



Evaluation of Digital Technology Applications in the Context of Industry 4.0 in Textile Sector

Emine Elif Nebati^{1,a,*}

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of engineering and natural sciences, İstanbul Sabahattin Zaim University, İstanbul, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 12/04/2024

Accepted: 27/06/2024

JEL Codes: B52, G40, O53, O33
M42

ABSTRACT

In today's world, where the conditions of production and consumption are fundamentally changing, Industry 4.0 aims to gain momentum by adopting a machine-centric rather than a human-centric approach, minimising human error and reducing costs to maximise efficiency. Industry 4.0 represents an opportunity for sustainable competitive advantage across all sectors. As the manufacturing industry undergoes a significant digitalisation process, innovative thinking is a prerequisite for its sustainability. To retain or strengthen the textile sector's current competitive position, it is essential not to overlook the substantial potential offered by Industry 4.0 and to make the appropriate investments. Companies are adopting new technological solutions to meet the growing demand for sustainable textile products. This study assesses Industry 4.0 technologies and applications for the textile sector and presents a proposed decision model. The Best Worst Method (BWM) is used to evaluate Industry 4.0 technologies, while the Additive Ratio Assessment (ARAS) and Operational Competitiveness Rating (OCRA) methods are applied to rank Industry 4.0 applications, and the results are then compared. According to the results, the integration of key technology systems is ranked first criteria, while real-time efficiency calculations of Industry 4.0 applications are ranked first. Industry 4.0, as a new production model, is predicted to trigger a digital transformation in manufacturing techniques, thereby changing work cultures and business practices in many sectors soon. Therefore, the proposed model is expected to provide guidance for companies operating in the textile sector in Türkiye.

Keywords: Industry 4.0, Textile 4.0, Digital transformation, Textile industry

Tekstil Sektöründe Endüstri 4.0 Perspektifinde Dijital Teknoloji Uygulamalarının Değerlendirilmesi

Süreç

Geliş: 12/04/2024

Kabul: 27/06/2024

Jel Kodları: B52, G40, O53, O33
M42

ÖZ

Üretim ve tüketim şartlarının kökten değiştiği, küresel rekabetin hızlandığı günümüzde Endüstri 4.0, üretimde insan odaklı bir anlayış yerine makine odaklı bir anlayışı benimseyerek hız kazanmayı, insan kaynaklı hata payını minimize etmeyi ve maliyetleri en aza indirgeyerek verimliliği en yüksek seviyeye çıkarmayı hedeflemektedir. Endüstri 4.0, tüm sektörlerde sürdürülebilir rekabet avantajı elde etme fırsatı sunmaktadır. İmalat sanayii günümüzde ciddi bir dijitalleşme sürecinden geçerken sürdürülebilirliğinin bir ön şartı olarak yenilikçi düşünmek zorundadır. Tekstil sektörünün halihazırındaki rekabetçi durumunu devam ettirebilmesi veya artırması için Endüstri 4.0'ın getirdiği önemli fırsatları kaçırmaması ve gerekli insan ve teknoloji yatırımları yapması gerekmektedir. Özellikle, sürdürülebilir tekstil ürünlerine yönelik artan talepleri karşılamak için firmalar yeni teknolojik çözümleri benimsemektedir. Bu çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve uygulamalarının tekstil sektörü için değerlendirilmesi yapılarak, bir karar modeli önerisi sunulmuştur. Endüstri 4.0 teknolojilerinin değerlendirilmesinde Best Worst Method (BWM) kullanılırken, Endüstri 4.0 uygulamalarının sıralanmasında Additive Ratio Assessment (ARAS) ve Operational Competitiveness Rating (OCRA) yöntemleri tercih edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, en önemli kriter sistemlerin bütünleşmesi iken, Endüstri 4.0 uygulamalarının sıralamasında gerçek zamanlı verimlilik hesapları yapmak ilk sırada yer almaktadır. Endüstri 4.0'ın imalat tekniklerinde dijital dönüşümü tetikleyerek, yakın gelecekte birçok sektörde çalışma kültürünü ve iş yapış şekillerini değiştireceği öngörülmektedir. Dolayısıyla, önerilen modelin, Türkiye'de Tekstil sektöründe faaliyet gösteren firmalar için yol göstereceği umulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Tekstil 4.0, Dijital dönüşüm, Tekstil sektörü

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

^a emine.nebati@izu.edu.tr

0000-0002-3950-4279

How to Cite: Nebati E E (2024) Evaluation of Digital Technology Applications in the Context of Industry 4.0 in Textile Sector, Journal of Economics and Administrative Sciences, 25(3): 417-429, DOI: 10.37880/cumuiibf.1460208

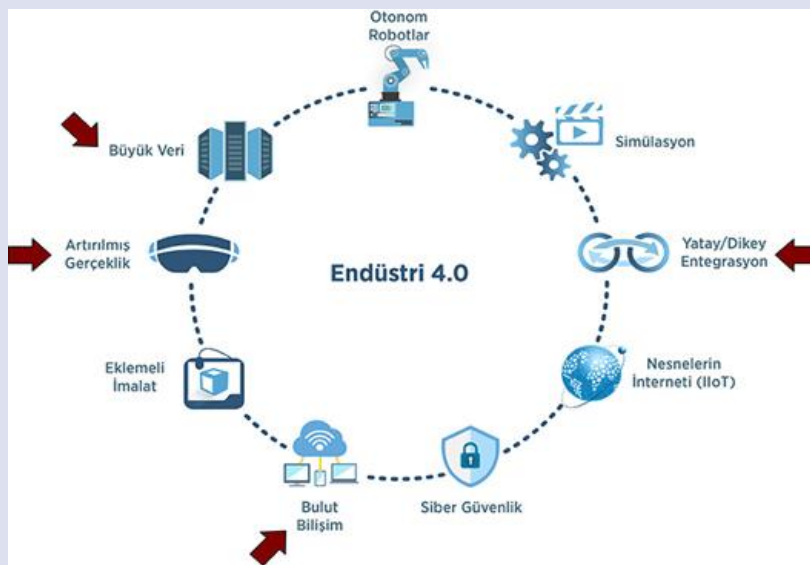
Giriş

Modern hazır giyim üretim süreçleri, yüksek rekabet ortamı ve kaliteli ürünlere olan yüksek talep ile karakterizedir. Bu süreçler düşük sabit sermaye yatırımı gerektirirken, ürün tasarımında geniş bir çeşitlilik sunmakta ve dolayısıyla farklı ham maddelerin kullanılmasına olanak tanımaktadır. Üretim hacimleri değişkendir ve hem yerel hem de uluslararası rekabetin yoğun olduğu bir ortamda faaliyet göstermektedirler (Nayak ve Padhye, 2015:1). Küreselleşmenin etkisiyle, hazır giyim sektörü hızlı değişimlere açıktır. Dördüncü endüstri devrimi olarak bilinen Endüstri 4.0, dijitalleşmenin ve otomasyonun üretim süreçlerine entegrasyonunu ifade etmektedir. Bu devrim, tekstil sektöründe de önemli dönüşümlere yol açmıştır. Gelişmiş teknolojilerin kullanımıyla, hazır giyim üreticileri daha verimli, esnek ve rekabetçi hale gelmekte ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verebilmektedirler.

Endüstri 4.0, üretimin tüm aşamalarında otomasyon ve bilgisayarlaştırmayı amaçlamaktadır (Kamble vd., 2018:107). Bu hedef doğrultusunda, Rauch ve arkadaşları, Endüstri 4.0'ı, dağıtılmış ve çoğaltılmış bir vaziyette olan yapay zekâ aracılığıyla toplanmış bilgilerin harmanlanarak toplumun hizmetine verilmesi yoluyla tanımlamaktadır (Rauch vd., 2020:1). Endüstri 4.0 üretim araçları bütünleşmiş halde çalışarak sanal ortamda hızlı bilgi akışını sağlamakta ve akıllı fabrikaların kurulmasına zemin hazırlamaktadır. Ayrıca, firmalara Endüstri 4.0 sayesinde piyasada rekabet kabiliyetinde yükseliş, kişiselleştirilmiş üretim ve müşteri taleplerine çabuk cevap verebilirlik gibi pek çok avantaj sunmaktadır. Tekstilde iş görenlerden bir kısmı, Türkiye'de Endüstri 4.0 uygulamalarının tekstilde gerçekleştirilebilirliğinin zor olabileceğini, hatta, geniş katmanlı şirketleri de içine alarak çoğu şirkette veri akışının daha sanal şekilde izlenmeye başlanmadığını, ayrıca personellerin Endüstri 4.0 teknolojilerine uyum

sağlamakta zorlandıklarını belirtmektedir (Tekstil Mühendisleri Odası, 2018).

