



Araştırma Makalesi • Research Article

Digital Twin As A Cost Reduction Method And Their Place In The Automotive Industry
Maliyet Düşürme Yöntemi Olarak Dijital İkiz ve Otomotiv Endüstrisindeki Yeri

Haluk BENGÜ¹

Can FİDANCAN²

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25 July 2021

Received in revised: 6 November 2021

Accepted: 7 November 2021

Keywords:

Digital Twin

Production Costs

Automotive Industry

ABSTRACT

The digital twin, which has recently attracted the attention of developed countries and multinational enterprises, is one of the main concepts associated with Industry 4.0. The digital twin's error-free, in line with the demands and short-term output information enables businesses to reduce their costs. Therefore, the digital twin has been used in many fields and businesses. In particular, the automotive industry, where competition is high, customer demands are at the forefront, equivalent to the world's sixth largest economy and cost calculations are very sensitive, is one of the industries where digital twin is widely used. The literature review reveals that there are not enough studies about the digital twin and the use of digital twins in the automotive industry. In this study, information is given about the concept of the digital twin and its development process, the effect of the digital twin on the operating costs, the use of the digital twin in countries and its place in the automotive industry.

MAKALE BİLGİSİ

Makale geçmişi:

Başvuru tarihi: 25 Temmuz 2021

Düzeltilme tarihi: 6 Kasım 2021

Kabul tarihi: 7 Kasım 2021

Anahtar Kelimeler:

Dijital İkiz

Üretim Maliyetleri

Otomotiv Endüstrisi

ÖZ

Son dönemde gelişmiş ülkelerin ve çok uluslu işletmelerin dikkatini çeken dijital ikiz, Endüstri 4.0 ile ilişkili ana kavramlardandır. Dijital ikizin hatasız, oluşabilecek taleplere uygun ve en kısa sürede çıkış bilgilerini vermesi işletmelerin maliyetlerinin düşmesini sağlamaktadır. Bundan dolayı dijital ikiz birçok alan ve işletmede kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle rekabetin yüksek, müşteri taleplerinin ön planda yer aldığı, dünyanın altıncı büyük ekonomisine eşdeğer sayılan ve maliyet hesaplarının çok hassas olduğu otomotiv endüstrisi dijital ikizin yaygın olarak kullanıldığı endüstrilerin başında yer almaktadır. Yapılan literatür taraması dijital ikiz ve otomotiv endüstrisinde dijital ikiz kullanımı ile ilgili yeterli sayıda çalışma olmadığını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda çalışmanın amacını, maliyet düşürme yöntemi olarak dijital ikiz ve otomotiv endüstrisindeki yerinin kavramsal çerçevede incelenmesi, literatüre ve uygulamacılara öneriler sunması oluşturmaktadır. Çalışmada, dijital ikiz kavramı ve gelişim süreci, dijital ikizin işletme maliyetlerine olan etkisi, ülkelerin dijital ikiz kullanımları ve otomotiv endüstrisindeki yeri hakkında bilgiler verilmiştir.

¹ Prof. Dr., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İİBF, Muhasebe ve Finansman ABD, hbengu@ohu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7751-0285

² Öğr. Gör., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Ulukışla MYO, Muhasebe ve Vergi Bölümü, canfidancan@ohu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5724-1919

GİRİŞ

İnsanların yerleşik hayata geçmelerine ve yeni bir dünya düzeninin oluşmasına neden olan tarım devriminin ardından, 18. yüzyılda İngiltere’de ortaya çıkan sanayi devrimi ile gelişen toplumların üretimde yeni teknolojileri kullanması Endüstri 1.0’ı ortaya çıkarmıştır. Ardından elektrik gücünün kullanılması ile seri üretime geçilmesi Endüstri 2.0 döneminin özelliğini oluştururken; bilgi teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte de Endüstri 3.0 üretimi otomatikleştirmiştir. Son olarak otomasyon sistemlerinin birbirleri ile veri alışverişi yapabildikleri kolektif bir bütün olarak Endüstri 4.0 ortaya çıkmıştır (Özdemir ve Özgüner, 2018:41). İhtiyaçları sensörlerle algılayıp internet ağı yardımı ile üretim bilgilerini büyük veriden çeken akıllı fabrikalar düşüncesini oluşturan Endüstri 4.0 temelde nesnelere interneti, hizmetlerin interneti ve siber-fiziksel sistemler olmak üzere üç yapıdan meydana gelmektedir (Alçın, 2016:20). Nesnelere interneti, bir ağ üzerinde herkes ve her şeyin birbiri ile bağlantı olması olarak tanımlanmaktadır. Hizmetlerin interneti, işletmelerin müşterileri ve hizmet sağlayıcıları arasında iş ağının oluşmasına yardım etmektedir. Fiziksel ve siber dünyanın birbirleri ile olan ilişki bütünü tamamı siber-fiziksel sistemler olarak isimlendirilmektedir (Erturan ve Ergin, 2017:15).

