Türkiye'de Endüstri 4.0 dönüşümü; sektörün katma değerdeki payı, istihdamdaki payı, toplam faktör verimliliğindeki artış oranı, ihracatın ithalata oranı, ihracatın ithalatı karşılama oranı kriterlerini dikkate almıştır. Saçak ve diğ. [30], Türkiye'nin DD yol haritasındaki stratejiler için nitelikli işgücü, dijital donanımlı eğitimciler, teknoloji, altyapı, tedarikçiler, kullanıcılar ve yönetim kriterlerini dikkate almıştır. Koca [33], AB ülkelerinin DD performanslarını değerlendirmek için dijital altyapı, yatırımlara ve finansmana erişim, dijital becerilerin arz ve talebi, e-liderlik, girişimcilik kültürü, bilgi ve iletişim teknolojileri girişimleri ve DD olmak üzere 7 kriter kullanmıştır. Małkowska ve diğ.[38], DD'nin AB ülkeleri üzerindeki etkisini değerlendirme sürecinde toplumun dijitalleşmesi (Toplum 4.0), ekonomilerin teknolojik gelişmenin zorluklarıyla yüzleşme yeteneği (Ekonomi 4.0) ve şirketlerde Bilgi İletişim Teknolojileri (BIT) kullanımı (Şirketler 4.0) olmak üzere 3 ana kriteri dikkate almıştır. Eşiyok ve Demircioğlu [41], Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) ülkelerinin Endüstri 4.0 ve dijitalleşme performanslarını patent başvuruları, Ar-Ge'ye yapılan gayri safi yurtiçi harcamalar, toplam araştırmacı sayısı, sabit geniş bant abonelikleri, güvenli internet sunucuları, bilgisayar, iletişim ve diğer hizmetler, imalat endüstrisinde robot yoğunluğu, küresel rekabet endeksi, kişi başına Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), iş yapma kolaylığı, küresel inovasyon endeksi, hükümet yapay zekâ hazırlık endeksi, ağ hazırlığı endeksi, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) Business To Consumer (B2C) E-Ticaret endeksi kriterleri ile değerlendirmiştir. Yapılan literatür taraması,

çalışmalarda mevcut indekslerde veya raporlarda yer alan kriterlerin (Saçak ve diğ.[30], Koca [33], Małkowska ve diğ. [38]) ya da araştırmacının belirlediği kriterlerin (Şahin [28], Yılmaz Yalçın ve Çaylak [29], Eşiyok ve Demircioğlu [41]) dikkate alındığını göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan BBWM, ilk olarak Mohammadi ve Rezaei [13] tarafından tanıtılmış ve bir uygulama ile yöntemin adımları verilmiştir. Yöntemin literatürde tanınmasının ardından, özellikle son zamanlarda BBWM'ye ilişkin çalışmalar artmıştır. Tablo 3'te bu çalışmaların bir özeti verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde görece olarak yeni sayılabilecek BBWM'nin de DD alanında henüz yer bulmamış olduğu görülmektedir.

Taranan literatür, DD'nin taşıdığı önem sebebiyle son zamanlarda sıkça çalışıldığını göstermektedir. Literatürde ülke bazlı yapılan çalışmalar ile bu çalışmada kullanılan DD endeksindeki kriterlerin benzeştiği görülmekle birlikte Türkiye'nin DDE'sinin hesaplamasına ilişkin TÜBİSAD'ın hazırladığı rapordaki kriterleri dikkate alarak ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Literatürdeki ülke bazlı çalışmalara kriterlerin ağırlıklandırılması açısından bakıldığında bazı çalışmalarda değerlendirilen kriterlere eşit ağırlık verilirken (Koca [33]), bazı çalışmalarda kriter ağırlıkları, ÇKKV yöntemleri (Şahin [28], Yılmaz Yalçın ve Çaylak [29], Saçak ve diğ.[30], Eşiyok ve Demircioğlu [41]) ile hesaplanmıştır. Bu anlamda bu çalışma, farklı alanlarda etkin çözümler sunan BBWM'nin DD konusunda çalışılması bakımından özgündür.

3 Metodoloji: Bayesian BWM

BWM, temeli AHP yöntemine dayanan subjektif karar verme yöntemlerinden biridir. Yöntem, Rezaei [12] tarafından geliştirilmiştir. Geliştirildiği günden beri, bir yandan farklı uzantıları önerilmekte bir yandan ise literatürde başarılı uygulamaları yapılmaktadır. BWM, ihtiyaç duyulan ikili karşılaştırma sayısının AHP yöntemine göre az olması nedeniyle bir avantaja sahiptir. Diğer yandan BBWM, BWM'nin uzantısıdır ve BWM ile aynı verileri-ikili karşılaştırmalar-kullanmakta olup Mohammadi ve Rezaei [13] tarafından önerilmiştir. Yöntemde istatistiksel bakış açısı ile kriterler, rassal olaylar; kriter ağırlıkları ise bu rassal olayların gerçekleşme olasılıkları olarak görülmektedir. Bu nedenle yöntemin verileri, olasılık dağılımları ile modellenmektedir [14].

Tablo 3. BBWM'ye ilişkin çalışmaların bir özeti.

Table 3. A summary of studies that perform BBWM.

Yazar(lar)	Yöntem(ler)	Uygulama Alanı
Mohammadi ve Rezaei [44]	BBWM	Semantik web teknolojilerinde ontoloji uyumunun değerlendirilmesi
Ma ve diğ. [14]	BBWM ve TOPSIS	Elektrokimyasal enerji depolama alanının seçimi
Li ve diğ. [45]	BBWM	Çin paket servis platformlarının değerlendirilmesi
Yang ve diğ. [46]	BBWM ve VIKOR	Tayvan'daki spor turizmindeki alternatif bölgelerin değerlendirilmesi
Guo ve diğ. [47]	BBWM	Risk değerlendirme modeli önerisi ve modelin elektrik perakendecisi şirketler üzerinde bir değerlendirilmesi
Huang ve diğ. [48]	BBWM ve PROMETHEE	Havaalanı esnekliklerinin değerlendirilmesi
Ak ve diğ. [49]	BBWM ve VIKOR	Mesleki risk değerlendirilmesi
Yang ve diğ. [50]	BBWM ve gri PROMETHEE	Sağlık turizminin değerlendirilmesi
Gul ve Yucesan [51]	BBWM ve TOPSIS	Türkiye'deki üniversitelerin değerlendirilmesi
Saner ve diğ. [52]	BBWM, VIKOR ve TOPSIS	Hastanelerin afete hazırlık sistemlerinin değerlendirilmesi

BBWM'yi diğer BWM uzantılarından avantajlı hale getiren en önemli özelliği, farklı karar vericilerin ikili karşılaştırmalarını ortalama (aritmetik, geometrik, vb.) işlemcilerinden farklı bir şekilde başka bir deyişle olasılık dağılımları ile birleştirerek kriter ağırlıklarının hesaplayabilmesidir [14]. Yöntem, görece olarak yeni bir yöntem olmasına rağmen literatürde farklı alanlarda başarılı uygulamalarını gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar, literatür taraması bölümünde özetlenmiştir. BBWM'nin uygulama adımları şu şekildedir [13], [14],[52]:

Adım 1: Öncelikle ele alınan karar probleminin ana ve alt kriterleri belirlenir; $C_j = 1,2,3, \dots, n$. Diğer yandan, karar probleminin çözümünde yer alacak karar vericiler (KV) belirlenir;

$$KV^k = 1,2,3, \dots, K.$$

Adım 2: Her KV, kriterler arasından bilgisine ve deneyimine göre önem derecesinin en yüksek ve en düşük olduğunu düşündüğü kriterleri belirler. Bu kriterler, sırasıyla en iyi ($Best, C_B$) ve en kötü ($Worst, C_W$) kriterler olarak adlandırılır.