Pek çok sektörde olduğu gibi tekstil sektöründe gelişen teknolojiye ve rakiplere ayak uydurabilmek ve piyasada hayatta kalabilmek için tekstil sektöründeki firmaların da Endüstri 4.0'ı kendi sistemlerinde doğru bir şekilde uygulayarak bu devrimin getirdiği teknolojilerden faydalanması önem arz etmektedir. Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojiler tekstil sektöründe; kalıp oluşturma, tasarlama, kesimde bilgisayar ekipmanları kullanılması, giyilebilir teknolojiler ve ilerlemiş malzeme nakliye sistemleri çerçevesinde meydana gelmektedir. Sanal gerçeklikle beraber, kesme, montaj, dikiş işlemleri 3D baskı teknolojisi sayesinde tek bir aşamada birleştirilerek zamandan tasarruf edilmiş, üretimde model sınırlaması kalkmış ve kişiye özel üretim yapılabilir hale gelmiştir. Tekstilde Endüstri 4.0 entegrasyonu ile üretim, dağıtım, tedarik gibi süreçlerin hepsinde optimum malzeme akışının sağlanması amaçlanmaktadır. Nesnelerin interneti ve makine öğrenimi teknolojileri firmaların üretim aşamalarını daha iyi analiz etmeleri ve veriyi kullanarak verimliliği yükseltmelerini sağlamaktadır. Endüstri 4.0'ın getirdiği yeniliklerin genel olarak şirketlerin sistemlerini iyileştirmelerine ve süreçlerdeki verim oranını artırarak büyümelerine imkân tanıdığı gözlemlenmiştir. Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri, Şekil 1'de gösterilen teknolojilerden oluşmaktadır. Büyük Veri (Big Data), Eklemeli Üretim (3 Boyutlu -3D- Yazıcılar), Sanal Gerçeklik (Virtual Reality), Nesnelerin İnterneti (IoT), Otonom Robotlar, Siber Güvenlik (Cyber Security - CS), Bulut Bilişim Sistemi (Cloud Computing - CC) ve Simülasyon Uygulama Teknolojileri bu bileşenleri oluşturur (Bulut ve Akçacı, 2017:55; Schwab, 2017; Xu, Xu, Li, 2018:2941; Yıldız, 2018:546; Özbek vd.,2021:255).



Resim 1. Endüstri 4.0'da kullanılan teknolojiler (Melanson, 2018; Özbek vd.,2021)

Figure 1. Technologies used in Industry 4.0

Tekstil alanında yüksek derecede işgücüne ihtiyaç duyulmasının yanında, son yıllarda alıcıların giderek artan baskın rolü, imalattaki süreçlerin tekrardan organize edilmesini gerektirmiştir. Son zamanlarda alıcılar sıradan ürünlerden çok, kişisel ihtiyaçlarına daha uygun, fonksiyonel ve kişiye özel ürünleri satın almak istemektedir. Bu nedenlerden dolayı ilerleyen zamanlarda tekstil alanında işleyiş gösteren şirketlerin üretim süreçlerini müşteri ihtiyaçlarına yanıt verebilecek şekilde yenilemeleri önem arz etmektedir (Olgun vd.,2022:28). Bu inovasyon süreci boyunca, Endüstri 4.0 ile beraberindeki esas teknolojik uygulamalar, tekstildeki değer bağlantılarının ve tekstil imalat süreçlerinin düzeltilmesinde büyük bir paya sahip olacaktır (Rüßmann vd., 2015). Türkiye Tekstil Sanayii İşverenleri Sendikası'nın (2017) raporuna göre, tekstil alanında etkin olan şirketler aşağıda verilen maddeleri uygulayarak Endüstri 4.0 ile dijitalleşme konusunda büyük avantajlar elde etme ve başarısını yükseltme imkânına sahip olmaktadır (United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2017):

- Gerçek zamanlı bir şekilde verim oranlarının hesaplanması
- Mavi yaka takibi ve iş optimizasyonu gerçekleştirilmesi
- Makinelerin tamir işlemlerinin dijital bir şekilde yapılması
- Sevkiyat sürelerine hız kazandırılması ve süreçlerde şeffaflık oluşturulması
- Dijital ikiz üretilmesi ve bununla ilgili yapılacak deneyler aracılığıyla ortaya çıkabilecek hatalara engel olunması
- Tedarikçilerin ve iş birliği içinde olunan öbür şirketlerin dijital dönüşümü
- 3 boyutlu dijital modellerin imalatı
- Kişiyeye özel üretim gerçekleştirilmesi
- Ürün tasarımı sürecinde yapay zekâdan faydalanılması

Bu çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve uygulamalarının tekstil sektöründe hazır-giyim alanında faaliyet gösteren kurumlar için bir karar modeli önerisi sunulmasıdır. Ülkemizde Endüstri 4.0 sürecini işletmelerin kendilerine göre uyarlamaları sebebiyle henüz tam bir standart ortaya çıkmamıştır. İşletmeler süreci yeni uyum sağlamaya başlamıştır. Bu çerçevede Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlamak için çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemleri kullanılarak, farklı teknoloji seçeneklerinin kıyaslanması ve optimal çözümün belirlenmesi ile literatüre katkı sunması umulmaktadır. Tekstil sektörüne özgü karar modelleri ve çerçeveler geliştirilmesi, mevcut literatürdeki genel Endüstri 4.0 modellerine katkı sağlayacaktır. Ayrıca önerilen metodolojinin bilindiği kadarıyla bu alanda ilk kez kullanılması ile literatüre katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Literatürdeki kaynaklar ve sektör raporlarından faydalanarak 9 adet Endüstri 4.0 teknolojisi; nesnelere interneti, siber- fiziksel sistemler, büyük veri, otonom robotlar, sistemlerin bütünleşmesi, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, bulut bilişim sistemi ve akıllı fabrikalar olarak belirlenmiştir. Bu kriterlerin değerlendirilmesinde BWM yöntemi kullanılırken, 10 adet Endüstri 4.0 uygulamasının sıralanmasında ARAS ve OCRA yöntemleri tercih edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, en önemli teknoloji sistemlerin bütünleşmesi iken, Endüstri 4.0 uygulamalarının sıralamasında gerçek zamanlı verimlilik hesapları yapmak ilk sırada yer almaktadır. Gelecekte, Endüstri 4.0'ın üretim tekniklerinde dijital dönüşümü hızlandırarak birçok sektörde çalışma kültürünü ve iş yapış şekillerini değiştireceği öngörülmektedir. Dolayısıyla, önerilen modelin, Türkiye'de tekstil sektöründe hazır-giyim alanında faaliyet gösteren firmalar için yol göstereceği umulmaktadır.

Literatür Değerlendirmesi

İş gücüne dayalı üretimin artık ihtiyaçları karşılayamadığı ve rekabet avantajı sunmadığı gözlemlenmektedir (Tosunoğlu, 2019:25). Endüstri 4.0, dijitalleşmeye dayalı yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımın temel amacı; dijital yeniliklerin sunduğu olanaklar ve avantajlarla birleşerek, üretim süreçlerini daha verimli, etkili ve kalıcı hale getirmektir (Dengiz, 2017:38). Bu bağlamda özellikle son yıllarda tekstil sektöründe dijitalleşme ve dijital dönüşümde öne çıkan çalışmalar paylaşılmıştır.

Chen ve Xing, siber fizik sistemi (CPS) ve nesnelere interneti (IoT) kavramlarının Endüstri 4.0'da önemli olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada endüstriyel gelişimin önündeki zorluklar tartışılmakta ve uygulama politikalarıyla ilgili tavsiyeler verilmektedir (Chen ve Xing, 2015:214). İlhan, çalışmada Endüstri 4.0 kavramını inceleyerek, tekstil sektörü üzerinde oluşturabileceği etkileri tartışmış ve farkındalık oluşturmayı amaçlamıştır (İlhan, 2019:810). Ghoreishi ve arkadaşları, nesnelere interneti kullanımının tekstil atığı toplama olanaklarını daha büyük döngüsel değer zincirlerine ve maksimum verimliliğe doğru nasıl çoğaltacağına dikkat çekmektedir (Ghoreishi vd., 2020:1). Özbek ve arkadaşları, Türkiye'de faaliyet gösteren tekstil firmalarının Endüstri 4.0'a karşı düşüncelerini ve faydalandıkları Endüstri 4.0 uygulamalarından beklentilerini belirlemek amacıyla bir anket çalışması yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; firmaların en fazla ERP teknolojilerinden faydalandıkları, yatırım maliyetlerinin yüksekliğinden dolayı firmaların yalnızca yüzde ellisinin Endüstri 4.0 uygulamaları için bütçe ayırdığı, tekstil sektöründe Endüstri 4.0'ın yapılabilir olduğuna inanıldığı, maliyetleri düşürmek ve verimliliği yükseltmek amacıyla bu uygulamalara bütçe ayırıldığı ve neticede, verimlilikte artış elde edildiği sonucuna varılmıştır (Özbek vd.,2021:255). Fromhold-Eisebith ve arkadaşları, Endüstri 4.0 unsurlarını, Almanya'daki teknik tekstil üretimi örneği üzerinde incelemişlerdir. Yeni dijital üretim teknolojilerinin uygulanmasını sağlayan ana unsurlar belirlenmiş ve gelecek için senaryo hazırlanmıştır. Son olarak, bazı politika tavsiyeleri sunulmuştur (Fromhold-Eisebith vd., 2021). Majumdar ve arkadaşları, Hindistan tekstil ve giyim sektöründe Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ve hayata geçirilmesine engel olan durumları belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda, politikacıların Hindistan tekstil ve giyim endüstrisinde Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ve uygulanmasına yönelik stratejiler belirlemelerine fayda sağlayacak önerilerden bahsedilmiştir (Majumdar vd.,2021). Olgun ve Turan, tekstil alanında Endüstri 4.0 uygulamaları ile ilişkili İstanbul'da faaliyette olan tekstil firmalarının personelleri ile iletişim kurularak 358 kişinin katılımı ile anket yapmıştır. Analiz sonucuna göre, Türk tekstil alanındaki şirketlerin Endüstri 4.0 olgusu farkındalık seviyesinin orta aralıkta seyrettiği ve şirketlerin etkinlik gösterdiği zamana, genişliğine (personel sayısına), üretim yapış biçimine ve ihracat faaliyeti gösterip göstermemesine göre önemli seviyede farklılıklara yol açtığı sonucuna varılmıştır (Olgun ve Turan, 2022:28). Sağbaş ve Özdil, Endüstri 4.0'ın konfeksiyon firmalarına entegrasyonunu incelemiş ve bu kapsamda akıllı bir imalat mekanizma modeli geliştirilmiştir (Sağbaş ve Özdil, 2022:434). Rathore, çalışmada, tekstil endüstrilerinde sürdürülebilirlikle alakalı genel bir incelemede bulunmuştur. İncelenen bulgular, avantajları ve dezavantajları belirlenerek eleştirel bir biçimde tartışılmıştır. Ayrıca, tekstilde ürün yaşam döngüsündeki en iyi uygulamaları anlamak ve üretim ve tüketim modellerini ileriye taşımak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu sonucuna ulaşılmıştır (Rathore,2023:38).