Siber-fiziksel sistemlerin üretim sistemleri içinde uygulanması “Akıllı Fabrika” olarak adlandırılmaktadır (Alçın, 2016: 26). Ortaya çıkan çok sayıda veri gerçek zamanlı olarak planlama için simülasyon ve optimizasyon araçları ile işlenip, analiz edilerek değerlendirilmektedir (Boschert ve Rosen, 2016:71). Bu bütünleşme, işletmelerin finansal ve mali verilerini aynı zamanda görerek karar alma süreçlerini hızlandırmaktadır (Özen ve Gürel, 2020:16). Birçok endüstriyel alanda kullanılabilecek ve büyük potansiyeli olan simülasyon tabanlı planlama ve optimizasyon konseptlerinden bir tanesi dijital ikizdir (Tao vd., 2018:3566). Dijital ikiz gerçek zamanlı olarak sensörler yardımı ile elde ettiği verileri bilgisayar ortamına aktarmakta ve bilgisayar ortamında sanal bir ikiz oluşturulmaktadır (Yükçü ve Aydın, 2020:564). Dijital ikiz fiziksel ve siber dünya arasında köprü işlevi yerine getirerek işletmelerin akıllı üretim ve hassas yönetim ile yönetilmesine imkan sağlamaktadır (Qi ve Tao, 2018: 3589). Gerçek dünyanın aynası olan dijital ikiz fiziksel üretim sistemlerini ve süreçlerini simülasyon ile tahmin ve optimize etmektedir (Lu vd., 2019: 2).

Yapay zekaya sahip olan dinamik ve küresel bir pazara hitap etmek için üretim süreçleri yeniden yapılandırılmaktadır (Zhong vd., 2017:616). Üretim süreçlerinde meydana gelen bu paradigma değişikliği İngiltere’de “UK Industry 2050”, Japonya’da “Society 5.0”, Almanya’da “Industrie 4.0”, Çin’de “Made in China 2025” ve ABD’de “Advanced Manufacturing Partnership” gibi dünyanın çeşitli ülkelerinde üretim endüstrisi ile yeni nesil bilgi teknolojisinin entegre edilmesine odaklanmakta ve akıllı üretimi teşvik etmektedir (Zhou vd., 2018:11). Dijital ikiz küçük ve orta büyüklükteki işletmeler (KOBİ) ile büyük işletmelere tüm fiziksel süreçlerin gerçekleştiği ve bilgi akışlarına ihtiyaç duydukları anda ve yerde olmalarını sağlamaktadır (Zhong vd., 2017:616).

Son dönemlerde doğası değişen üretim sistemleri birçok işlev sunmaktadır. Geçmişte “elektro-mekanik” olarak isimlendirilen çok sayıda ürün farklı disiplinlerin bir arada kullanılması ile “mekatronik” ürünlere dönüşmüştür. Bu değişimler karmaşıklığa hakim olma ve disiplinler arası köprü inşa etme yöntemi olarak simülasyonun öneminin gelecekte daha da artacağını göstermektedir (Boschert ve Rosen, 2016:61-62). Bu bakımdan dijital ikiz teknolojisi üretimde siber-fiziksel sistemlerin inşası, fiziki ve siber dünya arasındaki uçurumu kapatabilecek bir teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır (Zhou vd., 2018:1037).

Küresel dünyada çok sert bir rekabet ortamının varlığı piyasa fiyatlarını kontrol edemeyen işletmelerin, üretim maliyetlerine odaklanmasını zorunlu kılmaktadır. Akıllı üretimlerdeki gerçek zamanlı ve eksiksiz sunum probleminin çözümünü dijital ikiz mümkün kılmaktadır. Bu nedenle dijital ikiz’in gerçekleşmesi endüstriyel uygulamalar bakımından kilit konudur. Dijital ikiz ve akıllı üretim kombinasyonu üretimi daha verimli, akıllı, uygulaması daha kolay ve daha düşük maliyetli hale getirmektedir (He ve Bai, 2020:1).

