

DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİNİN İMALAT SEKTÖRÜNDE KULLANIMI NOKTASINDA KRİTİK ÖNEME SAHİP BAŞARI FAKTÖRLERİNİN SWARA YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ(*)

EVALUATION OF SUCCESS FACTORS WITH CRITICAL IMPORTANCE FOR THE USE OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY IN THE MANUFACTURING SECTOR WITH THE SWARA METHOD

Mert ÖZGÜNER⁽¹⁾, Esra OVALI⁽²⁾

Öz: Dijital dönüşümle birlikte ortaya çıkan ileri teknolojilere dayalı Dijital İkiz (Digital Twin), özellikle üretimde operasyonel gelişimi vaat eden çok önemli bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, ürün yaşam seyri boyunca gerçek zamanlı bilgiler kullanarak yüksek kalite ve hızda kişiselleştirilmiş ürünlerin sürdürülebilir bir şekilde üretilmesini sağlayacak akıllı üretim sistemlerini oluşturma yöntemidir. Özellikle üretimde oluşturacağı olumlu etki nedeniyle sektör tarafından yaygın bir şekilde kullanımı önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, işletmeler açısından oldukça önemli olan dijital ikiz teknolojisinin imalat sektöründe başarılı bir biçimde kullanımına katkı sağlayacak faktörlerin belirlenmesi ve önem düzeylerine göre sıralanmasıdır. Bu doğrultuda geniş bir literatür araştırması sonucunda belirlenen sekiz adet kriter, uzman görüşlerine başvurulduktan sonra SWARA yöntemiyle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, dijital ikiz teknolojisinin etkin kullanımı noktasında en önemli başarı faktörünün “üst yönetimin desteği” olduğunu göstermektedir. Bu kriteri sırasıyla; “örgüt içi politika ve stratejilerin oluşturulması”, “yeterli mali kaynak” ve “güçlü bilgi teknolojileri altyapısı” izlemektedir. Dijital ikizin işletmelerde başarılı bir şekilde kullanılmasında daha düşük öneme sahip kriterlerin sırasıyla, “yüksek bilgi paylaşımı”, “yeterli teknik bilgiye sahip işgücü”, “yüksek veri güvenliği ve gizliliği” ve “teknolojik yeterlilik” olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dijital İkiz, Çok Kriterli Karar Verme, SWARA.

Abstract: The Digital Twin, based on advanced technologies that emerged with the digital transformation, is a very important technology that promises operational development, especially in production. Digital twin technology is a method of creating smart production systems that will enable the sustainable production of personalized products at high quality and speed by using real-time information throughout the product lifecycle. It is important that it is widely used by the sector, especially because of the positive effect it will have on production. This study aims to determine the factors that will contribute to the widespread use of digital twin technology in the manufacturing sector, which is very important for businesses and to rank them according to their importance levels. In this direction, eight criteria determined as a result of a wide literature search were analyzed by the SWARA method after consulting expert opinions. The findings show that the most important success factor in the effective use of digital twin technology is the "support of the senior management". These criteria are respectively; "creation of internal policies

(*) Bu çalışma 9-11 Haziran 2022 tarihlerinde Sinop Üniversitesi ev sahipliğinde düzenlenen “Uluslararası Üretim ve Tedarik Zinciri Sempozyumu”nda sözlü olarak sunulan bildirinin genişletilmiş halidir.

(1) Adıyaman Üniversitesi, Besni Ali Erdemoğlu Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, mozunguner@adiyaman.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4919-9391

(2) Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme A.B.D. esraovali01@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2099-807X

and strategies”, “adequate financial resources” and “strong information technology infrastructure” are followed. It has been concluded that the criteria with lower importance in the successful use of the digital twin in businesses are “high information sharing”, “workforce with sufficient technical knowledge”, “high data security and privacy” and “technological competence”.

Key Words: *Digital Twin, Multi-Criteria Decision Making, SWARA.*

JEL: *M00, O32, O320*

1. Giriş

Endüstriyel üretimin entegrasyonu noktasında dijital teknolojiler, çok önemli görevler üstlenmektedir. Özellikle imalat süreçlerinde gelişmiş teknolojilerin kullanılması, işletmelerin daha yüksek gelir ve katma değer yoluyla rekabet avantajı elde etmelerine imkân vermektedir. Bu noktada dijital ikiz teknolojisinin de önemli bir potansiyelinin olduğunu söylemek mümkündür (Gurria, 2017). Dijital ikiz ilk olarak NASA tarafından dijital modelleri simüle ve analiz ederek uçakların yapısal davranışlarını öngörmek için geliştirilmiştir (Lu vd. 2020: 1). NASA'nın Apollo uzay programı, dijital ikiz teknolojisini kullanan ilk programdır. Programda iki özdeş uzay aracı inşa edilmiştir. Dünyadaki uzay aracı, uzaydaki durumunu tahmin edebilir, simüle edebilir ve koşulları yansıtabilir. Dünyada bulunan araç ile uzayda görev yapan araç birbirinin ikizi olarak tanımlanmıştır (Biesinger vd. 2019: 355). Dijital ikiz, terminoloji olarak ilk kez 2003 yılında Michael Grieves tarafında Michigan Üniversitesi'nde ‘Fiziksel bir ürüne dijital eşdeğeri’ olarak tanımlanmıştır. Grieves ve Vickers (2017: 85) dijital ikizi; fiziksel ürün gerçek alanda, bu ürünün sanal temsili sanal alanda ve iki alanı birbirine bağlayan veri ve bilgi bağlantısı şeklinde üç bileşenle açıklamıştır. Ve ayrıca dijital ikiz konusunun en genel geometrisinden en somut davranışına kadar bir dizi bilgiye değinmiştir. Dijital ikiz, fiziksel bir varlığın veya sürecin durumunun, işlevsel bir çıktıya sahip sanal bir temsile canlı dijital olarak bağlanmasıdır (Catapult, 2021). Dijital ikiz, bir ürün, süreç veya ortamın gerçek zamanlı senkronize sanal temsilidir (Jones vd., 2020: 36). Dijital ikiz, fiziksel varlığın durumundaki herhangi bir değişikliği yansıtan sanal bir teknolojidir (Kritzinger vd., 2018: 1016). Opoku vd. (2021: 1)'e göre dijital ikiz, iki özdeş alanın (fiziksel ve sanal) nesnelere yaşam döngüsünün tüm aşamasında olan durumları analiz etmek için aralarındaki yansımayla izin vermektedir. Gerçek bir ürünün dijital ikizi, onun yaşam döngüsü boyunca ürünün kapsamlı fonksiyonel ve fiziksel özelliklerini tanımlayan ve ürün bilgisini alıp ileten bir sanal aynadır (Tharma vd., 2018: 3023). Dijital ikiz teknolojisi, imalat sektöründe tasarım sürecinden satış sonrası hizmetlere kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Üretim planlarının hazırlanması ve yakından takibi bu teknoloji sayesinde oldukça mümkündür (Zutshi ve Grilo, 2019: 547).