Her KV, en iyi kriteri diğer kriterlere göre Saaty [53] tarafından önerilen ve Tablo 4'te verilen ölçekten yararlanarak değerlendirir ve A_B ile gösterilen vektör (best-to-others) Eşitlik (1)'de belirtildiği gibi elde edilir:

$$A_B^k = \{a_{B1}^k, a_{B2}^k, \dots, a_{Bn}^k\} \quad (1)$$

Tablo 4. Saaty'nin ölçeği.

Table 4. Saaty's scale.

Ölçek	Açıklama
1	Eşit derecede önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ortalama değerler

Kaynak: [53].

Benzer şekilde her KV, diğer kriterler ile en kötü kriteri Tablo 4'te verilen ölçeğe göre değerlendirir ve A_W ile gösterilen vektör (others-to-worst) Eşitlik (2)'de belirtildiği gibi elde edilir:

$$A_W^k = \{a_{1W}^k, a_{2W}^k, \dots, a_{nW}^k\}^T \quad (2)$$

Bu vektörlerde a_{Bj} , en iyi kriterin j . kriterine olan üstünlüğünü (tercihi) gösterirken; a_{jW} ise j . kriterin en kötü kriterine olan üstünlüğünü göstermektedir. Ayrıca, $a_{BB} = 1$ ve $a_{WW} = 1$ olmalıdır.

Adım 3: Bu adımda, klasik BWM'den farklı olarak farklı karar vericilerden elde edilen A_B^k ve A_W^k vektörleri istatistiksel bakış açısı ile işlenerek A_B ve A_W vektörleri elde edilir. Bu bakış açısına göre her bir kriter rassal bir olayı, bu kriterlerin ağırlıkları ise ortaya çıkma olasılıklarını ifade eder. Kriter ağırlıklarının (w_j) sıfırdan farklı ve problemdeki kriter ağırlıklarının toplamının 1'e eşit olması olasılık teorisi açısından doğrudur. Bu durum karar verme açısından da olasılıksal modellemenin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu anlamda hem girdilerin (A_B ve A_W) hem de çıktılarının (optimal bütünleştirilmiş nihai ağırlıklar) dağılımlarının modellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle hem en iyi hem de en kötü kriter

için çok terimli dağılım (multinomial distribution) kullanılır. En kötü kriterine (A_W) ilişkin olasılık kütle fonksiyonu (probability mass function) Eşitlik (3)'te verildiği şekildedir:

$$P(A_W|w) = \frac{(\sum_{j=1}^n a_{jW})!}{\prod_{j=1}^n a_{jW}!} \prod_{j=1}^n w_j^{a_{jW}} \quad (3)$$

Burada w , olasılık dağılımını gösterirken, A_W ise her bir olayın gerçekleşme sayısını içermektedir. Çok terimli dağılımına dayanarak j olayının olasılığı, olayın gerçekleşme sayısının toplam deneme sayısına oranı (α) olup Eşitlik (4)'te gösterildiği gibi ifade edilebilir:

$$w_j \propto \frac{a_{jW}}{\sum_{i=1}^n a_{iW}}, \forall j = 1, \dots, n \quad (4)$$

Benzer şekilde, w_W de $a_{WW} = 1$ olduğu için $1/\sum_{i=1}^n a_{iW}$ olarak elde edilir. BWM yönteminde optimal kriter ağırlıklarının hesaplandığı adımda aranan ilişki Eşitlik (4) dikkate alınarak Eşitlik (5)'te verildiği gibi yazılabilir:

$$\frac{w_j}{w_W} \propto a_{jW}, \forall j = 1, \dots, n \quad (5)$$

A_B , benzer şekilde çok terimli dağılım kullanılarak modellenmelidir. Ancak A_B 'nin modellenmesi, en iyi ve en kötü kriterlerin ikili karşılaştırması için işlem sıraları ters olduğu için A_W 'nin modellenmesinden farklı olup Eşitlik (6)'daki gibi gösterilir:

$$A_B \sim \text{çok terimli} \left(\frac{1}{w} \right) \quad (6)$$

Burada w olasılık dağılımıdır ve / eleman bazında bölme işlemini ifade eder. Eşitlik (6) kullanılarak ise benzer şekilde Eşitlik (7)'deki ifade yazılabilir:

$$\frac{w_B}{w_j} \propto a_{Bj}, \forall j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Şimdiye kadar yapılan işlemler, BWM'nin girdilerinin çok terimli olasılık dağılımı ile modellenmesidir. Böylelikle bir ÇKKV problemindeki kriter ağırlıklarının bulunması bir olasılık dağılımının tahmini ile yapılabilmektedir. Kriter ağırlıklarının negatif olmama ve toplamalarının 1 olması özelliklerini sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle ağırlıkların modellenmesi için en uygun dağılım Dirichlet (Dir) dağılımıdır.

İstatistiksel çıkarım teknikleri kullanılarak optimal bütünleştirilmiş ağırlık vektörü ($w^* = w_1^*, \dots, w_n^*$) ve her bir KV'nin ağırlığı ($w^k, k = 1, \dots, K$) aşağıda verilen olasılıksal modele dayanarak elde edilir.

$$\begin{aligned} (w^k) &\sim \text{çok terimli} \left(\frac{1}{w} \right), & \forall k = 1, \dots, K \\ (w^k) &\sim \text{çok terimli}(w^k), & \forall k = 1, \dots, K \\ (w^*) &\sim Dir(\gamma x w^*), & k = 1, \dots, K \\ & \gamma \sim \text{gamma}(0.1, 0.1) \\ & w^* \sim Dir(1) \end{aligned} \quad (8)$$

Bu modeli çözmek ve optimal kriter ağırlıklarını bulmak için Monte Carlo yöntemlerinden biri olan Just Another Gibbs Sampler (JAGS) kullanılır. W 'nin olasılık dağılımı karar vericilerin değerlendirmelerine dayanan kriter ağırlıklarıdır.

Son olarak, Mohammadi ve Rezaei [13] tarafından önerilen ve "credal ranking" olarak adlandırılan, bir kriterin diğer bir kriterine göre üstün olma derecesini belirleyen ve bu ilişkilerin

güvenirliğini Dirichlet dağılımına bağlı olarak ölçen metrik ile BBWM yöntemi tamamlanmaktadır. Kriterlerin birbirlerine olan üstünlüklerine ilişkin güvenilirlik değerleri ayrıca görsel olarak da sunulmaktadır.