Endüstri 4.0 ve ilgili teknolojilerin, tekstil değer zincirlerinin ve tekstil üretim sistemlerinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynadığı ve üretimde kalite ile verimliliği arttırabilmenin temel anahtarlarından biri olduğu belirtilmektedir. (Rüßmann vd., 2015; İlhan, 2019:810; Görçün, 2018:136; Gökalp vd.,2018). Olgun ve Turan çalışmalarında tekstil sektörünün henüz Endüstri 4.0'a hazır olmadığına değinmiştir. Türkiye'deki tekstil sektöründe faaliyet gösteren firmaların, öncelikle mevcut durumlarını değerlendirmeleri ve buna dayanarak somut bir yol haritası oluşturmaları gerekmektedir (Tekstil Mühendisleri Odası, 2018; Olgun ve Turan, 2022:28). Türkiye ekonomisine önemli miktarda işgücü istihdamı sağlayan ve ekonomiye katkıda bulunan tekstil sektörü, Endüstri 4.0 sürecinden en çok etkilenecek sektörlerden biridir. Bu nedenle, Türk tekstil sektörünün Endüstri 4.0'ın temel teknolojilerini ve uygulamalarını doğru bir şekilde değerlendirmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede, Türkiye'deki tekstil sektöründe faaliyet gösteren firmalar için öncelikli Endüstri 4.0 teknolojileri ve uygulamaları için bir model önerilmektedir. Sunulan modelin, tekstil sektöründeki yöneticilere, hangi Endüstri 4.0 teknolojilerine ve uygulamalarına yatırım yapmaları gerektiği ve analitik bir karar destek sistemi geliştirmelerinde yardımcı olacağı düşünülmektedir. Özellikle çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemleri kullanılarak, farklı teknoloji seçeneklerinin kıyaslanması ve optimal çözümün belirlenmesi hususunda yapılan bu araştırmanın hem literatüre özgün bir katkı sağladığı, hem de bilindiği kadarıyla önerilen metodolojinin bu alanda ilk kez sunulması ile ileride yapılabilecek çalışmalara yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Materyal ve Yöntem

Bu bölümde, analizde kullanılan yöntemlerin teorik altyapısına yer verilmiştir. BWM, iki yönden bazı ilham ve aydınlanmalar getirmektedir: bunlardan biri, şemaların, tabloların ve diğer doğrusal araçların yardımıyla şema yönteminin düşünme ve analizde yaygın olarak kullanılabileceği, diğeri ise karar vericilerin önce en iyi ve en kötü kriterleri tanımlamaları ve daha sonra bu iki kriterin (en iyi ve en kötü) her biri ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapmalarınıdır (Rezaei, 2016:126; Mou vd., 2016:224). Ayrıca, BWM, diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre daha az sayıda karşılaştırma gerektirir, bu da karar vericilerin yükünü azaltmaktadır (Rezaei, 2016). ARAS yöntemi, çok kriterli karar verme probleminin modellenmesi sürecinde sağladığı kolaylık, kavramların mantıklı olması, en iyi alternatifin tespit edilmesi aşamasında basit matematiksel işlemlerin olması ve nispi ağırlıklar ile karşılaştırmaların yapılması olarak sıralanmaktadır (Shariati vd., 2014:410; Zavadskas & Turskis, 2010:159). Oldukça anlaşılabilir ve kolay uygulanabilir olan OCRA yöntemi ise, basit oransal hesaplamalar gerektirmesinden (Gülençer ve Türkoğlu,

2020) dolayı tercih edilmektedir. Çeşitli alanlarda analiz yapabilmek, birbirinden bağımsız karar ünitelerini değişik alanlarda karşılaştırabilmek ve değişik karar ünitelerini kıyaslayabilmek imkânı tanımaya bakımından olabildiğince elverişli ve kolay bir tekniktir. Çalışmada bütünlük metodun sunulma sebebi; BWM'nin hassasiyet ve tutarlılık, ARAS'ın basitlik, doğrudan sıralama yeteneği ve OCRA'nın rekabetçi performans değerlendirme özelliklerini bir araya getirerek çok yönlü ve kapsamlı bir değerlendirme sunulmasıdır. Yöntemlerin bir arada kullanılması ile, karar verme sürecinde daha güçlü, tutarlı ve kapsamlı sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır.

BWM Metodu

BWM, en iyi kriterin diğer kriterlere kıyasla ne kadar önem arz ettiğini ve diğer bütün kriterlerin (alternatiflerin) en kötü kriterlere göre ne kadar önem arz ettiğini belirlemeye yönelik bir karar verme metodudur. BWM metodunun uygulanması 5 adımdan oluşmaktadır (Rezaei, 2015:49; Çalık,2020:196).

Adım 1. Karar verme kriterleri tespit edilir.

Adım 2. Kriterler arasında en az önemli ve en önemli kriterler belirlenir.

Adım 3. En önemli kriterin diğer kriterlere göre ne kadar önemli olduğu 1-9 puan ölçeğine göre belirlenir. Sonuç vektörüne, en iyi-diğerleri vektörü ismi verilir ve $a_{Bj}=(a_{B1},a_{B2},...,a_{Bn})$ şeklinde gösterilir. Burada; a_{Bj} en önemli kriter b' 'nin j . kriterle kıyaslandığında ne kadar önem arz ettiğini göstermekte ve burada $a_{BB}=1$ olmaktadır.

Adım 4. Bütün kriterlerin en az önem sahibi olarak belirlenen kriterlere karşı ne kadar önemli olduğu 1-9 ölçeğiyle tespit edilir. Sonuç vektörü: $A_W=(a_{W1},a_{W2},...,a_{Wn})^T$ şeklinde ifade edilir.

a_{Wj} j . kriterin en önemsiz kriter w' 'ye göre ne kadar önemli olduğunu göstermekte ve $a_{WW}=1$ olmaktadır.

Adım 5. Optimum kriter ağırlıklarının ($w_1^*,w_2^*,...,w_n^*$) hesaplanması yapılır. Optimum ağırlıklar; en önemli kriterin diğer kriterlerle meydana getirdiği mutlak farklarla öbür kriterlerin en önemsiz kriterle meydana getirdiği mutlak farklardan yararlanarak $|w_B/w_j - a_{Bj}|$ ve $|w_j/w_W - a_{Wj}|$, \forall_j 'ye göre minimizasyonu yapılır.

min ξ_L

Öyle ki,

$$|w_{(en\ iyi)} - a_{(en\ iyi(j))} \cdot w_j| \leq \xi_L \text{ ve } \forall_j \text{ için} \quad (1)$$

$$|w_j - a_{jw} \cdot w_{(en\ kötü(j))}| \leq \xi_L \text{ ve } \forall_j \text{ için} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

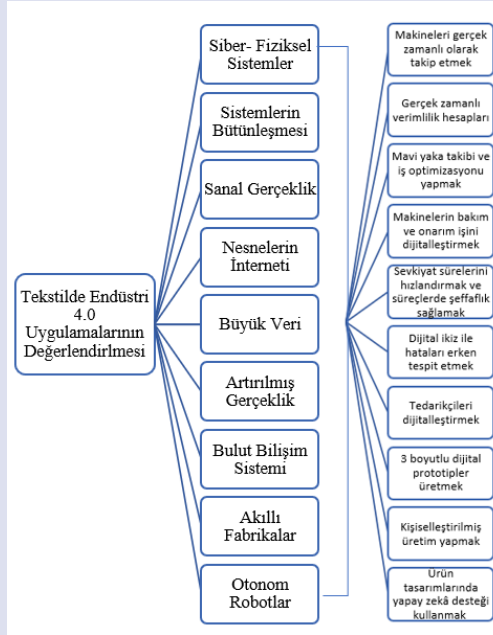
$$w_j \geq 0 \forall_j \text{ için}$$

Adım 6: Tutarlılık oranının hesaplanması. Karşılaştırmaların tutarlılık oranını kontrol etmek ve sonuçların güvenilir olmasını sağlamak için hesaplanır. Tutarlılık oranı ne kadar düşükse, karşılaştırmalar o kadar tutarlı olacaktır.