Şekil 1. Dijital İkiz Teknolojisine Teknoloji ve Operasyonel Bakış

Kaynak: Çelik, 2022.

Dijital ikiz teknolojisi, veri toplama, hesaplama yapma ve görselleştirme olmak üzere üç temel işlevden oluşmaktadır. Tüm işlevlerinde üst düzey teknolojiler içeren dijital ikiz; veri toplama sürecinde Nesnelerin İnterneti (IoT), Bulut ve 5G teknolojilerinden fazlasıyla yararlanmaktadır. Hesaplama yapma işlevi için dijital ikiz teknolojisinin yararlandığı teknolojiler ise; Yapay Zekâ ve Büyük Veri Analitiği teknolojileridir. Görselleştirme kapsamında ise, 2 boyutlu, 3 boyutlu ekranlar, mobil cihazlar, sensörler ve AR/VR gözlükleri dijital ikiz teknolojisi geliştirilirken kullanılan teknolojiler olarak karşımıza çıkmaktadır (Çelik, 2022; Schleich vd., 2017: 140; Bhatti vd., 2021: 2).

Literatür incelendiğinde, dijital ikizin potansiyel birçok faydası vurgulanmaktadır. Bu faydalar; maliyeti ve riski azaltmak, verimliliği arttırmak, hizmet aşamasını iyileştirme, güvenlik ve dayanıklılık olarak karşımıza çıkmaktadır (Pan ve Zhang, 2021: 1). Geleneksel üretim modelinden akıllı üretim modeline geçiş sürecinde nesnelerin interneti, makine öğrenimi ve veri işleme teknolojilerinin yanında dijital ikizin kullanılmasının büyük rolü bulunmaktadır (Uhleman vd., 2017: 335). Gerçek zamanlı ölçümler sayesinde üretim süreçlerinde enerji kullanımını kontrol ederek optimizasyonunu sağlayan ve makinelerin, üretim planlarının ve üretim çizelgelerinin akıllıca yönetilmesi sayesinde verimliliği artıran dijital ikiz teknolojisi, sanal ve kullanıcı dostu bir fabrika modeli oluşturmanın önemli koşulları arasında yerini almaktadır (Katchasuwanmanee vd., 2016: 973).

Dijital ikiz, birden fazla endüstride dijital dönüşümü ve karar vermeyi desteklemek için gelişmekte olan dijital teknolojilerden biridir. Büyük Veri, Nesnelerin İnterneti (IoT), Yapay Zekâ, Bulut Bilgi İşlem, Beşinci nesil hücreli ağ (5G) ve kablosuz sensör ağları vb. hızla gelişmekte ve endüstrinin her alanında büyük potansiyel göstermektedir. Tüm bu teknolojiler, fiziksel dünya ve kaçınılmaz bir eğilim olan dijital dünyanın entegrasyonu için bir fırsat sunmaktadır (Wang vd. 2018: 144) Dijital ikiz, IoT sensörleri de dahil olmak üzere gelişmiş dijital teknolojilerini kullanarak fiziksel varlığın sanal bir modelini oluşturmaktadır. Dijital ikiz tarafından toplanan verilere dayanarak stratejik ve operasyonel kararlar alınabilmektedir. Sanal temsil tarafından yönetilen bilgi ve veri türleri tanımlandığında parametreler, özellikler, durumlar, değişkenler ve boyutları içeren geniş bir terim yelpazesi düşünülebilir (Negri vd., 2017: 940).

Dijital ikiz yaklaşımı ürün yaşam döngüsü yönetiminde önemli bir unsur haline gelmiştir. Büyük işletmeler, dijital ikiz yaklaşımına ürün ve montaj dizaynından görüntülemeye kadar olan tüm yaşam döngüsü boyunca entegre olmaktadır (Qi vd. 2018: 237). Beklenmeyen bir olayın gerçekleşmeden önce sistemin tepkisini tahmin etmek dijital ikizin yeteneklerinden biridir. Bu tür tahminler, bu olayların karşılaştırmalı analizini yaparak veya gerçekleşmiş tahmini davranışların mevcut tepkisi ile yapılabilmektedir (Schleich vd., 2017: 141). Dijital ikiz, simülasyonda yeni bir paradigma olarak tanımlanır. Dijital ikiz simülasyon kullanımını, ürün yaşam döngüsünün tüm aşamalarında genişletmektedir. Simülasyon, sadece jenerik bir cihaz değil aynı zamanda tüm sistemleri izlemek için kullanılan tasarım kararı, doğrulama ve test için temel teşkil etmektedir (Rodic, 2017: 193). Hesaplama açısından bakıldığında dijital ikizin temel işlevi, fizik tabanlı modellerin ve veriye dayalı modellerin fiziksel alana doğru bir şekilde özendirme ve simüle etmektedir (Cimino vd., 2019: 1). Dijital ikiz, tüm mevcut bilgi ve modelleri birleştiren fiziksel bir varlığın en gerçekçi temsili olmalıdır. Ayrıca tüm süreç bilgilerini içermeli ve operasyonel, organizasyonel ve teknik bilgiler elde edilmelidir. Dijital ikiz, her zaman fiziksel varlıkla sekronize halinde bulunmaktadır. Fiziksel varlık davranışlarının simülasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir (Deepu ve Ravi, 2021: 1).