4 Uygulama

Çalışmanın bu bölümünde Türkiye'nin DDE değeri için alternatif bir hesaplamanın oluşturulması önerilmektedir. Bu hesaplama, TÜBİSAD'ın Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksi'ne [11] dayanmaktadır. TÜBİSAD'ın hazırladığı DDE; 4 ana kriter, 10 alt kriter ve alt kriterlerin de alt kriterlere ayrılması ile toplam 64 farklı kriteri içeren bir endekstir. Genel itibariyle endeks değeri şöyle hesaplanmaktadır; en alt kriterlerin endeks değerlerinin aritmetik ortalaması, 10 alt kriterlerin endeksi değerini; alt kriterlerin endeks değerlerinin aritmetik ortalaması, 4 ana kriterlerin endeks değerini ve ana kriterlerin endeks değerlerinin aritmetik ortalaması ise genel DDE değerini oluşturmaktadır. Tablo 5'te TÜBİSAD Dijitalleşme Endeksi'nin raporuna göre 4 ana kriter, 10 alt kriter ve bu kriterlere ait 2019, 2020 ve 2021 yılları için 5 puan üzerinden hesaplanan bir notla verilen Türkiye'ye ilişkin DDE değerleri görülmektedir. Ancak bu endeks değerleri hesaplanırken, tüm kriter ağırlıklarının eşit olduğu varsayılmaktadır.

Tablo 5. Türkiye'ye ilişkin DDE değerleri.

Table 5. DTI values for Turkey.

DDE		2019	2020	2021
		2.94	3.03	3.24
C1. DİJİTAL EKOSİSTEMLER		2.87	2.95	3.09
C11. Yasal Zemin ve İşleyiş		2.76	2.82	3.01
C12. Yenilik ve Yatırım Ortamı		2.98	3.09	3.17
C2. YETERLİLİK		3.19	3.21	3.37
C21. Altyapı		2.34	2.27	2.32
C22. Satın Alınabilirlik		4.54	4.54	4.63
C23. Beceriler		2.69	2.82	3.17
C3. KULLANIM		2.88	3.16	3.36
C31. Bireysel Kullanım		3.20	3.24	3.31
C32. İş Dünyası Kullanımı		2.77	3.32	3.41
C33. Kamu Kullanımı		2.66	2.92	3.37
C4. DÖNÜŞÜM		2.81	2.81	3.14
C41. Dijitalleşen Ekonomi		2.36	2.05	2.25
C42. Dijitalleşen Toplum		3.26	3.58	4.03

Kaynak: [11].

Bu çalışmada ise TÜBİSAD'ın Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksi'ni hesaplamada kullandığı 4 ana ve 10 alt kriterler ile bu kriterlerin BBWM ile hesaplanan ağırlıkları dikkate alınmıştır. Ana kriterler kendi arasında karşılaştırılırken, her ana kriterin alt kriterleri ise yine kendi arasında karşılaştırılmıştır. Çalışmada ana kriter olarak; dönüşüm, kullanım bileşeni, yeterlilik ve ekosistem kullanılmaktadır. Tüm ana ve alt kriterler, şu şekilde özetlenebilir [11]:

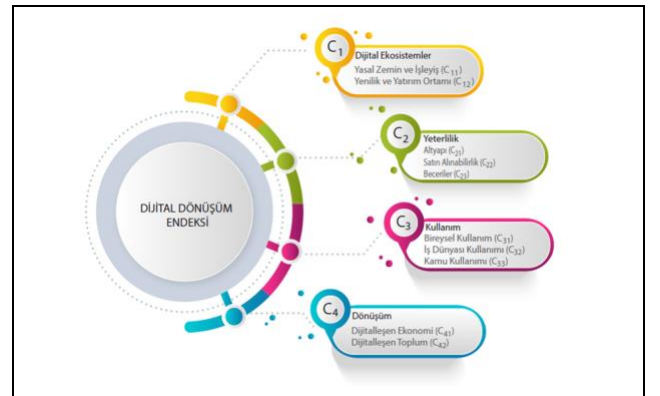
Dönüşüm ana kriteri; dijitalleşmenin ekonomi ve toplum üzerindeki etkisini göstermekte olup "Dijitalleşen Ekonomi" ve "Dijitalleşen Toplum" olmak üzere iki alt kriterden oluşmaktadır. Dijitalleşen ekonomi; BİT'lerin iş ve organizasyon modelleri üzerinde etkisi, BİT alanında patent başvuruları, bilgi yoğun faaliyetlerde istihdam edilen işgücü oranı, tam zamanlı telekomünikasyon çalışanları, BİT ürünleri ve hizmetleri ihracat oranı ile ilgili iken dijitalleşen toplum; e-

devlet hizmetlerinin kullanımı ve kalitesi, eğitimde BİT kullanımı, e-katılım endeksi ile ilgilidir.

Kullanım ana kriteri; bireylerin, işletmelerin ve kamu kuruluşlarının dijital teknolojileri kullanımı olup "Bireysel Kullanım", "İş Dünyası Kullanımı" ve "Kamu Kullanımı" olmak üzere üç alt kriterde incelenmektedir. Bireysel kullanım; bireylerin cep telefonu, bilgisayar ve internet kullanım oranı, internet erişimi oranı, sosyal ağları kullanımı, eğitim, sağlık ve finansal hizmetler gibi alanlarda BİT kullanımı içermektedir. İş dünyası kullanımı; firmaların son teknolojileri özümsemesi, yenilik kapasitesi, uluslararası patent başvurusu, işletmeler ve işletme-müşteri arası işlemlerde BİT kullanımı, personel eğitim yatırımlarını içermektedir. Kamu kullanımı; devletin DD yönetimi, çevrimiçi kamu hizmetleri endeksi, BİT kullanımında kamu desteği kriterlerinden oluşmaktadır.

Yeterlilik ana kriteri, ekonominin dijitalleşmeye ne kadar hazır ve yeterli olduğunu göstermekte olup "Altyapı", "Satın Alınabilirlik" ve "Beceriler" olmak üzere üç alt kriterden oluşmaktadır. Altyapı; firma düzeyinde BİT yatırımının ve altyapısının (elektrik üretimi, mobil ağ kapsamı, uluslararası internet bant genişliği, güvenli internet sunucuları gibi), yeterliliği ile ilgilidir. Satın alınabilirlik, BİT altyapısının pahalılığı (ön ödemeli mobil hücresel tarifeler, sabit geniş bant internet tarifeleri gibi) ile ilgilidir. Beceriler; eğitim kalitesi, okullaşma ve okur-yazarlık oranı gibi eğitim sisteminin BİT becerisi kazandırma yetkinliği ile ilgilidir.