Çizelge 1. BWM Kullanılan İkili Karşılaştırma Ölçeği (Demir ve Bircan,2020:170)

Table 1. Pairwise Comparison Scale for BWM Method

Önem Derecesi	Kriterlerin Karşılaştırılması için Sözlü İfade
1	Eşit derecede önemli
2	Eşit olarak orta derecede önemli
3	Orta derecede daha önemli
4	Orta derecede çok daha önemli
5	Güçlü olarak önemli
6	Güçlü olarak çok önemli
7	Çok güçlü olarak önemli
8	Çok güçlü olarak daha önemli
9	Oldukça çok önemli



Resim 2. Hiyerarşik Yapı
Figure 2. Hierarchical Structure

ARAS Yöntemi

ARAS yöntemine göre yapılabilir alternatifin karışık göreceli verimliliğini tespit eden yarar fonksiyonunun değeriyle, projede belirlenen kriter değer ve ağırlıklarının göreceli etkisi arasında doğru bir orantı söz konusudur. ARAS Yönteminin uygulama adımları paylaşılmıştır (Zavadskas ve Turskis, 2010: 159).

Adım 1. Öncelikli olarak karar matrisi hazırlanmaktadır. İfade edilen karar matrisinde “m”, alternatifleri ve “n”, kriterleri göstermektedir. “ x_{ij} ” j kriterine kıyasla i alternatifinin faaliyet değeri belirir. “ x_{0j} ” ise j kriterinin optimal değeridir.

$$= \begin{bmatrix} x_{01} & \cdot & x_{0j} & \cdot & x_{0n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{i1} & \cdot & x_{ij} & \cdot & x_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & \cdot & x_{mj} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 0, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (3)$$

En iyi j kriter değeri belirlenmemişse;

$$\max_i x_{ij} \text{ seçilirse, } x_{0j} = \max_i x_{ij}$$

$$\min_i x_{ij}^* \text{ seçilirse, } x_{0j} = \min_i x_{ij}^* \text{ olur.}$$

Sıradaki kısımda, bütün kriterlerin ilk değerlerinin normalizasyonu yapılır. Normalleştirilmiş karar matrisi \hat{X} 'in, \hat{x}_{ij} değerleri belirlenir.

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdot & \hat{x}_{0j} & \cdot & \hat{x}_{0n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hat{x}_{i1} & \cdot & \hat{x}_{ij} & \cdot & \hat{x}_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hat{x}_{m1} & \cdot & \hat{x}_{mj} & \cdot & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; i = 0, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (4)$$

Adım 2. Belirlenen değerleri maksimum olan kriterlerin şu şekilde normalizasyonu yapılır:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (5)$$

Belirlenen değerleri minimum kriterler, iki bölümden oluşan bir yol izlenerek normalleştirilir:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}; \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (6)$$

Adım 3. Normalleştirilmiş ağırlıklı matrisi \hat{X} 'i tanımlamaktadır. $0 < w_j < 1$ şeklinde ağırlıkları olan kriterler incelenebilir. Ağırlıklar toplamı w_j bu biçimde kısıtlanacaktır:

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

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdot & \hat{x}_{0j} & \cdot & \hat{x}_{0n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hat{x}_{i1} & \cdot & \hat{x}_{ij} & \cdot & \hat{x}_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hat{x}_{m1} & \cdot & \hat{x}_{mj} & \cdot & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; i = 0, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Bütün kriterlerin normalleştirilmiş ağırlıklı değerleri şu şekilde hesaplanır:

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j; i = 0, \dots, m \quad (7)$$

Üstteki eşitlikte görülen “ w_j ” j kriterinin ağırlığını ve “ \bar{x}_{ij} ”, j kriterinin normalizasyon değerini ifade etmektedir.

Adım 4. Eşitlik 8 optimal fonksiyon değerlerini tanımlamaktadır:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; i = 0, \dots, m \quad (8)$$

S_i , i alternatifinin optimal fonksiyonunun değerini göstermektedir. Alternatiflerin önem sıralaması S_i değerine bakılarak saptanabilir. İncelenen değişken, ideal en iyi S_0 ile karşılaştırılır ve alternatif yarar seviyesi belirlenir. Alternatif bir a'nın yarar seviyesi K_i 'nin hesap işlemi konusunda faydalanılan eşitlik alt tarafta gösterilmiştir:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = 0, \dots, m \quad (9)$$

Adım 5. K_i değerleri [0,1] arasındadır. Eşitlikte gösterilen S_i ve S_0 optimalite kriter değerleridir. Alternatifler K_i değerleri göz önünde bulundurularak sıralanır.

Çizelge 2. Kriter Açıklamaları

Table 2. Explanation of Criteria

Ana Kriterler	Açıklama
Nesnelerin interneti (K1)	Üretimde nesnelerin, makinelerin ve verilerin birbirine bağlanarak senkronize bir şekilde çalışması, iş birliği halinde olmasıdır. Araçlar ile bulut arasındaki ve araçların kendi içlerindeki iletişimi sağlayan bağlantılı araçlar ve teknolojiler ağının tümünü ifade etmektedir.
Siber-fiziksel sistemler (K2)	Herhangi bir fiziksel mekanizmanın (örneğin üretim hattı) bilgisayar tabanlı algoritmalar vasıtasıyla gözlemlendiği sistemlerdir.
Büyük veri (K3)	İnternet istatistikleri, internette akla gelebilecek bütün kayıtlar, sosyal medya içerikleri ve benzer aygıtlardan ulaşılan her türlü veriden meydana gelmektedir. Büyük hacimli veriler ağı olarak da tanımlanabilir
Otonom robotlar (K4)	Üretim esnasında yapılan bazı işlemler, bir yerden bir yere malzeme taşınması gibi işleri yapan robotlar bulunmakta ve üretimi kolaylaştırmaktadır.
Sistemlerin bütünleşmesi (K5)	Fabrikalarda bulunan sistemlerin bir araya getirilerek, bütünleştirilmesi, endüstriyel internet üzerinden birbirine bağlanması demektir. Böylece, tek bir sistem halinde senkronize şekilde çalışmalarını sürdürürler.
Sanal gerçeklik (K6)	Herhangi bir sistemin ya da sürecin bilgisayarda yani sanal ortamda modellenmesine denir. Üretim, planlama, kalite kontrol, tasarım gibi fabrikanın çoğu sürecinde sanal gerçekliğin kullanılması büyük avantaj sağlamaktadır.
Artırılmış gerçeklik (K7)	Dijital teknolojilerden ortaya çıkan güncel bir ürün, gerçek hayatta görülen çevrenin getirdiği koşulların bilgisayar yardımıyla meydana getirilen görüntü, ses ve benzeri bilgilerle harmanlanarak ortaya çıkarılan sanal görüntüler, artırılmış gerçekliği tanımlamaktadır.
Bulut bilişim sistemi (K8)	Teknolojik aletler arasında mekâna bakılmaksızın, ortak bilgi paylaşımını kuran sistemlerdir. Elde edilen bütün verilerin sanal bir sunucu olan bulutta depolanması bu bilgi paylaşımını mümkün kılar.
Akıllı Fabrikalar (K9)	Etkin bir insan-makine etkileşiminin olduğu, teknolojinin avantajlarından faydalanarak üretimin kolaylaştırıldığı ve sürdürülebilir olduğu, nesnelerin interneti ve bulut bilişim sistemi gibi teknolojileri içinde barındıran ve kendi yönetimini sağlayabilen fabrikalardır