Fiziksel-Sanal bağlantı üç adımda gerçekleşmektedir; birincisi, fiziksel gerçekliğin doğrudan ölçülmesini içeren ilgili bilgilerin toplanması, ikincisi, toplanan bilgilerin soyut seviyeye tutarlı bir forma dönüştürülmesi için yorumlanması ve son olarak, güncelleme sürecinde, sanal temsilinin durumu güncellemek için bilgiler kullanılmaktadır (Verdouw ve Kruize, 2017: 2).

Dijital ikiz, ürünün entegrasyonunu sağlayan etkili bir uygulama sistemi olduğu için, bu sistem, ürün tasarımı, ürün geliştirme ve üretim planlaması arasındaki bağlantı ve boşluğu kapatmak için dizayn edilmiştir. Bu şekilde dijital ikizin, yaklaşan bir ekipman arızasını tahmin etmek için karar vericileri destekleyebilen bir ürün optimum olmayan performans belirtileri göstermeye başladığında bir operatörü bilgilendirebilen, müşteri deneyimini geliştirebilen bir teknoloji olması nedeniyle dijitalleşen endüstride üretim açısından oldukça önemli bir teknoloji olduğu düşünülmektedir (Bhatti vd., 2021: 2). Bu düşünceden yola çıkılarak çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin imalat endüstrisinde daha yaygın ve daha başarılı bir biçimde uygulanabilmesi noktasında önemli olan faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, yapılan literatür araştırması neticesinde dijital ikiz teknolojisinin üretim sektöründe kullanımı noktasında önemli olduğu düşünülen kriterler belirlenmiştir. Çok sayıda ve karmaşık bir yapıda bulunan kriterlere, uzman görüşleri alındıktan sonra nihai hali verilmiştir. Çalışmada kullanılacak sekiz adet kriter SWARA yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonucunda kriterlerin önem düzeyleri belirlenerek yorumlanmıştır.

2. Literatür Araştırması

Literatür araştırmasında, oldukça güncel bir konu olan dijital ikizle ilgili olarak kapsamlı akademik çalışmaların yapıldığı ve bu çalışmaların önemli yer tuttuğu gösterilmektedir. Bu çalışmalardan bazıları ve çalışmalara ilişkin bulgular aşağıda belirtilmektedir.

Erandonea, Beltran ve Arrizabalaga (2020)'de yaptığı çalışmada, bakım ve onarım departmanı için dijital ikiz uygulamaları gözden geçirilmiştir. Hem dijital ikiz hem bakım ve onarım konusu ve stratejileri ayrıntılı olarak açıklanmış ve literatür

taraması yapılmıştır. Vanderhorn ve Mahadevan (2021)'de yaptığı araştırmasında, dijital ikiz için genel bir tanım yapmak amacıyla son 10 yılda verilen 46 dijital ikiz tanımını gözden geçirmiştir. Diğer dijital teknolojilerden, dijital ikizi ayırt etmek için kriterleri içeren bir karakterizasyon sağlanmıştır. Ardından, dijital ikiz uygulaması için bir çalışma yapılmıştır ve dijital ikizin gelecek ihtiyaçları ve fırsatları da ana hatlarıyla belirtilmiştir.

Semeraro vd. (2021)'de dijital ikiz teknolojisinin temel bileşenleri, özellikleri ve etkileşim sorunlarıyla ilgili güncel veri sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışma, dijital ikiz tasarlamada ve inşa etmede devam eden araştırma ve teknik zorluklarının izini sürmektedir. Liu vd. (2021)'de yaptığı araştırmasında endüstriyel uygulamalar, teknolojiler ve kavramlar perspektifinden dijital ikizi analiz etmek için derinlemesine ve kapsamlı literatür araştırması yapmışlardır. Dijital ikiz için gözlemler ve gelecek çalışmalar için tavsiyeler, farklı yaşam döngüsü aşamaları şeklinde sunulmuştur.

He ve Bai (2021)'de yaptığı analizde, akıllı üretimin sürdürülebilirliğini ve teknolojilerini incelemişlerdir. İlk olarak akıllı üretimin içeriğini oluşturan akıllı üretim ekipmanı, sistemi ve servisi analiz etmişlerdir. Ayrıca, dijital ikiz teknolojisine dayalı akıllı üretim geliştirilmesiyle birlikte dijital ikiz ve onun uygulanması tanıtılmıştır. Mevcut durumla birlikte, akıllı üretimin gelecekteki gelişmeleri belirlenmiştir.

Lo vd. (2021)'de yaptığı çalışmada ürün tasarım ve geliştirmeye odaklanan dijital ikiz araştırmalarının mevcut durumlarını tipik endüstriyel olayları özetleyerek ortaya çıkarmayı amaçlamaktadırlar. Dijital ikiz uygulamaları ve zorlukları ürün tasarım ve geliştirmede gelecek çalışmalara ilham vermesi için kapsamlı bir literatür araştırması yapmışlardır. Zheng vd. (2019)'da yaptığı araştırmada dijital ikiz uygulama alt sistemleri için yapım fikrini ve tam parametrik sanal modellemenin uygulama süreci tanımlanmıştır. Bir üretim hattının dijital ikiz olayı inşa edilmiş ve incelenmiştir. Bu olayın uygulama şeması, uygulama süreci ve etkileri girişimcilere referans sağlamak için detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Wang vd. (2022) akıllı üretim yönetiminde dijital ikizin kullanılabilirliği üzerine yaptıkları çalışmada özellikle yüksek teknolojiye sahip alt yapısı bulunan işletmelerin bu teknolojiyi daha başarılı bir şekilde kullanabildiklerini belirtmiştir.