Dijital ikiz konusunda literatür incelendiğinde; Tuegel vd. (2011) tarafından ABD Hava Kuvvetlerinin uçakların ömrünü tahmin etmek ve uzatmak, Li vd. (2017) tarafından uçak gövdelerinin sağlamlştırılması, Tao vd. (2018) tarafından ise karmaşık ve zorlu bir ortamda sağlık yönetimi ve

prognostik döngüsünün izlenmesi gibi konular üzerine çalışmaların olduğu görülmektedir. Ancak bunun yanında maliyetlerin hassas bir şekilde analiz edildiği, rekabetin yüksek olduğu ve otonom gelişmeleri yakından takip eden otomotiv endüstrisinde dijital ikiz konusunda bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın temel amacı maliyet düşürme yöntemi olarak dijital ikiz ve otomotiv endüstrisindeki yerinin kavramsal çerçevede incelemek, Türkçe literatüre katkı sağlamak ve uygulamacılara öneriler sunmaktır.

Çalışma giriş ve sonuç bölümleri hariç olmak üzere toplam dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kavramsal çerçeve üzerinde durulmuş ve dijital ikiz genel olarak ele alınmıştır. İkinci bölümde dijital ikizin kullanım alanlarına değinilmiştir. Üçüncü bölümde dijital ikizin üretim maliyetlerine etkisine yer verilmiştir. Dördüncü bölümde otomotiv endüstrisinde dijital ikiz ele alınarak sonuç bölümünde çalışma sonuçları tartışılmış, literatüre öneriler sunulmaya çalışılmıştır.

1.KAVRAMSAL ÇERÇEVE

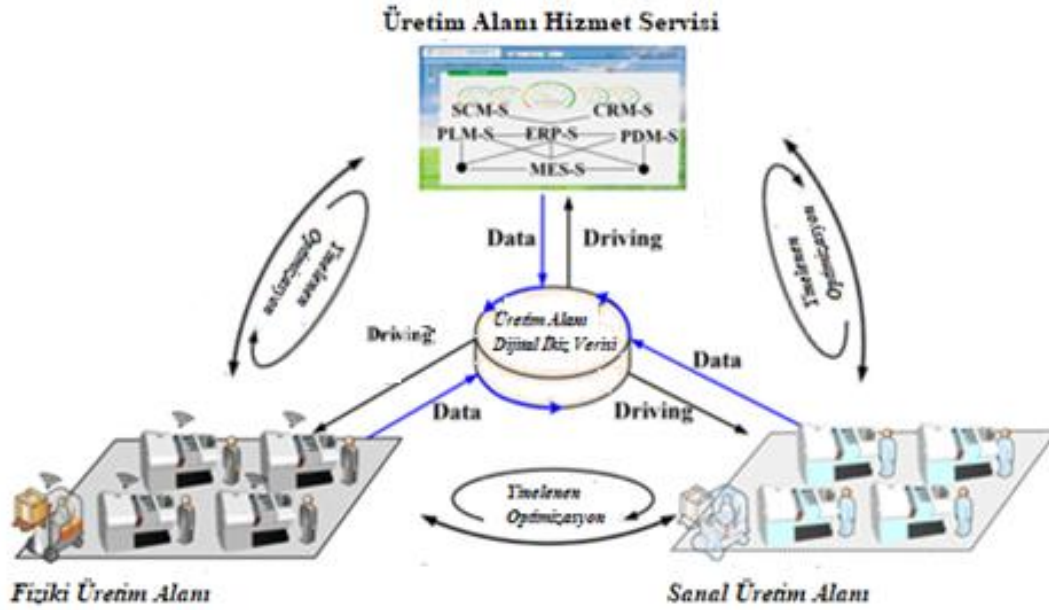
Henüz dijital ikiz kavramının literatürde kabul görmüş bir tanımı bulunmamaktadır. Çeşitli tanımlarda kabul edilen spesifik noktalar bulunmaktadır. Öncelikle dijital ikiz teknolojisi sayısal bir olgudur ve bir nesne ya da hizmetin fiziki olmasa bile sanal olarak kopyasının oluşturulmasıdır. Dijital ikize nesnelere interneti aracılığıyla fiziki ortamdaki veriler tam zamanlı olarak aktarılmaktadır. Bu veriler analiz edilerek sonuçlar kısa bir sürede zaman ve maliyet kaybı yaşanmadan öngörülmekte ve üretim öncesi sorunlar tespit edilmektedir (Yükçü ve Aydın, 2020:566). Sorunların önceden belirlenmesi bir üretim işletmesinin üretim hattının dijital olarak test edilmesi, üretim zaman ve maliyetinde tasarruf sağlamak ve riskleri de azaltmaktadır (thinktech, 2021). Daha yalın bir anlatımla, üretim aşamalarına ait bütün veriler öncelikli olarak dijital ortamda modellenmektedir. Bundan sonraki süreçte elde edilen veriler ışığında gerçek üretime geçilmektedir. Örneğin dijital ikiz otomotiv endüstrisinde aracın sanal modelinin kısmen ya da tamamen yapımı için kullanılabilir. Otomobil üretim hattına girmeden yapay zeka otomobili üretmenin en ideal yolunu saptamaktadır. Simülasyonlar üretilen modelleri analiz ederek arıza, aşınma gibi sorunları tahmin edebilmektedir. Otonom araçlarda yol testi ve bakımının yerine dijital ikizlerin kullanılması birçok maliyet kaleminde öngörülemeyen harcamaların önüne geçeceği ve tasarruf sağlayacağı öngörülmektedir (Bhatti vd., 2021:7).