Çizelge 3. Alternatif Açıklamaları

Table 3. Explanation of Alternatives

Alternatif Uygulamalar	Açıklama
Makineleri gerçek zamanlı olarak takip etmek (A1)	Fabrikadaki makinelerin sağlık durumları ve üzerinde çalıştıkları işlerle ilgili güncel bilgilerin operatörler tarafından takip edilmesi, sahada hakimiyeti artırır.
Gerçek zamanlı verimlilik hesapları yapmak (A2)	Üretim ortamından elde edilen tüm verilerin anlık olarak aktarılması ve işlenmesi, üretim performansının gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlar ve planlanandan sapmalar anında tespit edilerek gerekli önlemler alınabilir.
Mavi yaka takibi ve iş optimizasyonu yapmak (A3)	Üretim tesisinde, çalışanların konum bilgisi haftalık veya aylık olarak toplanarak, tezgah başında veya bilgisayarda geçirilen süreler ölçülerek, üretimi yavaşlatan alanlar belirlenebilir.
Makinelerin bakım ve onarım işini dijitalleştirmek (A4)	Makinalardan gelen normal gözükmeyen veriler, potansiyel arıza işaretleri olarak algılanır ve ilgili departmanlara iletilerek bakım veya onarım için önlem alınması sağlanarak makinelerin durma süreleri azaltılır
Sevkiyat sürelerini hızlandırmak ve süreçlerde şeffaflık sağlamak (A5)	Sevkiyat sürelerinin azaltılması ve maliyetlerin düşürülmesiyle elde edilecek avantajlar, uluslararası rekabet ortamında avantaj sunar.
Dijital ikiz ile hataları erken tespit etmek (A6)	Dijital ikiz, bir ürünün tasarımından müşteriye teslimine kadar tüm üretim sürecinin dijital ortamda sanal bir şekilde tanımlanmasıdır. Bu sayede ürünün gerçek ortamdaki döngüsü, paralel ve sanal olarak takip edilir ve kontrol edilir.
Tedarikçileri dijitalleştirmek (A7)	Teslimat zamanlamalarında ve performans problemlerinde ortaya çıkabilecek sorunlar önceden tespit edildiğinde, verimliliği artırıcı anlık kapasite artışları veya sorun giderici müdahaleler gerçekleştirilebilir.
3 boyutlu dijital prototipler üretmek (A8)	3 boyutlu dijital prototiplerin üretilmesi, yeni ürün geliştirme süreçlerini kısaltmanın yanı sıra müşterilerle paylaşım için üretilen fiziksel prototip/numune ihtiyacını azaltacak ve şirketlerin çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmasını sağlayacaktır.
Kişiselleştirilmiş üretim yapmak (A9)	Teknoloji çözümleri ile müşteriler ve üretim bandı arasında bağlantı kurmak ve ürünleri müşterilerin taleplerine hitap edecek biçimde kişiselleştirebilmek.
Ürün tasarımlarında yapay zekâ desteği kullanmak (A10)	Yapay zeka modelleri, müşterilerin tercihlerini çok iyi analiz ederek beğenecekleri tarzda kumaş ve kıyafetler tasarlayarak tasarım sürecine kolaylık sağlar.

Çizelge 4. Kriter Önem Ağırlıkları

Table 4. Weights of Criteria

Kriterler	Önem Ağırlıkları
Sistemlerin bütünleşmesi	0,264
Büyük veri	0,162
Akıllı fabrikalar	0,117
Nesnelerin İnterneti	0,097
Siber-Fiziksel Sistemler	0,082
Otonom robotlar	0,076
Sanal gerçeklik	0,074
Artırılmış gerçeklik	0,070
Bulut bilişim sistemi	0,059

BMW Yöntemi ile Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi

Endüstri 4.0 teknolojileri belirlendikten sonra, en önemli ve en az önemli kriterler sektörde 5-10 yıl arasında deneyime sahip 3 karar vericinin görüşüne göre belirlenmiştir. Bu karar vericilerin 2'si üretim müdürü diğeri de bilgi teknolojilerinde görevli uzmandır. Karar vericiler operasyonel süreçler ve bu süreçlerin teknik alanlarını göz önünde bulundurarak değerlendirmişlerdir. Çalışma kısıtlarından biri, sınırlı karar verici grubudur. Rezaei (2015), BMW'nin etkinliğini inceleyen çalışmada, güvenilir sonuçlar elde edebilmek için en az 3 ila 7 uzmanın görüşlerinin alınması gerektiğini belirtmiştir. Rezaei vd., 2016 ise, çalışmada BMW'nin çeşitli uygulamalarında en az 3 karar vericinin yeterli olduğunu ve bu sayının sonuçların tutarlılığını ve güvenilirliğini sağlamak için yeterli bilgi sağladığını belirtmişlerdir. Karar vericiler önerilen modeldeki en önemli ve en az önemli kriterleri belirlemiştir. Sonrasında bu kriterler modeldeki diğer kriterler ile ikili karşılaştırılmıştır. İkili karşılaştırma yapılırken Çizelge 1'deki ölçek göz önünde bulundurulmuştur. Modelde tanımlanan koşullar sağlandıktan sonra elde edilen amaç fonksiyonu ve kısıtlarla ilgili bir matematiksel model yazılmıştır. Tüm kriterler için tercih dereceleri belirlendikten sonra, optimize edilmiş ağırlıklar Excel Solver eklenti programı kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplanan tutarlılık oranına göre karşılaştırmaların tutarlı olduğu ortaya çıkmıştır. Kriterler için optimize edilmiş ağırlıklar Çizelge 4'te gösterilmiştir. Yöntemin güvenilirliği, tutarlılık oranlarının sıfıra olan yakınlık derecesiyle ölçülmektedir. Hesaplanan tutarlılık oranı 0,096 olarak elde edilmiştir. Tutarlılık oranının sıfıra yakın olması, yöntemin güvenilir olduğunu göstermektedir.

BMW yöntemiyle yapılan hesaplamaların ardından Endüstri 4.0 teknolojilerinin önem sıralamasında en önemli kriter, sistemlerin bütünleşmesi kriteri iken, sırayla büyük veri,

akıllı fabrikalar, nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler, otonom robotlar, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve en az önemli kriter bulut bilişim sistemi olarak gözlenmiştir. Her çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da bazı kısıtlar mevcuttur. Çalışma hazır-giyim alanında faaliyet gösteren Endüstri 4.0 sürecine yeni uyum sağlamaya çalışan işletmeleri kapsamaktadır. 3 karar vericinin görüşlerinin sektörün tamamını temsil etmediği ve daha geniş bir katılımın daha kapsamlı sonuçlar sağlayabileceği söylenebilir. Şirketler henüz yeni Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlamaya çalışmaktadır. Bu süreçte, yeterli nitelikte karar verici seçilmesi çalışmanın tutarlılığı açısından da önemlidir. Bu çalışmada 3 kişilik karar verici grubu yeterli görülmüş olsa da, bu çalışmanın sonuçları gelecekte daha geniş karar verici katılımı ile yapılacak çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılabilir.

ARAS Yöntemi Alternatiflerin Sıralanması

Adım 1. 1 (Çok Zayıf)- 5 (Çok İyi) ölçeği dikkate alınarak kriterlere göre alternatifler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda 3 karar vericinin verdiği değerlerin geometrik ortalaması alınmış ve tüm kriterlerin fayda yönlü (max) olduğu karar matrisinde Çizelge 5'te yer gösterilmiştir.

Karar matrisine kriter ağırlıklarının yer aldığı bir satır ve kriterler için optimum değerlerin bulunduğu yeni bir satır eklenmiştir. Fayda kriterlerinde maksimum değerlerin bulunduğu sütunlar belirlenmiştir. Oluşturulan yeni karar matrisi Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması için öncelikle maliyet odaklı kriterler normalizasyona uygun hale getirilir. Önerilen modelde tüm kriterler fayda yönlü olduğundan bu adım geçilmiştir. Fayda Yönlü Dönüştürülmüş Karar Matrisi de Çizelge 6 ile aynıdır.

Adım 2. Çizelge 6 için normalizasyon işlemi yapılır. Oluşturulan normalize karar matrisi Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Karar Matrisi

Table 5. Decision Matrix

Alternatifler/Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A1	4,162	4,162	4,229	4,472	4,472	3,936	3,464	4,472	4,729
A2	3,936	4,472	5,000	4,472	4,729	4,729	4,229	4,401	4,729
A3	3,464	4,729	3,409	4,229	4,729	3,080	3,130	3,464	3,722
A4	4,229	3,722	3,364	3,936	4,472	4,229	4,000	3,464	4,472
A5	2,449	2,340	3,663	3,761	3,464	2,711	3,464	3,936	4,729
A6	4,162	3,224	4,729	4,229	3,663	4,229	3,936	3,936	4,729
A7	4,229	3,663	3,663	3,663	3,761	3,722	3,464	3,557	4,729
A8	2,913	3,130	2,449	3,936	3,080	3,936	3,873	2,913	3,936
A9	2,828	3,364	2,632	3,409	2,913	3,464	3,722	3,663	3,936
A10	3,000	3,936	4,162	3,761	3,663	4,472	4,729	3,557	4,472

Çizelge 6. Optimum Değerlerin Belirlendiği Karar Matrisi

Table 6. Decision Matrix with Optimum Values

Alternatifler/Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
W	0,097	0,082	0,162	0,076	0,264	0,074	0,070	0,059	0,117
Optimum	4,229	4,729	5,000	4,472	4,729	4,729	4,729	4,472	4,729
A1	4,162	4,162	4,229	4,472	4,472	3,936	3,464	4,472	4,729
A2	3,936	4,472	5,000	4,472	4,729	4,729	4,229	4,401	4,729
A3	3,464	4,729	3,409	4,229	4,729	3,080	3,130	3,464	3,722
A4	4,229	3,722	3,364	3,936	4,472	4,229	4,000	3,464	4,472
A5	2,449	2,340	3,663	3,761	3,464	2,711	3,464	3,936	4,729
A6	4,162	3,224	4,729	4,229	3,663	4,229	3,936	3,936	4,729
A7	4,229	3,663	3,663	3,663	3,761	3,722	3,464	3,557	4,729
A8	2,913	3,130	2,449	3,936	3,080	3,936	3,873	2,913	3,936
A9	2,828	3,364	2,632	3,409	2,913	3,464	3,722	3,663	3,936
A10	3,000	3,936	4,162	3,761	3,663	4,472	4,729	3,557	4,472