Joshi ve Sharma (2021) tarım ve gıda tedariki güvenliği için dijital ikizin kullanımı noktasında önemli başarı faktörlerini Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Bulanık Delphi ve Dematel yöntemi kullanarak araştırmıştır. Çalışmalarında yüksek teknoloji ve yönetim desteği kriterlerinin yüksek etkiye sahip olduğunu ayrıca, mali kaynak ve nitelikli işgücü kriterlerinin de önemli olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır.

2.1. Araştırmanın Motivasyonu

Gelişmiş dijital teknolojileri kullanarak gerçek fiziksel sistemi sanal tasviriyle birleştiren etkinleştirici teknolojilerden biri olan dijital ikiz, son yıllarda hem akademide hem de endüstride fazlasıyla ilgi görmektedir. Endüstri 4.0 bağlamında baskın ve önemli teknolojik araştırma alanlarından birisi olan bu teknolojinin, sahip olduğu yüksek potansiyelden yararlanmak isteyen işletmelerin ilgisini çekmeye başladığı görülmektedir. İşletmeler dijital ikiz tarafından ortaya konan verileri kullanarak stratejik ve operasyonel kararlar alabilmektedir (Uhleman vd., 2017: 335; Kritzing vd., 2018). Bununla birlikte işletmelerde dijital ikiz gibi dijital teknolojilerin benimsenmesi ve uygulanması noktasında bilgi eksikliği bulunmakta

ve çekimser davrandıkları görülmektedir. (Lyll vd., 2018: 3). İşletmelerdeki dijital teknolojilere ilişkin bu çekimserliğin ortadan kaldırılması ve üretim süreçlerinde yaygın ve başarılı bir biçimde bu teknolojilerin kullanılması hususunda yol gösterici çalışmaların yapılması önem taşımaktadır. İşte bu noktada mevcut çalışmanın önemi ortaya çıkmaktadır.

Çalışma sayesinde, işletmelerin dijital ikiz teknolojisini başarılı bir biçimde süreçlerine entegre edebilmeleri noktasında kritik öneme sahip başarı faktörlerinin önem düzeylerine göre ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu sayede elde edilen bulgular, karar vericilerin konuya ilişkin olarak alacakları stratejik kararlarda ve oluşturacakları politikalarda onlara önemli bir yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Ayrıca çalışma ile birlikte imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin dijital ikiz teknolojisi hakkında farkındalıklarının artırılması ve bu önemli teknolojiye daha fazla yararlanmalarına imkân sağlanması amaçlanmaktadır.

Buradan hareketle;

- Dijital ikiz teknolojisinin imalat sektöründe kullanımını etkileyen kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi,
- Belirlenen kritik başarı faktörlerinin önem düzeylerine göre ortaya konulması,

araştırmanın kapsamını ve motivasyonunu oluşturmaktadır.

3. Yöntem

Dijital ikiz teknolojisinin imalat sektöründe başarılı bir şekilde kullanımı noktasında kritik öneme sahip olan faktörlerin önem düzeylerine göre belirlenmesi amacıyla Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri arasında yer alan SWARA yönteminden yararlanılmıştır.

3.1. SWARA Yöntemi

Literatürde FARE (Ginevicius, 2011), AHP (Saaty, 1980), Entropy (Shannon, 1948) ve KEMIRA (Krylovas, 2014) gibi karar niteliklerinin ağırlıklarını değerlendirmenin farklı yolları bulunmaktadır. SWARA Yöntemi ise, diğer metodolojilerden tamamen farklı sıra dışı bir disipline ve çerçeveye sahip yeni bir araçtır (Zolfani ve Saparuskas, 2013: 410).

SWARA Yöntemi, kriterleri değerlendirmede ve ağırlıklandırmada uzmanlara önemli bir rol vermektedir. Her uzman kişi bilgi ve deneyimlerini kullanarak tüm kriterleri baştan sona doğru sıralamaktadır. Bu yöntemde göre, en önemli kriter birinci sırada ve en önemsiz kriter ise sonuncu sırada yer almaktadır. Birden fazla karar vericinin değerlendirmesi bulunması halinde aritmetik ortalamaya göre sıralama yapılmaktadır (Zolfani vd., 2015: 575).

Bu yöntem, ağırlık belirleme sürecinde, kriterlerin önem oranı hakkında uzmanların fikirlerini tahmin etme yeteneği vermektedir. Ayrıca uzmanlardan bilgi toplamak ve koordine etmek için yararlı bir yöntemdir. Bu yöntem, karmaşık olmayan, kullanıcı dostu, anlaşılırdır ve uzmanlar birlikte kolayca çalışabilmektedir (Kumar, 2021: 6). Uzman kişiler, SWARA yönteminin temel unsurudur. İlk olarak uzmanları belirlemek oldukça önemlidir. Bazı kararlar alınırken konunun tüm önemli yönlerinin uzman kişilerinin tamamı tarafından dikkate alınması gerekmektedir (Zolfani vd., 2018: 7400).