Dijital ikiz kavramı 2003 yılında Grieves'in öncü çalışmasında önerilmiş ve somut bir açıklama olmaksızın fiziki, sanal ve bunlar arasındaki üç boyutlu kavramsal bir çerçeve içerisinde açıklanmaya çalışılmıştır (Grieves M., 2014:4). Dijital ikiz NASA'nın Apollo programına dayanmaktadır. 2010 yılında mühendislerin uzaydaki görevleri sırasında uzay aracının ikizi mevcut uçuş verilerini ve uçuş koşullarını mümkün olduğu kadar yansıtmak ve alternatifleri simüle etmek amacıyla yeryüzünde kullanılmıştır (Boschert ve Rosen, 2016:64).

Dijital ikiz, üretim yapan işletmelerin üretim süreçlerinin iyileştirilmesi, müşterilerin ihtiyaçlarını analiz ederek ürünlerin tasarım ve lojistiğinin sağlanması, doğal kaynakların korunması, üretim ve zaman maliyetlerinin düşürülerek işletmelerin karlarının artırılmasına da yardımcı olabilmektedir (Tao vd., 2019:19). Dijital ikiz, geleneksel tasarım sürecindeki eksiklikleri, üretim sisteminin yeniden yapılandırılmasındaki önemli maliyetlerinden kaçınarak fiziki ekipman ve siber modelin döngüsel simülasyonunu gerçekleştirir (Liu vd., 2021:52).

Dijital ikiz karmaşıklaşan sistemlerin kontrolünün sağlanmasında faydalı bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır (Akçayır vd., 2016:340). Yakın gelecekte milyarlarca nesnenin dijital ikizlerle yönetilmesi beklenmektedir (Erturan & Ergin, 2018). 2019 yılında yapılan Gartner anketi nesnelere interneti teknolojisini kullanmakta olan işletmelerin % 75'inin hali hazırda dijital ikiz teknolojisini kullandığını veya birkaç yıl içerisinde dijital ikiz kullanmayı planladığını belirtmektedir (Gartner, 2019).

Dijital ikiz modellemesi dört bileşenden oluşmaktadır. Bunlar: Üretim alanı hizmet servisi, fiziki üretim alanı, sanal üretim alanı ve üretim alanı dijital ikiz verileridir. Bu verilerin birleşiminin modellenmesi Şekil 1'de dijital ikizin kavramsal modelinde yer almaktadır.



Şekil 1: Dijital İkiz Kavramsal Modeli

Kaynak: (Tao vd., 2019:93).