Dijital ekosistemler; doğal ekosistemlerden esinlenmiş, kendi kendini düzenleme, ölçeklenebilirlik ve sürdürülebilirlik özelliklerine sahip, dağıtılmış, uyarlanabilir, açık sosyo-teknik bir sistemdir. "Yasal Zemin ve İşleyiş" ve "Yenilik ve Yatırım Ortamı" olmak üzere iki alt kriterden oluşmaktadır. Yasal Zemin ve İşleyiş; yasal sistemin uygunluğu ve etkinliği, BİT'in kullanımı ile ilgili kanunların yeterliliği ile ilgilidir. Yenilik ve yatırım ortamı ise; en yeni teknolojilere ve risk sermayesine erişim olanakları, rekabetin yoğunluğu, üniversite-sanayi iş birliği, ileri teknoloji ürünlerinin kamu tarafından tedariki gibi konuları içermektedir. Tüm alt ve ana kriterler, hiyerarşik bir yapı içinde Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Kriterlerin hiyerarşik yapısı.

Figure 1. Hierarchical structure of criteria.

Kriter ağırlıklarının BBWM hesaplanmasından önce, Endüstri 4.0 konusunda uzmanlığa sahip akademisyenlerden ve uzmanlardan oluşan 21 kişilik karar verici komitesi kurulmuştur. Karar komitesinin yapısına ilişkin meslek, kurum, çalışma yılı, cinsiyet ve yaş özellikleri, Tablo 6'da sunulmuştur. Karar komitesinin meslek dağılımı akademisyen, bilişim

teknolojisi uzmanı ve diğer olarak belirtilen yazılım mühendisi ve öğretmenlerden oluşmaktadır.

Tablo 6. Karar vericilerin özellikleri ve oranları.

Table 6. Characteristics and percentages of decision makers.

Özellikler	%
Meslek	
Akademisyen	33
Bilişim Teknolojisi Uzmanı	52
Diğer	14
Kurum	
Özel Kuruluş	38
Serbest Meslek	10
Kamu Kurumu	52
Çalışma Yılı	
1 ile 5 yıl arası	24
5 ile 10 yıl arası	29
10 yıl üzeri	48
Cinsiyet	
Kadın	33
Erkek	67
Yaş	
25 veya daha az	5
26-30	24
31-35	29
36-40	14
41 veya üzeri	29

KV'lerin her birinden öncelikle, ana kriterleri temel olarak aralarından en önemli ve en önemsiz kritere karar vermeleri istenmiştir. Daha sonra her KV, en iyi ana kriteri, diğerleri ile Tablo 4'te gösterilen ölçek ile ikili karşılaştırma yaparak değerlendirmiştir. Aynı şekilde her KV'den diğer ana kriterleri, Tablo 4'ü kullanarak en kötü kriter ile ikili karşılaştırmaları istenmiştir. Bu şekilde her KV için ana kriterlere ilişkin a_{Bj} ve a_{jW} vektörleri elde edilmiştir. Benzer işlemler, alt kriterler için de tekrarlanmış ve her KV için alt kriterlere ilişkin vektörler oluşturulmuştur. Bir KV için elde edilen toplam ikili karşılaştırma vektörü sayısı, 10'dur.

BBWM için geliştirilen bir tutarlılık yaklaşımı bulunmamaktadır. Ancak KV'lerin değerlendirmelerinin tutarlılıklarını değerlendirebilmek adına farklı kontrol mekanizmalarından faydalanılabilmektedir. İlk olarak her bir KV'den karşılaştırılan kriterleri kendi içlerinde sıralamaları irdelenebilir. Ancak bu irdeleme sayısal bir tutarlılık sunmamaktadır. İkinci olarak ise Rezaei'nin [12] klasik BWM'de kullanılan tutarlılık hesaplaması literatürde yer bulmaktadır. Ancak yapılan son güncellemeler ışığında klasik BWM tutarlılık hesaplamalarında Liang ve diğ. [54] tarafından geliştirilmiş, modelden bağımsız girdi odaklı tutarlılık hesaplaması tercih edildiği görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada da Liang ve diğ. [54] tarafından geliştirilen girdi odaklı tutarlılık modeli doğrultusunda KV'lerin tutarlılıkları hesaplanmıştır. Liang ve diğ. [54] tarafından geliştirilen tutarlılık hesaplamalarında bir eşik değeri söz konusudur ve değerlendirmede kullanılan ölçeğin boyutu ve değerlendirilen kriter sayısına göre farklılaşmaktadır. Çalışmamızda ana kriter değerlendirmelerinin tutarlılıklarını ele aldığımızda 4 kriter 9'lu ölçek kullanılması durumunda tutarlılık eşiği 0.2457'dir. Tablo 6'da detaylı bilgileri paylaşılan KV'lerden elde edilen karşılaştırma vektörleri için tutarlılık hesaplamaları tamamlandığında üç KV (KV9, KV13, KV17), değerlendirmelerinin tutarlılıklarının 0.2457 eşik değerinden büyük olması nedeniyle çalışma dışı bırakılmıştır. Ağırlık hesaplamaları, değerlendirmeleri tutarlı olan 18 KV ile yapılmıştır. Tablo 7'de her bir KV'nin ana kriter değerlendirmelerindeki tutarlılıkları verilmiştir. Ana kriter

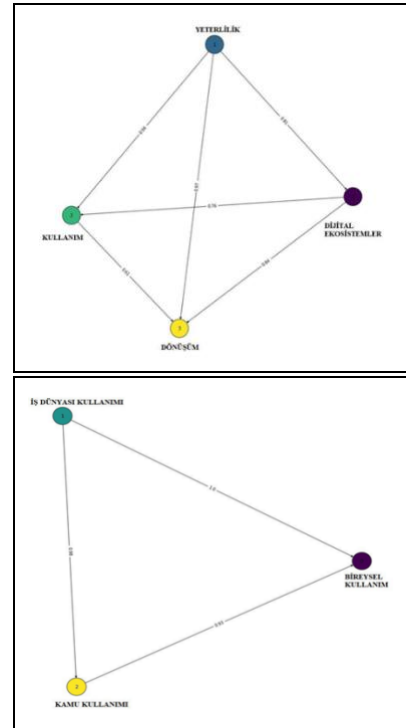
değerlendirmeleri tutarlı olan karar vericilerin alt kriter değerlendirmelerinin de tutarlılıkları ayrıca hesaplanmıştır ve eşik değerini aşmadığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca, Mohammadi ve Rezaei [13] tarafından önerilen credal ranking olarak adlandırılan kriterlerin birbirine olan üstünlüklerinin güvenilirlik hesaplamaları da yapılmış ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 7. Ana kriterler için tutarlılık değerleri.

Table 7. Consistency values for main criteria.

KV	Girdi odaklı Tutarlılık
	<0.2457
1	0.1905
2	0.1905
3	0.1905
4	0.2000
5	0.1905
6	0.1250
7	0.1528
8	0.1786
9	0.4286
10	0.2000
11	0.1905
12	0.1667
13	0.8571
14	0.1786
15	0.1905
16	0.1905
17	0.6667
18	0.1905
19	0.1905
20	0.1905
21	0.1250



Şekil 2. Görsel tutarlılık hesaplamaları (credal ranking).
 Figure 2. Visual consistency calculations (credal ranking).

Toplanan tüm veriler, ana ve alt kriterlere ilişkin bütünlük kriter ağırlıkları elde edebilmek amacıyla, 3. Bölümde anlatılan istatistiksel işlemlere tabi tutulmuştur. İşlemler, BBWM yöntemini öneren Mohammadi ve Rezaei [13] tarafından Python programlama dili kullanılarak geliştirilen uygulama aracılığı ile yapılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar, Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Kriter ağırlıkları.
 Table 8. Criteria weights.