SWARA Yönteminin adımları aşağıdaki şekildedir (Radovic ve Stevic, 2018: 62; Majeed ve Breesam, 2021: 4; Dahooie vd. 2020: 1316);

1. Adım: Uzmanlar, belirlenen kriterleri sahip olduğu önem derecesine göre sıralamaktadır. [1]

2. Adım: Bu adımda ortalama değerin karşılaştırmalı önemi s_j 'yi belirlemektir. Sıralamada ikinci kriterden başlanır. c_j kriterin, c_{j+1} kriterinden ne kadar daha önemli olduğu belirlenir. [2]

3. Adım: k_j katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad [3]$$

4. Adım: Yeniden hesaplanan ağırlık q_j değerini belirleme

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{k_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad [4]$$

5. Adım: Değerlendirme kriterlerine göre ağırlıkları (w_j) belirlenir.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^m q_j} \quad [5]$$

SWARA yöntemiyle ağırlıkların belirlenmesi için üç karar vericinin görüşlerine başvurulması uygun görülmüştür. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri az sayıda girdi parametresi kullanarak kolay anlaşılabilen sonuçlar sunmaktadır. Bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarda sınırlı sayıda karar vericinin görüşleri grup kararlarına ulaşılabilmesi noktasında yeterli olarak kabul görmektedir (Wu vd., 2011). Karar verici gurubu oluşturan uzmanlar, konuya ilişkin gerek akademik gerek sektörel tecrübeye sahip kişiler seçilerek oluşturulmuştur. Karar vericilere ilişkin bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Kriterler

Karar Verici	Eğitim	Meslek	Departman	Deneyim	Sektör
KV1	Doktora	Endüstri Mühendisi	Üretim	15 Yıl	Tekstil
KV2	Yüksek Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisi	Üretim	12 Yıl	Makine
KV3	Doktora	Endüstri Mühendisi	Üretim Planlama	10 Yıl	Tekstil

Çalışmada her bir karar verici için karar kriterlerinin ağırlıkları ayrı ayrı belirlenmiş, ardından bu ağırlıklarının aritmetik ve geometrik ortalamaları alınmak suretiyle grup kararlarını yansıtan kararlara ulaşılmıştır (Uludağ ve Doğan, 2021). Bu nedenle aşağıda ilk olarak sırasıyla karar vericiler (KV1 KV2 KV3) için ağırlıklar belirlenmiş, sonrasında her bir karar verici için belirlenmiş ağırlıklardan yola çıkılarak grup kararını yansıtan kararlara ulaşılmıştır. SWARA yöntemi uygulanırken belirtilen aşamalar takip edilmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında, dijital ikiz teknolojisinin imalat sektöründe başarılı bir şekilde kullanımı noktasında kritik öneme sahip faktörler belirlenmiştir. Bu çerçevede yapılan geniş literatür araştırması neticesinde elde edilen başarı

faktörlerine uzman görüşleri alındıktan sonra nihai hali verilmiş ve sekiz adet kriter analize dahil edilmiştir. Çalışmada kullanılacak kriterler Tablo 2’de belirtilmiştir. Çalışmada kullanılacak kriterler belirlendikten sonra akademisyen ve sektör temsilcilerinden oluşan üç kişilik karar verici grubu oluşturulmuştur. Karar verici grubu oluşturan uzmanlar, konuya ilişkin gerek akademik gerek sektörel tecrübeye sahip kişiler seçilerek oluşturulmuştur.

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Kriterler

Kriterler	Kaynaklar
F1: Örgüt içi politika ve stratejilerin oluşturulması	Lin vd., (2016:613); Wang vd., (2010: 807); Yang ve Lin (2020); Brown (2017); Sharma vd., (2020);
F2: Yüksek bilgi paylaşımı	
F3: Yüksek veri güvenliği ve gizliliği	
F4: Yeterli teknik bilgiye sahip işgücü	
F5: Teknolojik yeterlilik	
F6: Üst yönetimi desteği	
F7: Yeterli mali kaynak	
F8: Güçlü bilgi teknolojileri alt yapısı	

Karar vericilerden yüz yüze görüşme yoluyla, belirlenen kriterleri karşılaştırarak 0 ile 10 arası puanlama yapmaları istenmiştir. Karar vericilerden sağlanan veriler SWARA yönteminin adımları takip edilerek analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılacak kriterler şu şekilde kodlanmıştır; Örgüt içi politika ve stratejilerin oluşturulması (F1), Yüksek bilgi paylaşımı (F2), Yüksek veri güvenliği ve gizliliği (F3), Yeterli teknik bilgiye sahip işgücü (F4), Teknolojik yeterlilik (F5), Üst yönetimi desteği (F6), Yeterli mali kaynak (F7), Güçlü bilgi teknolojileri alt yapısı (F8).

4. Bulgular

Çalışmada ilk olarak görüşlerine başvurulmuş karar vericilerin puanladıkları ve önem derecelerini belirttikleri kriterlerin, SWARA analizine ilişkin yukarıda belirtilen adımlar izlenerek sırayla s_j , k_j , q_j ve w_j değerleri hesaplanmış ve bulgular her karar verici için ayrı ayrı tek bir tabloda belirtilmiştir. Karar vericiler KV1, KV2, KV3 şeklinde ifade edilmiştir.

Tablo 3. KV1 için Karar Kriterlerinin Ağırlıkları

KV1'in Kriterleri Birbirleriyle Karşılaştırması [(s_j) değerlerinin belirlenmesi]							
Kodu	Önem Sırası	SÖSGK	SÖS	s_j	k_j	q_j	w_j
F1	3	F3	1	0,8	1,000	1,538	0,081
F2	4	F6	2	0,65	1,650	1,650	0,086
F3	1	F1	3	1	2,000	2,353	0,123
F4	5	F2	4	0,85	1,850	3,083	0,162
F5	6	F4	5	0,6	1,600	1,778	0,093
F6	2	F5	6	0,9	1,900	2,235	0,117
F7	7	F7	7	0,85	1,850	3,364	0,176
F8	8	F8	8	0,55	1,550	3,083	0,162