Şekil 1’de görüldüğü üzere fiziki üretim alanında personel, malzeme, ekipman, makinelerin çalışma durumu gibi bir takım üretim kaynakları yer almaktadır. Sanal üretim alanında, önceden tanımlanmış siparişler, simüle edilmiş analiz sonuçları, tahmin edilen durumlar yer almaktadır. Üretim hizmet servislerinde, pazar verileri, kaynaklar için zamanlama, makine bakım stratejileri yer almaktadır. Fiziksel üretim alanı, sanal üretim alanında tamamlanmış olan üretim verilerini ve üretim hizmetlerini takip etmekte ve üretim organizasyonunu buna göre yapmaktadır. Dijital ikiz üretim alanı verileri, fiziki, sanal, hizmet ve bunların birleştirilmiş verilerini modelleyen, optimize eden ve tahmin eden bilgileri içermektedir. Üretilen ürünler elde edildikten sonra, teslimat, maliyet, stok, kalite vb. gereksinimler ortaya çıkmakta ve yeni üretim için tekrar analiz edilmektedir.

Akıllı üretim daha iyi kalite, yüksek üretkenlik, düşük maliyet ve esnek üretim sağlamaktadır. Sürdürülebilir üretimin gelişmesiyle de dijital ikiz teknolojisi akıllı üretim sistemlerinin durumunu gerçek zamanlı olarak kavrayabilen ve sistem arızalarını öngörebilen akıllı üretimde kullanılan yeni bir teknolojidir. Dijital ikize dayalı sürdürülebilir akıllı üretim, pratik uygulamalarla kıyaslandığında bazı avantajlara sahiptir (He ve Bai, 2020:1). Dijital ikizin tüm sektörlerde uygulanabilir avantajları (Tao vd., 2019:17):

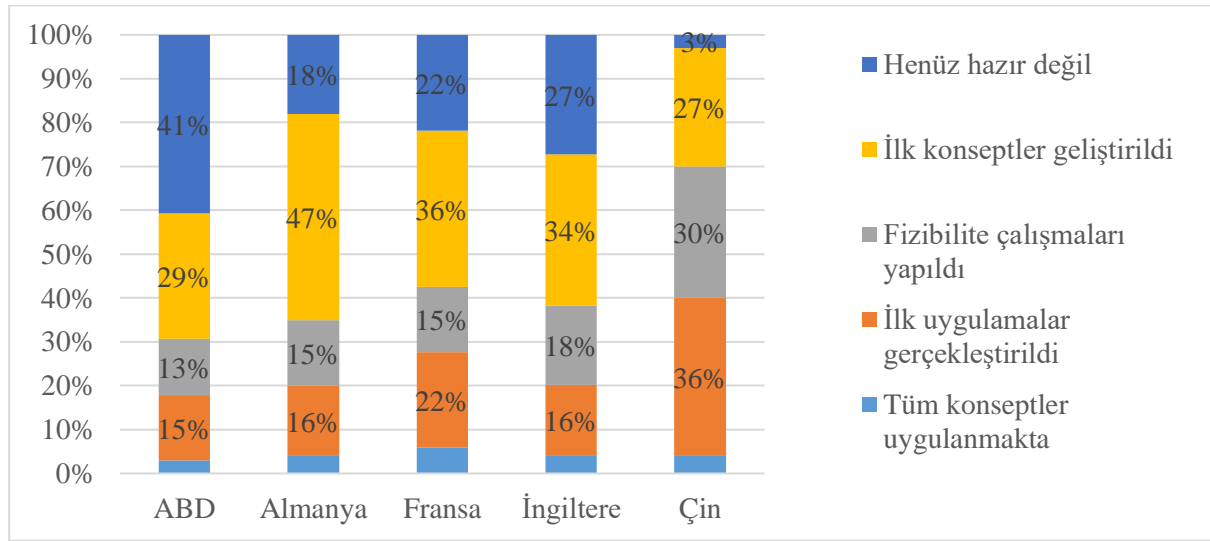
- Proaktif karar alınması ve verimliliğin artırılması
- Ortaya çıkması muhtemel sorunlardan kaçınılması
- Yeni ürün geliştirilme sürecinin kısaltılması
- Yeni ürünün piyasaya çıkma süresinin kısaltılması
- Heterojen verileri farklı bölümlere entegre ederek bölümler arasındaki iş birliğinin sağlanması şeklinde sıralanabilmektedir.

Diğer teknolojilerle bütünleşerek varlığını sürdüren dijital ikiz teknolojisi, elde bulunan verileri analiz ederek kararların değerlendirildiği, uzaktan kontrol edilebilen, sistemsel süreçlerle bağlantılı, sorunları önceden çözebilen ve kontrol maliyetlerini düşüren bir model olarak değerlendirilebilmektedir (seebo, 2020).