Ana Kriterler	Ağırlıklar	Alt Kriterler	Ağırlıklar
Dijital Ekosistemler (C ₁)	0.26	Yasal Zemin ve İşleyiş (C ₁₁)	0.49
		Yenilik ve Yatırım Ortamı (C ₁₂)	0.51
Yeterlilik (C ₂)	0.30	Altyapı (C ₂₁)	0.50
		Satın Alınabilirlik (C ₂₂)	0.21
		Beceriler (C ₂₃)	0.29
Kullanım (C ₃)	0.23	Bireysel Kullanım (C ₃₁)	0.22
		İş Dünyası Kullanımı (C ₃₂)	0.47
		Kamu Kullanımı (C ₃₃)	0.31
Dönüşüm (C ₄)	0.21	Dijitalleşen Ekonomi (C ₄₁)	0.48
		Dijitalleşen Toplum (C ₄₂)	0.52

Tablo 8'e bakıldığında ana kriterler arasında en önemli öncelik sahip olan ana kriter, "yeterlilik (C₂)" ana kriteridir. Dijital ekosistem (C₁) ana kriteri altında en önemli öncelik, "yenilik ve yatırım ortamı (C₁₂)"; yeterlilik (C₂) ana kriteri altında en önemli öncelik, "altyapı (C₂₁)"; kullanım (C₃) ana kriteri altında en önemli öncelik, "iş dünyası kullanımı (C₃₂)" ve dönüşüm (C₄) ana kriteri altında en önemli öncelik, "dijitalleşen toplum (C₄₂)" alt kriteri olarak belirlenmiştir. Tablo 5'teki değerler, eşit ağırlıklar yerine Tablo 8'de verilen ağırlıklar ile çarpılarak toplandığında elde edilen yeni DDE değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

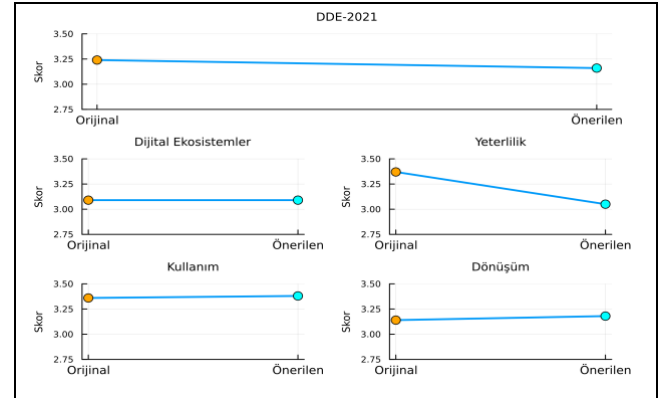
Tablo 9. BBWM'ye dayanan endeks değerleri.

Table 9. Index values based on BBWM.

DDE	2019	2020	2021
		2.86	2.97
C ₁ . DİJİTAL EKOSİSTEMLER	2.87	2.96	3.09
C ₁₁ . Yasal Zemin ve İşleyiş	2.70	2.76	2.95
C ₁₂ . Yenilik ve Yatırım Ortamı	3.04	3.15	3.23
C ₂ . YETERLİLİK	2.90	2.91	3.05
C ₂₁ . Altyapı	3.51	3.41	3.48
C ₂₂ . Satın Alınabilirlik	2.86	2.86	2.92
C ₂₃ . Beceriler	2.34	2.45	2.76
C ₃ . KULLANIM	2.83	3.18	3.38
C ₃₁ . Bireysel Kullanım	2.11	2.14	2.18
C ₃₂ . İş Dünyası Kullanımı	3.91	4.68	4.81
C ₃₃ . Kamu Kullanımı	2.47	2.72	3.13
C ₄ . DÖNÜŞÜM	2.83	2.85	3.18
C ₄₁ . Dijitalleşen Ekonomi	2.27	1.97	2.16
C ₄₂ . Dijitalleşen Toplum	3.39	3.72	4.19

Tablolar (Tablo 5 ve Tablo 9) karşılaştırıldığında endeks değerlerinde 3 farklı durum söz konusudur. Ağırlıklar

farklaştığında yeni endeks değerleri, ya daha iyi veya kötü duruma gelmiştir ya da değerini koruyarak sabit kalmıştır. Tüm bu durumlar için çeşitli yorumlar yapmak mümkündür. Örneğin, "dijital ekosistemler" ana kriterinde 2019 ve 2021 yılları için endeks değerleri aynı kalmıştır. Bu durum bu kriterin ağırlığının, eşit ağırlık varsayımından çok da farklı olmaması ile açıklanabilir. "Dönüşüm" ana kriterinin endeks değerleri ise daha iyileşmiştir. Bu ana kriterinin alt kriterlerindeki ağırlıkların az da olsa farklılaşmasıyla "dijitalleşen toplum" kriterinin ağırlığının 0.52 olmasının bir yansıması olarak ana kriterde olumlu bir etki yaratmıştır. "Yeterlilik" ana kriterinde ise endeks değerlerinin daha kötüleştiği görülmektedir. Bu durum "altyapı" kriterinin ağırlığının ve değerlerinin artması ancak "satın alınabilirlik" kriterinin ağırlığının ve değerlerinin azalmasıyla bir sonucu olarak yorumlanabilir. Ancak "altyapı" kriterindeki değerlerin artışının, daha sınırlı olması iyileşmenin ana kritere daha az yansımasına neden olmuştur. Son olarak genel endeks değerleri karşılaştırıldığında, tüm yıllar için değerlerin azaldığı görülmektedir. Bu durum, özellikle kötüleşen değerleriyle "yeterlilik" kriterinin ağırlığının 0.33'e çıkması, iyileşen değerleriyle "dönüşüm" kriterinin ağırlığının 0.21'e düşmesi ile açıklanabilir. Tablo 5 ve Tablo 9'da yer alan veriler kullanılarak orijinal ve önerilen metodolojilerin sonuçları görsel olarak karşılaştırılabilir. Örneğin, Şekil 3'te 2021 yılındaki endeks değeri ve ana kriterlerin değerlerindeki değişimler gözlemlenebilir. 2021 yılı için endeks skoru önerilen BBWM metodolojisi, orijinal metodolojiye göre hafif düzeyde daha düşük hesaplanmıştır. Dijital Ekosistemler ana kriteri her iki metodolojide de aynı sonucu vermiştir. Yeterlilik kriteri orijinal metodolojide çok daha yüksek sonuç verirken; Kullanım ve Dönüşüm ana kriterleri ise önerilen metodolojide az da olsa daha yüksek sonuç vermiştir. Benzer çıkarımlar, çalışmada analiz edilen tüm dönemler ve alt kriterler için de yapılabilir.



Şekil 3. 2021 yılı için endeks değerlerindeki değişim.

Figure 3. The change in index values for the year 2021.