Tablo 4. KV2 için Karar Kriterlerinin Ağırlıkları

KV2'in Kriterleri Birbirleriyle Karşılaştırması [(sj) değerlerinin belirlenmesi]							
Kodu	Önem Sırası	SÖSGK	SÖS	sj	kj	qj	wj
F1	4	F3	1	0,3	1,000	2,222	0,105
F2	5	F6	2	0,45	1,450	2,900	0,137
F3	1	F1	3	0,5	1,500	1,875	0,089
F4	3	F2	4	0,8	1,800	3,000	0,142
F5	2	F4	5	0,6	1,600	2,286	0,108
F6	6	F5	6	0,7	1,700	2,833	0,134
F7	8	F7	7	0,6	1,600	3,200	0,151
F8	7	F8	8	0,5	1,500	2,833	0,134

Tablo 5. KV3 için Karar Kriterlerinin Ağırlıkları

KV3'in Kriterleri Birbirleriyle Karşılaştırması [(sj) değerlerinin belirlenmesi]							
Kodu	Önem Sırası	SÖSGK	SÖS	sj	kj	qj	wj
F1	3	F3	1	0,8	1,000	1,667	0,056
F2	1	F6	2	0,6	1,600	8,000	0,269
F3	2	F1	3	0,2	1,200	2,000	0,067
F4	4	F2	4	0,6	1,600	2,286	0,077
F5	8	F4	5	0,7	1,700	5,667	0,190
F6	7	F5	6	0,3	1,300	2,167	0,073
F7	6	F7	7	0,6	1,600	4,000	0,134
F8	5	F8	8	0,4	0,140	4,000	0,134

Her bir karar verici açısından kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra, karar verici grubun genel yargısına ulaşabilmek için hesaplanan bu ağırlıkların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Bu noktada dijital ikiz teknolojisinin imalat sektöründe başarılı bir şekilde kullanılmasına ilişkin olarak belirlenen kriterlere ait ağırlıklar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Aritmetik Ortalamaya Göre Kriter Ağırlıkları

Grup Kararı	Kodu	Aritmetik Ort.	Önem Düzeyi
F1: Örgüt içi politika ve stratejilerin oluşturulması	F1	0,160	2
F2: Yüksek bilgi paylaşımı	F2	0,075	8
F3: Yüksek veri güvenliği ve gizliliği	F3	0,095	6
F4: Yeterli teknik bilgiye sahip işgücü	F4	0,093	7
F5: Teknolojik yeterlilik	F5	0,108	5
F6: Üst yönetimi desteği	F6	0,164	1
F7: Yeterli mali kaynak	F7	0,154	3
F8: Güçlü bilgi teknolojileri alt yapısı	F8	0,143	4

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, işletmelerin dijital ikiz teknolojisini başarılı bir biçimde süreçlerine entegre edebilmeleri ve kullanabilmeleri noktasında kritik öneme sahip faktörlerin önem düzeylerine göre ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, imalat sektörü açısından oldukça önemli teknolojiler arasında yer alan dijital İkiz teknolojisinin, sektör içerisinde yer alan işletmeler tarafından başarılı bir biçimde kullanılabilmesi için önemli olan faktörler ortaya konulmuş ve bu faktörler SWARA yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda yerli ve yabancı literatür incelenerek dijital ikiz teknolojisinin işletmelerde başarılı bir şekilde kullanımına imkân sağlayacak faktörler bir bilgi havuzunda toplanmıştır. Daha sonra bu faktörler arasından uzman görüşleri alınarak seçilen 8 faktör analize dahil edilmiştir.

Çalışma kapsamında uygulanan SWARA yöntemi sonucunda dijital ikiz teknolojisinin işletmelerde başarılı bir şekilde kullanımı noktasında en yüksek öneme sahip kriterin “üst yönetimin desteği” olduğu görülmektedir. Bu kriteri sırasıyla; “örgüt içi politika ve stratejilerin oluşturulması”, “yeterli mali kaynak” ve “güçlü bilgi teknolojileri altyapısı” izlemektedir. Buna karşın sırasıyla, “yüksek bilgi paylaşımı”, “yeterli teknik bilgiye sahip işgücü”, “yüksek veri güvenliği ve gizliliği” ve “teknolojik yeterlilik” kriterlerinin ise dijital ikizin işletmelerde başarılı bir şekilde kullanımı noktasında daha düşük öneme sahip kriterler olduğu yapılan analizler sonucunda ortaya konulmuştur.

Elde edilen bulguların literatürle uyumlu olduğu görülmektedir. Kies vd. (2022) dijital ikizler için en uygun eylem planlarının belirlenmesi amacıyla yapmış oldukları çalışmada üst yönetim desteği, mali güç ve yeterli teknoloji düzeylerinin bu teknolojinin uygulanabilirliğini etkileyen en önemli faktörler olduğunu belirtmiştir. Saracian ve Shirazi (2022) siber-fiziksel üretim sistemlerinde dijital ikiz teknolojisinin kullanım durumunun belirlenmesi maksadıyla yapmış oldukları çalışmada dijital ikiz teknolojisinin başarısını etkileyen en önemli faktörün yüksek yönetim ve hükümet desteği olduğunu, ayrıca teknolojik alt yapı ve finansal yeterliliğin de bu teknolojinin kullanımı noktasında önemli etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde üretim sistemlerinin optimizasyonunda dijital ikiz teknolojisinin kullanımını araştıran çalışmada Ricondo vd. (2021) dijital ikizin destekleyici politikalar, yeterli mali kaynak ve yüksek teknolojik alt yapı sayesinde daha başarılı bir şekilde uygulanabileceğini belirtmiştir. Araç güvenlik sistemlerinin üretiminde dijital ikiz teknolojisinden yararlanmak amacıyla Dygalo vd. (2020)'nin yapmış oldukları çalışma sonucunda örgüt politikalarının oluşturulması ve yönetim desteğinin dijital ikizin başarıyla uygulanmasındaki en önemli faktörler olduğunu belirtmiştir. Malik ve Bilberg (2018) üretim ortamında insan ve robot uyumu için dijital ikiz teknolojisinin kullanımı amacıyla yaptıkları çalışma sonucunda dijital ikiz teknolojisinin yüksek teknoloji alt yapısı ve mali kaynaklarla işletmelerin üretim süreçlerinde kullanılabilmesini belirtmiştir.