Çizelge 7. Normalize edilmiş karar matrisi

Table 7. Normalised decision matrix

Alternatifler/Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
W	0,097	0,082	0,162	0,076	0,264	0,074	0,070	0,059	0,117
Optimum	4,229	4,729	5,000	4,472	4,729	4,729	4,729	4,472	4,729
A1	0,118	0,113	0,113	0,112	0,115	0,102	0,091	0,120	0,107
A2	0,111	0,122	0,134	0,112	0,121	0,123	0,111	0,118	0,107
A3	0,098	0,129	0,091	0,106	0,121	0,080	0,082	0,093	0,084
A4	0,120	0,101	0,090	0,099	0,115	0,110	0,105	0,093	0,101
A5	0,069	0,064	0,098	0,094	0,089	0,070	0,091	0,105	0,107
A6	0,118	0,088	0,127	0,106	0,094	0,110	0,104	0,105	0,107
A7	0,120	0,100	0,098	0,092	0,097	0,097	0,091	0,095	0,107
A8	0,082	0,085	0,066	0,099	0,079	0,102	0,102	0,078	0,089
A9	0,080	0,092	0,071	0,085	0,075	0,090	0,098	0,098	0,089
A10	0,085	0,107	0,112	0,094	0,094	0,116	0,124	0,095	0,101

Çizelge 8. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

Table 8. Weighted normalised decision matrix

Alternatifler/Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
W	0,097	0,082	0,162	0,076	0,264	0,074	0,070	0,059	0,117
Optimum	0,409	0,390	0,808	0,338	1,247	0,349	0,331	0,265	0,553
A1	0,011	0,009	0,018	0,008	0,030	0,008	0,006	0,007	0,013
A2	0,011	0,010	0,022	0,008	0,032	0,009	0,008	0,007	0,013
A3	0,009	0,011	0,015	0,008	0,032	0,006	0,006	0,005	0,010
A4	0,012	0,008	0,015	0,007	0,030	0,008	0,007	0,005	0,012
A5	0,007	0,005	0,016	0,007	0,023	0,005	0,006	0,006	0,013
A6	0,011	0,007	0,020	0,008	0,025	0,008	0,007	0,006	0,013
A7	0,012	0,008	0,016	0,007	0,025	0,007	0,006	0,006	0,013
A8	0,008	0,007	0,011	0,007	0,021	0,008	0,007	0,005	0,010
A9	0,008	0,008	0,011	0,006	0,020	0,007	0,007	0,006	0,010
A10	0,008	0,009	0,018	0,001	0,025	0,009	0,009	0,006	0,012

Çizelge 9. Optimallik fonksiyon ve fayda değerleri

Table 9. Optimality function and utility values

	Si	Ki	Sıralama
Optimum	4,690	1,000	
Makineleri gerçek zamanlı olarak takip etmek (A1)	0,111	0,024	2
Gerçek zamanlı verimlilik hesapları yapmak (A2)	0,119	0,025	1
Mavi yaka takibi ve iş optimizasyonu yapmak (A3)	0,102	0,022	5
Makinelerin bakım ve onarım işini dijitalleştirmek (A4)	0,105	0,022	4
Sevkiyat sürelerini hızlandırmak ve süreçlerde şeffaflık sağlamak (A5)	0,089	0,019	8
Dijital ikiz ile hataları erken tespit etmek (A6)	0,106	0,023	3
Tedarikçileri dijitalleştirmek (A7)	0,100	0,021	6
3 boyutlu dijital prototipler üretmek (A8)	0,084	0,018	9
Kişiselleştirilmiş üretim yapmak (A9)	0,083	0,018	10
Ürün tasarımlarında yapay zekâ desteği kullanmak (A10)	0,095	0,020	7

Çizelge 10. Sonuçların karşılaştırılması
Table 10. Comparison of results

Endüstri 4.0 Uygulamaları	ARAS	OCRA
Makineleri gerçek zamanlı olarak takip etmek (A1)	2	2
Gerçek zamanlı verimlilik hesapları yapmak (A2)	1	1
Mavi yaka takibi ve iş optimizasyonu yapmak (A3)	5	3
Makinelerin bakım ve onarım işini dijitalleştirmek (A4)	4	5
Sevkiyat sürelerini hızlandırmak ve süreçlerde şeffaflık sağlamak (A5)	8	8
Dijital ikiz ile hataları erken tespit etmek (A6)	3	4
Tedarikçileri dijitalleştirmek (A7)	6	7
3 boyutlu dijital prototipler üretmek (A8)	9	9
Kişiselleştirilmiş üretim yapmak (A9)	10	10
Ürün tasarımlarında yapay zekâ desteği kullanmak (A10)	7	6

Adım 3. Bu aşamada, önceden belirlenen BWM yöntemiyle tespit edilen kriter ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulur. Elde edilen bu yeni karar matrisi Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Adım 4-5. Optimallik fonksiyon değerleri hesaplandıktan sonra her bir alternatifin fayda dereceleri belirlenmiştir. Alternatiflerin optimallik fonksiyon değerleri (Si) ve fayda dereceleri (Ki) Çizelge 9'da gösterilmiştir. Son olarak, Ki değerleri büyükten küçüğe sıralanmış ve 3 alternatif arasındaki sıralama Çizelge 9'da paylaşılmıştır.

Sıralama sonuçlarına göre, tekstilde en önemli uygulama gerçek zamanlı verimlilik hesaplamaları yapmak, en az önemli ise, kişiselleştirilmiş üretim yapmak olarak ortaya çıkmıştır. Sonrasında sıralamayı, makineleri gerçek zamanlı olarak takip etmek ve dijital ikiz ile hataları erken tespit etmek olarak ortaya çıkmıştır. Gerçek zamanlı verimlilik hesaplamaları yapmak, üretim ortamından elde edilen tüm verilerin anlık olarak aktarılması ve işlenmesiyle üretim performansının gerçek zamanlı olarak izlenmesine ve planlanan sapmaların anında tespit edilerek gerekli önlemlerin alınmasına olanak sağlamaktadır. Diğer bir seçenek olan kişiselleştirilmiş üretim ise, teknoloji çözümleri aracılığıyla müşterilerle ve üretim bandıyla bağlantı kurarak ürünleri müşterilerin taleplerine göre kişiselleştirebilme yeteneği sağlamaktadır. Bulgular, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve uygulamalarının, üretim süreçlerini optimize etmek, verimliliği artırmak, maliyetleri azaltmak ve ürün kalitesini yükseltmek için büyük potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle, gerçek zamanlı veri analizi, otomasyon ve dijital ikiz gibi teknolojilerin tekstil sektöründe önemli faydalar sağlayabileceği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, çalışma sonuçlarının hazır-giyim sektöründe henüz sürece yeni adapte olmaya çalışan orta ölçekli işletmeler için dikkate alınması önemlidir. Sektör genelinde değerlendirme yapabilmek için karar verici grup ve işletme sayısının artırılması daha anlamlı sonuçlar verecektir.

Sonuçların Karşılaştırılması

Çalışma bulgularının güvenilirliğini doğrulamak için sonuçlar OCRA yöntemi ile karşılaştırılmış ve büyük oranda sıralamaların benzemekle birlikte, ufak farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu farklılığın, yöntemlerin hesaplama

süreçlerindeki farklılıklar, kriter ağırlıkları ve normalizasyon süreçleri, yöntemlerin odaklandığı alanlar ve analitik yaklaşımlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Tablo 10 'da ARAS ve OCRA yöntemi ile elde edilen sıralamalar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Sonuç

Küresel rekabet ortamında ayakta kalabilmek için dijital dönüşümün getirdiği teknolojileri ve uygulamaları kısa sürede benimsemek ve doğru seçim yapmak büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, ülkemizde tekstil sektöründe hazır-giyim alanında faaliyet gösteren firmalara Endüstri 4.0 yolculuğunda yol göstermek amacı ile bir karar model önerisi geliştirilmiştir. Bu değerlendirme, tekstil işletmelerinin bu teknolojileri nasıl benimseyebilecekleri, mevcut süreçlerini nasıl iyileştirebilecekleri ve rekabet avantajı elde edebilecekleri hususlarında yardımcı olacaktır.

Elde edilen bulgulara göre, Endüstri 4.0 teknolojileri değerlendirildiğinde, en önemli teknoloji sistemlerin bütünleşmesi kriteri iken, büyük veri, akıllı fabrikaları bu sıralamaya takip etmektedir. Bulut bilişim sistemi ise, en az öneme sahip teknoloji olarak gözlenmiştir. Tekstil üretiminde sistemlerin bütünleşmesi, verimliliği artırabilir ve maliyetleri düşürebilir. Üretim süreçlerinin farklı aşamaları arasında sorunsuz bir veri akışı sağlanarak işletme içindeki verimlilik artırılabilir. Tedarik zinciri yönetimini optimize etme ve lojistik süreçlerde iyileştirmeler yapma imkânı sunar. Bu, malzeme tedarikinden ürün dağıtımına kadar olan süreçlerin daha verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Büyük veri analitiği, tekstil işletmelerine geniş çapta veri analizi yapma ve bu verilerden anlamlı bilgiler çıkarma imkânı sunar. Satış trendleri, talep tahminleri, envanter yönetimi ve üretim optimizasyonu gibi alanlarda karar verme süreçlerini hızlandırabilir ve daha doğru kararlar alınmasını sağlayabilir. Akıllı fabrikalar, tekstil işletmelerine müşteri taleplerine hızlı yanıt verme ve özelleştirilmiş ürünler sunma yeteneği kazandırır. Bu, müşteri memnuniyetini artırır ve müşteri sadakatini güçlendirir. Müşteri isteklerine daha hızlı ve doğru bir şekilde yanıt veren işletmeler, pazar rekabetinde avantaj elde ederler. Ayrıca, akıllı fabrikalar, tekstil sektöründe sürdürülebilirlik faaliyetlerini destekleyebilir. Üretim süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi ve atıkların azaltılması, çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olabilir. Tedarik zinciri yönetimindeki iyileştirmeler ile, taşıma ve

depolama süreçlerinin daha çevre dostu hale getirilmesine katkı sağlayabilir.