Uygulamanın son adımı olarak BBWM'nin sunduğu credal ranking hesaplamaları ile kriter ağırlıkları, ikili olarak doğrulanarak Şekil 2'de verildiği gibi görselleştirilmiştir. Bu görsel aynı zamanda hesaplanan güvenilirlik değerlerini de içermektedir. Şekil 2 incelenerek kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri okların yönü dikkate alınarak ve bu üstünlüklerin güvenilirlikleri ise okların üzerindeki değerlere göre tespit edilebilir. Örneğin, ana kriterlerden "yeterlilik" kriteri, "dijital ekosistem" kriterine üstün olarak değerlendirilmektedir ve bu üstünlüğün güvenilirliği 0.81 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde alt kriterler için de Şekil 2'den faydalanılarak üstünlük

ilişkilerinin güvenilirlikleri kontrol edilebilir. Örneğin "kullanım" ana kriterinin alt kriterleri incelendiğinde "iş dünyası kullanımı", "bireysel kullanıma" göre çok önemlidir ve bu üstünlük güvenilirlik değerinin 1 olması sebebiyle kesin olduğu şeklinde bir yorum yapılabilir.

5 Sonuç

Dijital teknolojilerdeki gelişmeler, iş dünyasını dönüşüme uğratmıştır. DD, yüksek katma değerli ürünler ve hizmetler üretmenin de anahtarı olup, verimliliği artırarak uluslararası seviyede rekabetçiliği sağlamaktadır. DD, aynı zamanda enerji tüketimi, karbon emisyonu, ambalaj malzemesi, taşıma ve depo maliyetlerinin yanı sıra hammadde maliyetlerini de düşürerek verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından iyileştirmeler sağlamaktadır. Ancak DD'yi gerçekleştirmek, büyük yatırımlar gerektiren uzun süreli değerlendirme ve planlama projeleri ile mümkündür. Bununla birlikte tüm dünyada şiddetli bir şekilde yaşanan COVID-19 salgını da DD işlemlerini ve süreçlerini daha da hızlandırmıştır. Bu anlamda işletmelerin, kurumların ve ülkelerin, DD sürecindeki konularını tespit edebilmeleri önem arz etmektedir. DD ile ilgili olarak geliştirilen birçok ulusal ve uluslararası endeks ve literatürde yayınlanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada ise TÜBİSAD'ın "Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksi" [11] ele alınmıştır. Bu endeksin hesaplanmasında kullanılan 4 ana ve 10 alt kriterin ağırlıkları, kriter ağırlık değerlerinin farklı olabileceği gerçeğini yansıtmak amacıyla bu çalışmada BBWM yöntemi ile değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlara göre alternatif bir endeks değeri hesaplanmıştır. Çalışmada benimsenen yaklaşımla, BBWM yönteminin DD alanında uygulanabilirliğini göstermek ve kriter ağırlıklarının endeks sıralamasındaki etkisini analiz etmek amaçlanmaktadır. Çalışmadan elde edilen bulgular, DD çerçevesinde yapılacak yatırımların önceliklendirilmesinde kullanılarak, DD adaptasyonunun daha sağlıklı yürütülebileceğini göstermektedir. Sektörün değerlendirmelerini barındıran kriter ağırlıkları, yatırımların yoğunluklu olarak hangi alanlara yapılması gerektiği bilgisini sağlayarak ülkelerin rekabet edilebilirliğini arttıracaktır. Bu çalışmanın Türkiye için elde edilen çıktıları, "yeterlilik" kriterini ön plana çıkarmaktadır. Özellikle yeterlilik kriterinin alt kriteri olan "altyapı" kriterine daha fazla önem verilerek yatırımların yönlendirilmesi Türkiye'nin genel DD performans skorunu arttıracaktır.

Benzer şekilde kriter ağırlığı yüksek, ancak endeks değeri düşük olan kriterlere öncelik verilerek genel performans artırılabilir. Türkiye'nin DD performansını etkileyen kriterler önem düzeyine göre yeterlilik, dijital ekosistemler, kullanım ve dönüşüm şeklinde sıralanmaktadır. Benzer sıralama, bu ana kriterlerin alt kriterleri için de elde edilmiştir. Ancak, mevcut DD endeksinde ana ve alt kriterlerin önem derecelerindeki farklılıklar göz ardı edilerek, bunların önem dereceleri eşit kabul edilmiştir. Fakat, ülkelerin DD'lerinde yatırımları önceliklendirmeleri DD'ye adaptasyon hızını etkileyecek önemli unsurlardan biridir. Dolayısıyla, kriterlerin farklı ağırlıklara sahip olması, odaklanılacak noktaların daha doğru şekilde tespit edilmesini sağlayarak, ihtiyaca yönelik planlamaların ve yatırımların yapılabilmesini mümkün kılar. Her ülke kendi DD sürecini önceliklendirerek ve dijitalleşme performansını analiz ederek, ÇKKV yaklaşımı ile benzer durumdaki ülkelerle karşılaştırmalar yapabilir. Bu ölçüm ve analizler, ülkelerin politika yapımcılarına/karar vericilerine yol

göstererek ideal durumdaki ülkelerin seviyelerine ulaşmalarına katkı sağlayabilir.

Her çalışmada olduğu gibi bu çalışmanın da bazı sınırlılıkları ve iyileştirmeye açık yönleri bulunmaktadır. Bu çalışma, sadece yöntemin uygulanabilirliğini ve ağırlıkların endeks sıralamasındaki etkisini göstermek için az sayıda karar vericiden oluşan bir grup ile yapılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda karar komitesinin yapısı hem dikkate alınan sektörler hem de karar verici sayısı bakımından değiştirilebilir. Bu sayede, hesaplanacak endeks değeri, mevcut durumu daha doğru bir şekilde yansıtmak hale gelecektir. Yapılan çalışmanın, belli zaman aralıklarıyla tekrarlanması ve güncellenmesi mevcut durumun tespiti açısından oldukça önemlidir. Ayrıca bu çalışma, TÜBİSAD gibi endeks hesaplaması yapan kurumlara, gelecekteki endeks hesaplamalarına destek veren tüm sektör temsilcilerine bu tür ÇKKV yöntemleri uygulayarak ana ve alt kriterlerin ağırlıklı ortalamalarını dikkate almalarını öneren bir rehber niteliğindedir. Ek olarak, gelecek çalışmalarda BBWM yönteminde kullanılan kriter sayılarında ihtiyaca göre değişiklikler düşünülebilir. Ayrıca, kriter ağırlıkları arasındaki ilişkiler de dikkate alınarak gerçeği daha iyi yansıtan sonuçlar elde edilebilir.