Dijital ikiz teknolojisinin güçlü bir teknolojik alt yapı gerektirdiği araştırma sonuçlarında görülmektedir. Sahip olduğu bu özellik sayesinde özellikle yalın anlayış, kaizen, başarılı değer akış haritaları ve üretim planlamalarına imkan sağlayarak imalat sektöründe yüksek verimlilik, enerji kaynaklarının etkin kullanımı, süreç içerisindeki paydaşların yüksek entegrasyonu, yeni pazar stratejilerinin geliştirilmesi, pazarlara hızlı ve ekonomik biçimde ulaşması, yeni dağıtım kanallarının oluşturulması ve beşeri yapının teknik açıdan yeterliliklerinin

artırılması gibi birçok noktada imalat sektöründe iyi uygulama örneklerinin ortaya çıkarılmasına katkı sağlamaktadır (www.tsuab.org.tr; Kies vd., 2022).

Elde edilen bulgulara göre, dijital ikiz teknolojisinin iş süreçlerine başarılı bir şekilde entegre edilmesi ve kullanılması süreci üst yönetimin bu konudaki desteği ile başlamaktadır. Konuya ilişkin işletme içerisinde oluşturulacak politikalar ve alınacak stratejik kararlar sayesinde dijital ikizin süreçlerde yaygın kullanımına yönelik ciddi adımlar atılacaktır. Üst yönetimin desteği sayesinde, ilgili teknolojinin kullanımı için yeterli finansal yatırımların yapılması ve ihtiyaç duyulan yüksek teknolojik alt yapının oluşturulması mümkün hâle gelecektir. İşletmelerin sahip olduğu bu yüksek teknolojik alt yapı ve teknik bilgi birikimi oldukça ileri bir teknoloji olan dijital ikizin imalat işletmelerinde başarılı ve yaygın kullanımının önünü açacaktır. Ayrıca işletmelerde başta dijital ikiz olmak üzere diğer dijital teknolojilerin kullanımı noktasında organizasyon kültürü ve iklimi oluşturmak ve yine bu teknolojilerin işletmelerin vizyon ve misyon ifadelerine entegre edilmesi yöneticileri ve çalışanların konuya ilişkin motivasyonlarını artıracaktır.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, işletmelerin dijital ikizi başarılı bir biçimde kullanabilmeleri için gerekli olan faktörleri öncelik durumlarına göre ortaya koymakta ve işletmelerin bu teknolojiyi bünyelerine dahil edebilmeleri noktasında mevcut karmaşıklığı ortadan kaldırmaktadır. Bu açıdan karar vericiler için çalışma sonuçları önem taşımaktadır. Kriter sayısının ve uzman sayısının artırılması, diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması farklı sonuçlar doğuracaktır. Bununla birlikte dijital ikiz teknolojisinin sağlık, turizm, eğitim ve pazarlama gibi sektörlerde kullanımına ilişkin farklı kriterler üzerinden yapılacak çalışmaların konunun daha geniş bir perspektifte anlaşılmasına imkân sağlayacaktır. Bu durum sonraki çalışmalar için öneri niteliği taşımaktadır. Ayrıca, dijital ikiz ve diğer dijital teknolojileri iş süreçlerinde uygulayabilen işletme sayısının az olması, istenen veriye ulaşabilme noktasında birtakım zorluklar oluşturmaktadır. Konuya ilişkin gelecekte yapılacak araştırmalarda bu durumun dikkate alınması önerilmektedir.

Referanslar

- Bhatti, G., Mohan, H. ve Raja Singh, R. (2021). Towards the future of smart electric vehicles: Digital twin technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110801.
- Biesinger, F., Meike, D, Krab, B. ve Weyrich, M. (2019). A digital twin for production planning based on cyber-physical systems: A case study for a cyber-physical system-based creation of a digital twin. *Procedia CIRP*, 79, 355-360.
- Brown, T.E. (2017). Sensor-based entrepreneurship: A framework for developing new products and services. *Business Horizons*, 60(6), 819-830.
- Catapult, H.V. (2021). Untangling the requirements of a digital twin. *Univ. Sheff. Adv. Manuf. Res. Cent. (AMRC)*, 7
- Cheng, J., Zhang, H., Tao, F. ve Juang, C. F. (2020). DT-II: Digital twin enhanced industrial internet reference framework towards smart manufacturing. *Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*, 62, 101881.
- Cimino, C., Hegri, E. ve Fumagalli, L. (2019). Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, 113, 103130.
- Çelik, T. (2022). Dijital ikizlere giriş ve savunma sanayii projelerinde dijital ikizlerin kullanımı. *10. Savunma Teknolojileri Kongresi SAVTEK 2022*, ODTÜ, Ankara.