Tekstilde Endüstri 4.0 uygulamalarında, en önemli kriter ise, gerçek zamanlı verimlilik hesaplamaları olarak gözlenmiştir. Sonrasında, makineleri gerçek zamanlı olarak takip etmek, dijital ikiz ile hataları erken tespit etmek sıralamayı takip etmektedir. Gerçek zamanlı verimlilik hesaplamaları, üretim süreçlerinin anlık olarak izlenmesini ve analiz edilmesini sağlar. Bu sayede, üretimdeki verimlilik boşlukları hızlı bir şekilde belirlenir ve iyileştirme fırsatları ortaya çıkar. Verimliliğin artması, işletmenin daha az kaynakla daha fazla üretim yapmasını sağlar ve maliyetleri düşürür. Makinelerin gerçek zamanlı takibi, performanslarının izlenmesini ve olası arızaların erken tespit edilmesini sağlar. Bu sayede, makinelerin çalışma verimliliği artar ve beklenmedik arızaların önüne geçilir. Ayrıca, düzenli bakım gereksinimleri belirlenerek makinelerin ömrü uzatılabilir. Makinelerdeki hataların erken tespiti, üretim sürekliliğini sağlar. İşletmeler, potansiyel sorunları önceden belirleyerek üretimdeki aksamaları minimum seviyeye indirebilir ve teslimat sürelerini karşılamak için daha güvenilir bir planlama yapabilir. Bu da marka itibarını korur ve rekabet avantajı sağlar. Dijital ikiz, gerçek üretim sürecini simüle eden sanal bir modeldir. Bu model, ürünlerin üretim sürecindeki her aşamada izlenebilir ve hataların erken tespit edilmesine olanak tanır. Bu sayede, kalite kontrolü artırılır ve hatalı ürünlerin üretimi engellenir. Bu teknolojiler, işletmelerin sürekli olarak süreçlerini iyileştirmelerine ve yenilikçi çözümler geliştirmelerine olanak tanır.

Bu çalışma, tekstil endüstrisinin dijital dönüşüm sürecindeki rolünü anlamak, bu süreçte gerekli teknolojileri ve uygulamaları değerlendirip doğru karar vermek amacıyla önem arz etmektedir. Çalışmanın sonuçlarının, tekstil sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve uygulamalarının önemi konusunda genel bir anlayış ve karar modeli sunarak sektördeki karar vericilere yardımcı olması umulmuştur. Endüstri 4.0 teknolojileri ve uygulamaları, tekstil sektöründe önemli bir dönüşümü mümkün kılmaktadır. Bu dönüşüm sürecinde işletmelerin, teknolojiyi etkin bir şekilde kullanarak rekabet avantajı elde etmeleri ve sektördeki lider konumlarını korumaları beklenmektedir. Ayrıca, Endüstri 4.0 teknolojileri sayesinde tekstil işletmeleri, müşteri taleplerine daha hızlı ve esnek bir şekilde yanıt verebilmekte ve özelleştirilmiş ürünler sunabilmektedir. Büyük veri analitiği ve yapay zeka gibi araçlar, tüketici davranışlarını analiz etme ve pazarlama stratejilerini optimize etme konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Her çalışmada olduğu gibi bu çalışma da bazı kısıtlara sahiptir. Bu çalışmada, henüz yeni Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlamaya çalışan 2 kurum göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır. Diğer önemli kısıt, karar analizlerinde 3 kişi yeterli olsa da kapsamlı yapılacak sektör değerlendirmelerinde karar verici sayısının artırılması gerekliliğidir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular araştırmaya katılan uzmanların görüşlerini yansıttığından dolayı bu sonuçlar genelleştirilmemelidir. Özellikle subjektif (uzman görüşüne dayanan) ÇKKV yöntemleri sonucunda ulaşılan bulgular araştırmaya katılan uzmanların görüşleri ile sınırlıdır. Gelecekte araştırmacılar bu kısıtları göz önünde bulundurarak değerlendirme yapmalıdır.

Türk tekstil sektörü, dünya pazarında rekabet gücünü artırmak için Endüstri 4.0 teknolojilerine uyum sağlamaya çalışırken Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde şirketler dijital

dönüşüm yol haritalarını belirlerken kullanmaları gereken teknoloji ve uygulamalar ile ilgili bir karar vermelidir. Gelecek çalışmalara yönelik olarak, önerilen modelin kapsamının genişletilerek sunulmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Her ne kadar hazır-giyim özelinde bir değerlendirme yapılsa da, tekstil alt sektörlerinde farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu bağlamda, alt sektörlerin de sürece uyum ve gereksinimlerinin karşılanması önerilebilir. Ayrıca, firmalar özelinde önceliklerin değişebileceği öngörülebilir. Önerilen model kullanılarak, daha yüksek sayıda firmanın Endüstri 4.0 altyapı durumları ve dijital dönüşüm performansları karşılaştırılabilir.

Extended Abstract

Industry 4.0 represents the integration of digitization and automation into production processes, significantly impacting various sectors, especially those that rely on labor-intensive production. Labor-intensive production is no longer able to meet needs and offer a competitive advantage (Tosunoğlu, 2019:25; Rüßmann et al., 2015:54). Industry 4.0 represents an innovative approach based on digitization. The primary goal of this approach is to make production processes more efficient, effective, and sustainable by combining the opportunities and advantages offered by digital innovations (Dengiz, 2017:38). Industry 4.0 aims for progress in industry and aims for automation and computerization at all stages of production.

Industry 4.0 has also led to significant transformations in the textile sector (Kamble et al., 2018:107). Just like in many other sectors, companies in the textile sector must implement Industry 4.0 correctly in their systems to keep up with evolving technology and competitors. The technologies introduced by Industry 4.0 in the textile sector include pattern formation, designing, the use of computer equipment in cutting, wearable technologies, and advanced material transportation systems. With virtual reality, cutting, assembly, and sewing processes have been combined in a single stage through 3D printing technology, saving time. Production model restrictions have been eliminated, and customization has become possible. The integration of Industry 4.0 into textiles aims to achieve optimal material flow in all processes such as production, distribution, and supply. Internet of Things and machine learning technologies enable companies to better analyze their production processes and increase efficiency using data. It has been observed that the innovations in Industry 4.0 generally improve companies' systems and increase process efficiency, leading to growth. In addition to the high demand for labor in textiles, the increasingly dominant role of buyers in recent years has necessitated a reorganization of processes in manufacturing. Recently, buyers prefer to purchase personalized and functional products tailored to their individual needs rather than ordinary products. For these reasons, it is important for companies operating in the textile sector to renew their production processes to meet customer needs in the future (Olgun et al., 2022:28).

This study aims to evaluate Industry 4.0 technologies and their applications in the textile sector, proposing a decision model. Adapting to the changes induced by Industry 4.0 in the textile sector to enhance productivity is paramount. How Industry 4.0 technologies are implemented holds vital

importance for companies. In this research, nine Industry 4.0 technologies have been identified by synthesizing literature and industry reports to delineate key elements for implementing Industry 4.0 in the textile sector. These technologies encompass the Internet of Things, cyber-physical systems, big data, autonomous robots, system integration, virtual reality, augmented reality, cloud computing systems, and smart factories. The Best Worst Method (BWM) was employed to assess Industry 4.0 technologies, a decision-making approach aimed at determining the relative importance of criteria by comparing the best criterion to others and the worst criterion to alternatives. The most significant and least significant criteria were determined. Subsequently, preferences for the most crucial criterion in comparison to all others and preferences for other criteria relative to the least important one were assessed on a scale of 1-9. After establishing preference degrees for all criteria, the optimized weights of the criteria were derived using Excel Solver. The outcomes of 10 Industry 4.0 applications were juxtaposed using the ARAS and OCRA methods.

According to the findings, after calculations using the BWM method, the most important criterion in the ranking of technological systems is system integration. Following that, in order of importance, are big data, smart factories, the Internet of Things, cyber-physical systems, autonomous robots, virtual reality, augmented reality, and the least important criterion, cloud computing systems. According to the ranking results, the most important application in textiles is making real-time efficiency calculations, and the least important is personalized production. Following that, the ranking reveals monitoring machines in real-time and detecting errors early with a digital twin. System integration in textile production can increase efficiency and reduce costs. Seamless data flow between different stages of production can increase efficiency within the enterprise. Making real-time efficiency calculations allows production performance to be monitored in real-time by transferring and processing all data obtained from the production environment instantly, enabling the identification of planned deviations and the implementation of necessary measures. The alternative of personalized production facilitates the establishment of a connection between customers and the production line using technology solutions and enables the customization of products to meet customers' demands.