6 Conclusions

Advances in digital technologies have transformed the business world. Digital Transformation is also the key to producing high-value-added products and services, increasing efficiency, and ensuring international competitiveness at international level. Concurrently, it reduces energy consumption, carbon emissions, packaging material, transportation, and storage costs as well as raw material costs, leading to considerable improvements in efficiency and sustainability. However, the implementation of Digital Transformation is possible with long-term evaluation and planning projects that require extensive investments. In addition, the COVID-19 epidemic, which has been severely experienced all over the world, has further accelerated the Digital Transformation processes. In this sense, businesses, institutions, and countries need to determine their situations in the Digital Transformation process. For this purpose, there are national and international indices developed on the subject, and many studies published in the literature. In this study, TÜBİSAD's "Turkey Digital Transformation Index" [11] is taken into consideration. The weights of the 4 main and 10 sub-criteria used in the calculation of this index were evaluated with the BBWM method in this study in order to reflect the fact that criterion weight values may differ, and an alternative index value was calculated according to the results obtained. The approach adopted in this study is aimed to demonstrate the applicability of the BBWM method used in the field of Digital Transformation and to analyze the impacts of criteria weights on the index ranking. The findings obtained from the study show that prioritizing investments to be made within the scope of Digital Transformation can make the Digital Transformation adaptation more efficient. The criteria weights, which encompass the evaluations of the sector, will strengthen the competitiveness of countries by providing information on which areas the investments should be made intensively. The findings obtained related to Turkey in this study highlight the "competence" criterion. Directing investments by giving more importance to the "infrastructure" criterion, which is the sub-criterion of the qualification criterion, will increase Turkey's overall Digital Transformation performance score. In general,

the overall performance can be improved by giving priority to criteria with a high weight but a low index value. The criteria affecting Turkey's digital transformation performance are ranked in order of importance as capability, digital ecosystems, utilization and transformation. A similar ranking was obtained for the sub-criteria of these main criteria. In the current index differences in the importance of criteria and sub-criteria are ignored and assumed to be equal. However, countries' prioritization of investments in their digital transformation is one of the important factors that will affect the speed of their adaptation to digital transformation. Therefore, having different weights for the criteria enables more accurate identification of the points to focus on, enabling tailored planning and investments to be made. Each country can prioritize its own Digital Transformation process and analyze its digitalization performance and compare it with similar countries using the MCDM approach. These measurements and analyses can guide the policy makers/decision makers of countries and contribute to reaching the level of countries in the ideal situation.

As in every study, this study also has some limitations and aspects that are open to improvement. This study was conducted with a small group of decision-makers to present the applicability of the method and the effect of weights on index rankings. In further studies, the decision committee can be rearranged both in terms of the sectors considered and the number of decision-makers. In this way, the index value will reflect the current situation better. It is essential to repeat and update the index at certain time intervals. In addition, this study is a guide that recommends institutions such as TÜBİSAD that calculate indexes and all sector representatives who support future index calculations to consider the weighted averages of main and sub-criteria by applying such MCDM methods. Moreover, in future studies, changes in the number of criteria can be considered in the BBWM method as needed. Furthermore, the relations between the criterion weights can be considered to reflect reality more.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Ayşegül TUŞ fikrin oluşması, tasarımın yapılması başlıklarında; Gülin Zeynep ÖZTAŞ verilerin analizi ve sonuçların incelenmesi başlıklarında; Tayfun ÖZTAŞ sonuçların incelenmesi ve yazım denetimi başlıklarında; Abdullah ÖZÇİL ve Esra AYTAÇ ADALI literatür taraması ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Gerçekleştirilen bu çalışma için, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Etik Kurulu'ndan 19.12.2022 tarih ve 2022-61 sayılı (Toplantı Sayısı: 61 Karar No: 4) karar ile Etik Kurul Onayı alınmıştır.

Bu çalışma, yazarlar tarafından 41. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi'nde sunulan "Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Endeksi İçin Alternatif Bir Yaklaşım: Bayesian BWM" başlıklı bildirinin genişletilmiş halidir.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

- [1] World Economic Forum. "Digital Transformation Initiative In collaboration with Accenture". Executive Summary, Cologny/Geneva, Switzerland, 2018. <https://reports.weforum.org/digital-transformation/01.08.2022>.
- [2] Vial, G. "Understanding digital transformation: A review and a research agenda". *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144, 2019.
- [3] Büyüközkan G, Güler M. "Analysis of companies' digital maturity by hesitant fuzzy linguistic MCDM methods". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(1), 1119-1132, 2020.
- [4] Güler M, Büyüközkan G. "Analysis of digital transformation strategies with an integrated fuzzy AHP-axiomatic design methodology". *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1186-1191, 2019.
- [5] Gülseren A, Sağbaş A. "Endüstri 4.0 perspektifinde sanayide dijital dönüşüm ve dijital olgunluk seviyesinin değerlendirilmesi". *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 1-5, 2019.
- [6] Zhu X, Ge S, Wang N. "Digital transformation: A systematic literature review". *Computers & Industrial Engineering*, 162, 1-17, 2021.
- [7] Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 Platformu. "Türkiye'de Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A)" İstanbul, Türkiye, 2020. <http://industry4zero.boun.edu.tr/wp-content/uploads/2020/07/Sonuc-Raporu-v2.pdf> (06.12.2022).
- [8] Tiutiunyk I, Drabek J, Antoniuk N, Navickas V, Rubanov, P. "The impact of digital transformation on macroeconomic stability: Evidence from EU countries". *Journal of International Studies*, 14(3), 220-234, 2021.
- [9] Accenture, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye Bilişim Vakfı, ODTÜ, Vodafone. "Accenture Dijitalleşme Endeksi". İstanbul, Türkiye, 2017. <https://www.researchgate.net/publication/313676852> (06.12.2022).
- [10] TÜSİAD. "The Boston Consulting Group. "Türkiye'nin Sanayide Dönüşüm Yetkinliği". İstanbul, Türkiye, TÜSİAD-T/2017,12-589, 2017. https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/download/8817_f994085fce0c6d5159e54d40069d67b1 (06.12.2022).
- [11] TÜBİSAD. "Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Endeksi". İstanbul, Türkiye, 2021. <https://www.tubisad.org.tr/tr/images/pdf/tubisad-2021-dde-raporu.pdf> (06.12.2022).
- [12] Rezaei J. "Best-worst multi-criteria decision-making method". *Omega*, 53, 49-57, 2015.
- [13] Mohammadi M, Rezaei J. "Bayesian best-worst method: a probabilistic group decision making model". *Omega*, 96, 1-8, 2020.
- [14] Ma X, Li N, Tao X, Xu H, Peng F, Che Y, Guo, S. "The optimal selection of electrochemical energy storage using Bayesian BWM and TOPSIS method". *2019 6th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, Shanghai, China, 20-22 December 2019.