- Dahooie, J. H., Dehshiri, S. J. H., Banaitis, A. ve Binkyte-Velene, A. (2020). Identifying and prioritizing cost reduction solutions in the supply chain by integrating value engineering and gray multi-criteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(6), 2029-4921.
- Deepu, T. S. ve Ravi, V. (2021). Exploring critical success factors influencing adoption of digital twin and physical internet in electronics industry using Grey-Dematel approach. *Digital Business*, 1(2), 100009.
- Dygalo, V., Keller, A. ve Shcherbin, A. (2020). Principles of application of virtual and physical simulation technology in production of digital twin of active vehicle safety systems. *Transportation Research Procedia*, 50, 121-129.
- Grieves, M. ve Vickers, J. (2017). *Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems*. Springer International Publishing: 85–113.
- Gurria, A. (2017). *The next production revolution: Implications for government and business*, OECD Report OECD Publishing Press, 10.1787/f69a68e9-en.
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A. Yon, J. ve Hicks, B. (2020). Characterising the digital twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 29, 36-53.
- Joshi, S. ve Sharma, M. (2022). Digital technologies (DT) adoption in agri-food supply chains amidst COVID-19: An approach towards food security concerns in developing countries. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*. 15(2), 262-282. <https://doi.org/10.1108/JGOSS-02-2021-0014>.
- Katchasuwanmanee, K., Bateman, R. ve Cheng, K. (2016). Development of the energy-smart production management system (e-proman): A big data driven approach, analysis and optimisation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(5), 972-978
- Kies, A., Kraub, J., Schmetz, A., Schmitt, R. ve Brecher, C. (2022). Interaction of digital twins in a sustainable battery cell production. *Procedia CIRP*, 107, 1216-1220.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J. ve Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC*. 51(11), 1016-1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>.
- Lin, D., Lee, C.K. ve Lin, K. (2016). Research on effect factors evaluation of internet of things (IOT) adoption in Chinese agricultural supply chain, IEEE International Conference Industry. *Eng. Eng. Management*: 612-615.
- Lu, Y., Liu, C., Wang, K., Huang, H. ve Xu, X. (2020). Digital twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61, 101837.
- Lyall, A., Mercier, P. ve Gstettner, S. (2018). The death of supply chain management. *Harvard Business Review*, 15, 2-4.
- Majeed, R. A. ve Breesam, H. K. (2021). *Application of SWARA technique to find criteria weights for selecting landfills Site in Baghdad Governorate*. Materials Science and Engineering, IOP Publishing: Bristol, UK.
- Malik, A.A. ve Bilberg, A. (2018). Digital twins of human robot collaboration in a production setting. *Procedia Manufacturing*, 17, 278-285.
- Negri, E., Fumagalli, L., ve Macchi, M. (2017). A review of the roles of digital twin in cpsbased production systems. *Procedia Manufacturing*, 11, 939–948.

- Opoku, D. G. J., Perera, S., Osei-Kyei, R. ve Rashidi, M. (2021). Digital twin application in the construction industry: A literature review. *Journal of Building Engineering*, 40, 102726.
- Pan, Y. ve Zhang, L. (2021). A BIM-Data mining integrated digital twin framework for advanced project management. *Automation in Construction*, 124, 103564.
- Qi, Q., Tao, F., Zuo, Y. ve Zhao, D. (2018). Digital twin service towards smart manufacturing. *Procedia 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 72, 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.103>.
- Radovic, D. ve Stevic, Z. (2018). Evaluation and selection of KPI in transport using SWARA method. *Transport & Logistics: The International Journal*, 18(44), 60-68.
- Ricondo, I., Porto, A. ve Ugarte, M. (2021). A digital twin framework for the simulation and optimization of production systems. *Procedia CIRP*, 104, 762-767.
- Rodic, B. (2017). Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm. *Organizacija*, 50(3), 193–207.
- Saraeian, S. ve Shirazi, B. (2022). Digital twin-based fault tolerance approach for Cyber-Physical Production System. *ISA Transactions*, <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2022.03.007>.
- Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L. ve Wartzack, S. (2017). Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Annals*, 66(1), 141-144.
- Sharma, R., Shishodia, A., Kamble, S., Gunasekaran, A. ve Belhadi, A. (2020). Agriculture supply chain risks and COVID-19: Mitigation strategies and implications for the practitioners, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-27.
- Tharma, R., Winter, R. ve Eigner, M. (2018). An approach for the implementation of the digital twin in the automotive wiring harness field. *Proceedings of International Design Conference*: 3023–3032.
- Uhlemann, T.H.J., Lehmann, C. ve Steinhilper, R. (2017). The digital twin: Realizing the cyber-physical production system for industry 4.0. *Procedia Cirp*, 61, 335-340.
- Uludağ, A. S. ve Doğan, H. (2021). *Üretim yönetiminde çok kriterli karar verme yöntemleri: Literatür, teori ve uygulama*, Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Verdouw, C. N. ve Kruize J. W. (2017). Digital twins in farm management: illustrations from the fiware accelerators smartagrifood and fractals. *7 th Asian-Australasian Conference on Precision Agriculture*, 1–5.
- Wang J., Ma Y., Gao R. X. ve Wu D. (2018). Deep learning for smart manufacturing: methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 144–56.
- Wang, Y.M., Wang, Y.S. ve Yang, Y.F. (2010). Understanding the determinants of RFID adoption in the manufacturing industry, *Technol. Forecast. Soc. Change*, 77(5), 803-815.
- Wnag, Y., Kang, X. ve Chen, Z. (2022). A survey of digital twin techniques in smart manufacturing and management of energy applications. *Green Energy and Intelligent Transportation*. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100014>.
- Wu, Z., Sun, J., Liang, L. ve Zha, Y. (2011). Determination of weights for ultimate cross efficiency using shannon entropy. *Expert Systems With Applications*, 38, 5162-5165.

- Yang, Z. ve Lin, Y. (2020). The effects of supply chain collaboration on green innovation performance: An interpretive structural modeling analysis, *Sustainable Production and Consumption*, 23, 1-10.
- Zolfani, S. H. ve Saparauskas, J. (2013). New application of SWARA method in prioritizing sustainability assessment indicators of energy system. *Inzinerine Ekonomika- Engineering Economics*, 24(5), 408-414.
- Zolfani, S. H., Salimi, J., Maknoon, R. ve Simona, K. (2015). Tecknology foresight about R&D projects selection; Application of SWARA method at the policy making level. *Inzinerine Ekonomika- Engineering Economics*, 26(5), 571-580.
- Zolfani, S., Yazdani, M. ve Zavadskas, E. K. (2018). An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*, <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3092-2>.
- Zutshi, A. ve Grilo, A. (2019). The emergence of digital platforms: A conceptual platform architecture and impact on industrial engineering. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 546-555 <https://doi:10.1016/j.cie.2019.07.027>.