Dijital ikiz teknolojisinin kullanım alanları incelendiğinde denetim, analiz, maliyet kontrolü, geliştirme vb. geniş bir kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. İnşaat, sağlık, havacılık gibi birçok alanda dijital ikiz teknolojisinin kullanıldığı görülmektedir. Nesnelerin interneti, sanal gerçeklik gibi farklı teknolojilerle birlikte bütünleşik olarak kullanılan dijital ikiz teknolojisinin gereksinimi olan alanlarda kullanılabilir (Göçen, 2020:165-166).

2. DİJİTAL İKİZİN KULLANIM ALANLARI

Dijital ikiz teknolojisinin oldukça geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Üretim, prognostikler ve sağlık yönetimi dijital ikiz kullanımlarının en yaygın olarak kullanıldıkları alanlardır. Bu alanlar dışında otomotiv, enerji, havacılık, savunma sanayi, taşımacılık ve kamu hizmetlerinin dijital ikiz kullanım oranlarının diğer sektörlerle oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Dijital ikize en çok ilgi gösteren ülkeler ise ABD, Çin ve Avrupa'dır (Tao vd., 2019:29). Boston Consulting Group (BCG) firması 2017 yılında ABD, Almanya, İngiltere, Fransa ve Çin ülkelerinin dijital dönüşüme ne kadar hazır olduğu ile ilgili bir 1529 işletmenin yer aldığı bir anket yapmıştır. Bu çalışmaya ait veriler Grafik 1'de yer almaktadır.



Grafik 1: Ülkelerin Dijital Teknolojilere Hazırlık Durumu

Kaynak: (BCG, 2021).

Grafik 1'de yer alan verilerin analizinde ABD'den 315, Almanya'dan 312, Fransa'dan 322, İngiltere'den 322 ve Çin'den 258 işletme çalışmaya katılmıştır. Çalışmaya katılan işletmelerin tamamında dijital dönüşüm olumlu bir gelişim sağladığı görülmektedir. Çin'de yer alan işletmelerin diğer ülkelere kıyasla dijital teknolojileri uygulamaya daha hazırlıklı olduğu ve Çin'deki işletmelerin yalnızca %3'ünün dönüşüme hazır olmadığı görülmektedir (TC Kalkınma Bakanlığı, 2018:9).

Günümüzde artık birçok küresel işletme dijital ikizin üretim süreçlerine katmış olduğu değerlerin farkındadır ve Ar-Ge için yüksek tutarlı kaynak yatırmaktadır. Birçok sektörde kullanılabilen dijital ikizin kullanılmakta olduğu küresel işletmelerin bir kısmı Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Dünyada Dijital İkiz Teknolojisini Uygulayan Çeşitli İşletmeler

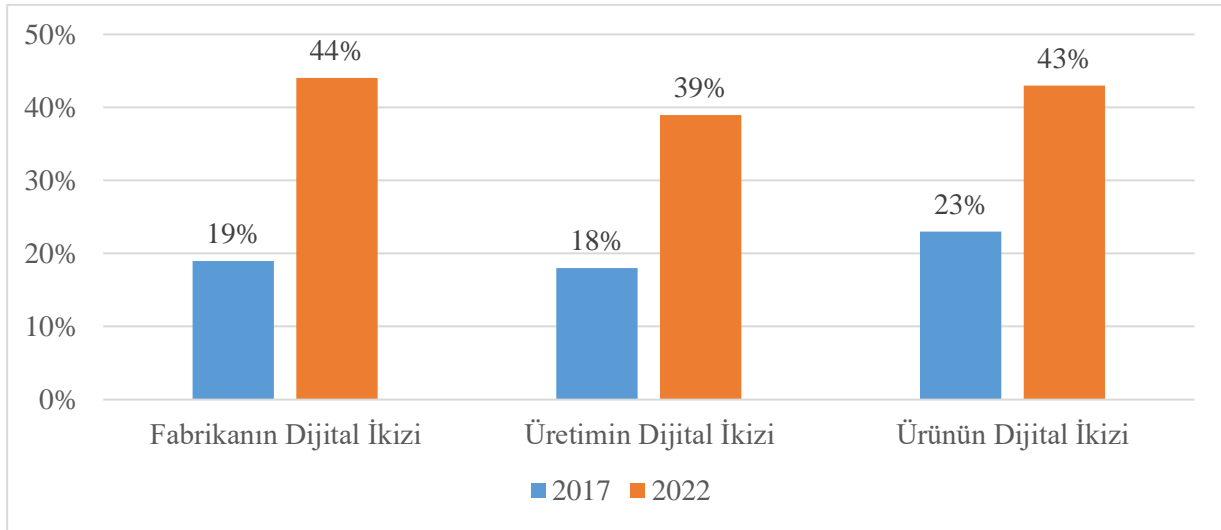
İşletme	Ülke	Sektör	Faydaları
<i>Strata</i>	Brezilya	Traktör Üreticisi	Ekipman performansında, enerji tüketiminde, maliyet girdilerinde gözle görülür iyileşme, ekipman arızasında azalış, yaratılan yeni iş modeli ile çiftçilerin kullandığı