- [15] Aly H. "Digital transformation, development and productivity in developing countries: is artificial intelligence a curse or a blessing?". *Review of Economics and Political Science*, 7(4), 238-256, 2022.
- [16] Henriette E, Feki M, Boughzala I. "The shape of digital transformation: A systematic literature review". *9th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS)*, Samos, Greece, 03-05 October 2015.
- [17] Gebayew C, Hardini IR, Panjaitan GHA, Kurniawan, NB, Suhardi. "A systematic literature review on digital transformation". *2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, Bandung, Indonesia, 22-26 October 2018.
- [18] Reis J, Amorim M, Melão N, Matos P. "Digital transformation: A literature review and guidelines for future research". *WorldCIST'18 2018: Trends and Advances in Information Systems and Technologies*, Naples, Italy, 27-29 March 2018.
- [19] Luz Martín-Peña M, Díaz-Garrido E, Sánchez-López JM. "The digitalization and servitization of manufacturing: A review on digital business models". *Strategic Change*, 27(2), 91-99, 2018.
- [20] Büyüközkan G, Göçer F. "Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research". *Computers in Industry*, 97, 157-177, 2018.
- [21] Mukhopadhyay S, Bouwman H. "Orchestration and governance in digital platform ecosystems: A literature review and trends". *Digital Policy, Regulation and Governance*, 21(4), 329-351, 2019.
- [22] Cortellazzo L, Bruni E, Zampieri R. "The role of leadership in a digitalized world: A review". *Frontiers in Psychology*, 10, 1-21, 2019.
- [23] Dobrolyubova E. "Measuring outcomes of digital transformation in public administration: Literature review and possible steps forward". *NISPAcee Journal of Public Administration and Policy*, 14(1), 61-86, 2021.
- [24] Nagano A. "An integrated index towards sustainable digital transformation". *2019 Third World Conference on Smart Trends in Systems Security and Sustainability (WorldS4)*, London, United Kingdom, 30-31 July 2019.
- [25] Strutynska I, Dmytrotso L, Kozbur H, Melnyk L. "System-integrated methodological approach development to calculating the digital transformation index of businesses". *16th International Conference ICTERI 2020*, Kharkiv, Ukraine, 06-07 October 2020.
- [26] Kökümer Z. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Beyaz Eşya Sektöründe Endüstri 4.0 Dijital Dönüşüm Yetkinlik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2018.
- [27] Ataman AC. Savunma Sanayinde Endüstri 4.0 Olgunluk Parametrelerinin Tereddütlü Bulanık AHP Yöntemi ile Önceliklendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [28] Şahin C. Ülkelerin Endüstri 4.0 düzeylerinin COPRAS Yöntemi ile Analizi: G-20 Ülkeleri ve Türkiye. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2019.
- [29] Yılmaz Yalçın A, Çaylak İ. "Türkiye'de dijital dönüşüme başlangıç için AHP ve TOPSIS yöntemleri ile sektörel sıralama". *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(2), 258-265, 2020.
- [30] Saçak R, Gür Ş, Eren T. "Türkiye'nin dijital dönüşüm yol haritasında yer alan stratejilerin TOPSIS yöntemi ile sıralanması". *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 21(2), 335-346, 2020.
- [31] Li J, Dou K, Wen S, Li Q. "Monitoring index system for sectors' digital transformation and its application in China". *Electronics*, 10(11), 1-22, 2021.
- [32] Llopis-Albert C, Rubio F, Valero F. "Impact of digital transformation on the automotive industry". *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 1-9, 2021.
- [33] Koca G. *AB Ülkelerinin Dijital Dönüşüm Performanslarının ARAS Yöntemi ile İncelenmesi*. Editörler: Koca G, Eğilmez Ö. Dijital Dönüşüm ve İşletmecilik, 7-24, İstanbul, Türkiye, Efe Akademi, 2021.
- [34] Bil E, Mutlu Yıldırım F. "Finans ve pazarlama perspektifinden dijital dönüşüm etkinliği ölçümü: MOORA yöntemi uygulaması". *Akademik Hassasiyetler*, 8(16), 457-472, 2021.
- [35] Karasan A, Ilbahar E, Kaya I, Cebeci B. "Sectoral prioritization of industry 4.0 under lean supply chain with an integrated fuzzy decision-making approach: The case of Turkey". *2021 IEEE 6th International Forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI)*, Naples, Italy, 06-09 September 2021.
- [36] Brodny J, Tutak M. "Assessing the level of digital maturity of enterprises in the Central and Eastern European countries using the MCDM and Shannon's entropy methods". *Plos One*, 16(7), 1-38, 2021.
- [37] Büyüközkan G, Havle CA, Feyzioğlu O. "An integrated SWOT based fuzzy AHP and fuzzy MARCOS methodology for digital transformation strategy analysis in airline industry". *Journal of Air Transport Management*, 97, 102142, 2021.
- [38] Małkowska A, Urbaniec M, 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.
- [39] Aygün D, Satı ZE. "Evaluation of Industry 4.0 Transformation Barriers for SMEs in Turkey". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1), 239-255, 2022.
- [40] Limoncuoğlu Eren N. Proje Yönetiminde Dijital Dönüşüm Süreçleri İçin Bir Bulanık ÇKKV Modeli Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2022.
- [41] Eşiyok S, Demircioğlu M. "OECD ülkelerinin endüstri 4.0 düzeylerinin CRITIC ve CODAS yöntemleri ile değerlendirilmesi". *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(43), 377-398, 2022.
- [42] Abdallah YO, Shehab E, Al-Ashaab A. "Developing a digital transformation process in the manufacturing sector: Egyptian case study". *Information Systems and e-Business Management*, 20(3), 1-18, 2022.
- [43] Alkan N, Kahraman C. "Prioritization of supply chain digital transformation strategies using multi-expert fermatean fuzzy analytic hierarchy process". *Informatica*, 34(1), 1-33, 2023.
- [44] Mohammadi M, Rezaei J. "Evaluating and comparing ontology alignment systems: An MCDM approach". *Journal of Web Semantics*, 64, 1-14, 2020.

- [45] Li L, Wang X, Rezaei J. "A Bayesian best-worst method-based multicriteria competence analysis of crowdsourcing delivery personnel". *Complexity*, 2020, 1-17, 2020.
- [46] Yang JJ, Lo HW, Chao CS, Shen CC, Yang CC. "Establishing a sustainable sports tourism evaluation framework with a hybrid multi-criteria decision-making model to explore potential sports tourism attractions in Taiwan". *Sustainability*, 12(4), 1-20, 2020.
- [47] Guo S, Zhang W, Gao X. "Business risk evaluation of electricity retail company in China using a hybrid MCDM method". *Sustainability*, 12(5), 1-21, 2020.
- [48] Huang CN, Liou JJ, Lo HW, Chang FJ. "Building an assessment model for measuring airport resilience". *Journal of Air Transport Management*, 95, 1-11, 2021.
- [49] Ak MF, Yucesan M, Gul M. "Occupational health, safety and environmental risk assessment in textile production industry through a Bayesian BWM-VIKOR approach". *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(2), 629-642, 2022.
- [50] Yang CC, Shen CC, Mao TY, Lo HW, Pai CJ. "A hybrid model for assessing the performance of medical tourism: integration of Bayesian BWM and Grey PROMETHEE-AL". *Journal of Function Spaces*, 2022, 1-15, 2022.
- [51] Gul M, Yucesan M. "Performance evaluation of Turkish Universities by an integrated Bayesian BWM-TOPSIS model". *Socio-Economic Planning Sciences*, 80, 1-17, 2022.
- [52] Saner HS, Yucesan M, Gul M. "A Bayesian BWM and VIKOR-based model for assessing hospital preparedness in the face of disasters". *Natural Hazards*, 111(2), 1603-1635, 2022.
- [53] Saaty T. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*. London, McGraw-Hill, 1980.
- [54] Liang F, Brunelli M, Rezaei J. "Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds". *Omega*, 96, 1-11, 2020.