In the near future, Industry 4.0 is predicted to trigger a digital transformation in production techniques, changing work culture and methods in many sectors. Therefore, it is hoped that the proposed model will guide firms operating in the textile sector in Türkiye. In order to survive in the global competitive environment, it is of great importance to quickly adopt the technologies and applications brought by digital transformation and make the right choices. In this study, it is aimed to guide companies operating in the textile sector in our country on the journey of Industry 4.0 and to evaluate Industry 4.0 technologies and applications for the textile sector using the proposed model. This evaluation will help textile businesses in adopting these technologies, improving their existing processes, and gaining a competitive advantage. In conclusion, this study is important for understanding the role of the textile industry in the digital transformation process and evaluating and making the right

decisions regarding the necessary technologies and applications during this process. Industry 4.0 technologies and applications enable a significant transformation in the textile sector. In this transformation process, it is expected that companies will maintain their leading positions in the industry by effectively using technology to gain a competitive advantage. Additionally, thanks to Industry 4.0 technologies, textile companies can respond to customer demands more quickly and flexibly and offer customized products. Tools such as big data analytics and artificial intelligence play a significant role in analyzing consumer behavior and optimizing marketing strategies.

For future studies, it would be useful to extend the scope of the proposed model. In addition, although a sector-specific evaluation is made, it can be predicted that priorities may change on a company-specific basis. With the proposed model, the Industry 4.0 infrastructure status and digital transformation performances of companies can be compared.

Katkı Oranları ve Çıkar Çatışması / Contribution Rates and Conflicts of Interest

Etik Beyan	Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.	Ethical Statement	It is declared that scientific and ethical principles have been followed while carrying out and writing this study and that all the sources used have been properly cited
Yazar Katkıları	Çalışmanın Tasarlanması: EEN (%100) Veri Toplanması: EEN (%100) Veri Analizi: EEN (%100) Makalenin Yazımı: EEN (%100) Makale Gönderimi ve Revizyonu: EEN (%100)	Author Contributions	Research Design: EEN (%100) Data Collection: EEN (%100) Data Analysis: EEN (%100) Writing the Article: EEN (%100) Article Submission and Revision: EEN (%100)
Etik Bildirim	iibfdergi@cumhuriyet.edu.tr	Complaints	iibfdergi@cumhuriyet.edu.tr
Çıkar Çatışması	Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.	Conflicts of Interest	The author(s) has no conflict of interest to declare.
Finansman	Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır. Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.	Grant Support	The author(s) acknowledge that they received no external funding in support of this research. Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0
Telif Hakkı & Lisans		Copyright & License	

Kaynakça

- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında Türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55-77.
- Chen, Z., & Xing, M. (2015). Upgrading of textile manufacturing based on industry 4.0. In 5th International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering, (2143-2146). *Atlantis Press*. <https://doi.org/10.2991/icadme-15.2015.400>
- Calik, A. (2020). Hedef pazar seçimi için hibrit BWM-ARAS karar verme modeli. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(3), 196-210.
- Çilek, A., & Karavardar, A. (2022). Bütünleşik Entropi ve Ocr teknikleri ile özel sermayeli ticaret bankalarının verimlilik analizi. *Financial Analysis/Mali Cozum Dergisi*, 32(170).
- Demir, G., & Bircan, H. (2020). Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden BWM ve FUCOM yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 170-185. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.616766>.
- Dengiz, O. (2017). Endüstri 4.0: Üretimde kavram ve algı devrimi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 15(1), 38-45.
- Fatiya, A. (2017). Role of IoT and digital technology in textile industry. *CIO Review*, 10-12. Erişim adresi: <https://www.cioreviewindia.com/magazines/textile-and-apparel-technology-special-july-2017/>
- Fromhold-Eisebith, M., Marschall, P., Peters, R., & Thomes, P. (2021). Torn between digitized future and context

- dependent past—how implementing industry 4.0 production technologies could transform the German textile industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120620. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120620>.
- Ghoreishi, M., Happonen, A., & Pynnönen, M. (2020). Exploring industry 4.0 technologies to enhance circularity in textile industry: Role of internet of things. In Twenty-first International Working Seminar on Production Economics. 0-16.Austria: Innsbruck. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3471421>.
- Gökalp, E., Gökalp, M.O. & Eren, P.E., (2018), Industry 4.0 revolution in clothing and apparel factories: Apparel 4.0, Peter Lang Publishing, Inc., Berlin, Germany.
- Görçün, Ö.F., (2018), the rise of smart factories in the fourth industrial revolution and its impacts on the textile industry, *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 6(2), 136-141.
- İlhan, İ. (2019). Tekstil üretim süreçleri açısından Endüstri 4.0 kavramı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(7), 810-823.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107-119. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.004>
- Majumdar, A., Garg, H., & Jain, R. (2021). Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework. *Computers in Industry*, 125, 103372. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103372>.
- Mentoro Platformu. (2019). Türkiye tekstil sektörünün Endüstri 4.0 durumu değerlendirmesi ve yol haritası. İstanbul: Türkiye

- tekstil sanayii işverenleri sendikası. Erişim adresi: <https://www.mentoroplatform.com/turkiye-tekstil-sektorunun-endustri-4-0-durum-degerlendirmesi-ve-yol-haritasi>. (Erişim Tarihi: 20.01.2024)
- Mou, Q., Xu, Z. & Liao, H. (2016). An Intuitionistic fuzzy multiplicative best-worst method for multi-criteria group decision making. *Information Sciences*, 374, 224–239.
- Melanson, T. (2018). What industry 4.0 means for manufacturers. Erişim adresi: <https://www.roboticstomorrow.com/artide/2018/11/what-industry-40-means-for-manufacturers/12819>. (Erişim Tarihi: 10.02.2024).
- Nayak, R., Padhye, R., Wang, L., Chatterjee, K., & Gupta, S. (2015). The role of mass customisation in the apparel industry. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 8(2), 162-172. <https://doi.org/10.1080/17543266.2015.1045041>
- Olgun, B. A., & Turan, F. K. (2022). Tekstil sektöründe dijital dönüşüm ve tekstil firmalarının Endüstri 4.0 kavramsal farkındalık düzeyini belirlemeye yönelik bir çalışma. *Tekstil ve Mühendis*, 29(125), 28-40.
- Özbek, A., Yıldız, A., & Alan, M. A. (2021). Türk tekstil işletmelerinin Endüstri 4.0'a adaptasyonunun incelenmesi. *Acta Infologica*, 5(2), 255-265.
- Rauch, E., Linder, C. & Dallasega, P., (2020). Anthropocentric perspective of production before and within industry 4.0, *Computers & Industrial Engineering*, 139, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.018>
- Rathore, B. (2023). Textile Industry 4.0: A review of sustainability in manufacturing. *International Journal of New Media Studies: International Peer Reviewed Scholarly Indexed Journal*, 10(1), 38-43.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126–130. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2015.12.001>.
- Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J., & Tavasszy, L. (2016). A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method. *Journal of Cleaner Production*, 135, 577-588.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M. & Justus, J., (2015), Industry 4.0: The future of the productivity and growth in manufacturing industries, Boston Consulting Group, Inc.
- Sağbaş, A., & Özdil, H. (2022). Konfeksiyon işletmelerinde Endüstri 4.0 perspektifinde akıllı üretim sistemleri entegrasyonu için bir model önerisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(1), 434-447. <https://doi.org/10.29130/dubited.909139>
- Schwab, K. (2017). The fourth industrial revolution. Moscow, 2016. http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=21240265&lfrom=159481197.
- Shariati, S., Chamzini, A. Y., Salsani, A. & Tamosaitiene, J. (2014). Proposing a new model for waste dump site selection: case study of ayerma phosphate mine. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 25(4), 410–419.
- Tekstil Mühendisleri Odası, (2018), Bursa'da tekstil günleri 2018 etkinlikleri, tekstil endüstrisinde 4.0 çalıştay raporu, websitesi: <https://tmo.org.tr/images/editorimages/uploads/tekstil-endustrisinde-4.0-calistayi-raporu.pdf>. Erişim Tarihi: 30.12.2023.
- Türkiye Tekstil Sanayii İşverenleri Sendikası, (2017), Türkiye tekstil sektörünün endüstri 4.0 durum değerlendirmesi ve yol haritası, Mentoro Platformu.
- Toker, K. (2018). Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirliğe etkileri. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 29(84), 51-64.
- Tosunoğlu, B., (2019), Endüstri 4.0 ile akıllı imalat çağı, M. Serçemeli (Ed.), Endüstri 4.0'ın muhasebe, denetim ve finans dünyasına yansımaları, (s.25-40) içinde. Gazi Kitabevi.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), (2017). Accelerating clean energy through Industry 4.0: manufacturing the next revolution.
- Valtas, A., & Sun, D. (2016). 3D printing for garments Production: An exploratory study. *Journal of Fashion Technology ve Textile Engineering*, 4(3), 1-4. <https://doi.org/10.4172/2329-9568.1000139>
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 546-556. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.321957>
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), (2017), Accelerating clean energy through industry 4.0: Manufacturing the Next Revolution.
- Zavadskas, E. K. & Turskis, Z., (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, *Technological and Economic Development of Economy*, 16 (2), 159–172. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.10>