			tohum miktarında %21 gübre miktarında %19 düşüş kaydedilmiştir.
Kaesar	ABD	Kompresör İmalatı	Dijital ikiz sayesinde sadece ürün değil hizmet satışına da başlamıştır. Kurulan ekipmanların durumları takip edilerek sabit fiyat yerine işletmelerin kullanımları ölçüsünde fiyatlandırma yapılmaktadır.
Tesla	ABD	Otomotiv	Üretilen her araç için dijital ikiz kullanarak düzenli bir şekilde araçlarda yazılım güncellemesi sağlanmakta ve araçların geri çağırılması önlenmektedir. Üretim süreci kısaltmakta, enerji tüketimi ve malzeme stoğu azalmaktadır.
Maserati	İtalya	Otomotiv	Ghibli modeli dijital ikiz ile donatılmıştır. Böylelikle, yeni ürün geliştirme süresi %30 kısaltılmış, ürünlerin pazara çıkış süresi 30 aydan 16 aya düşerek üretilen araç sayısı üç kat artmıştır.
Adidas	Almanya	Spor	Speedfactory fabrikasında dijital ikiz kullanılmakta ve ürünlerin üretim öncesi simüle, test ve optimizasyonu sağlanmaktadır. Dijital ikiz sayesinde maliyetlerde düşüş, üretim süresinde artış sağlanmıştır.
GE	ABD	Çeşitli	3500 tonluk jeneratörlerin montaj işlemlerinde dijital ikiz teknolojisinden faydalanılarak ciddi bir maliyet tasarrufu sağlanmıştır.
Chevron	ABD	Enerji	Bakım maliyetlerinde milyonlarca dolarlık tasarruf edilmiştir.
Singapur	Singapur	Şehir Devleti	Ülke dijital ikiz ile vatandaşlarının yaşamını iyileştirirken enerji tüketiminde tasarruf etmektedir.
Formula 1	Küresel	Spor	Sürücünün her hamlesi ve otomobil ekipman ayarlarının performansı test edilmektedir.
Paccar	ABD	Kamyon İmalatı	Dijital ortamda kamyon motorları oluşturmakta ve bu sayede bakım sürelerini %20 oranında azaltmaktadır.
Aurus	Rusya	Çeşitli	Rusya devlet başkanına Cortege isimli limuzin üretebilmek için sanal prototipleme ve doğrulama gerçekleştirme aşamalarında dijital ikiz kullanılmıştır. Aracın üretim döngü süresi 5- 7 yıl iken dijital ikiz ile bu süre sadece iki yıl dört aya indirilmiştir.
Boeing	ABD	Uçak İmalatı	Dijital ikiz teknolojisi kullanılarak ticari ve askeri uçak üretiminde kullanılan parça ve sistemlerinde %40'a varan iyileşme sağlanmaktadır.

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 1’de dijital ikiz kullanımına birkaç örnek verilmiştir. İşletmelerin bakım-onarım ve üretim gibi maliyetlerini azaltma, üretim süreçlerini iyileştirme ve karlılık beklentileri arttıkça işletmelerin

dijital ikize olan talepleri artmaktadır. Örneğin, 14 bin askeri uçağı bulunan ve yıllık bakım-onarım maliyetlerinin 75 milyar USD olduğu ABD askeri kuvvetlerinin maliyetlerini düşürebilmek adına dijital ikizi kullanmaya hazırlandığı gazete kaynaklarında yer almaktadır. Bu maliyetlerde meydana gelen %1’lik bir azalışın bile ne kadar yüksek bir kaynak sağladığı görülmektedir (gazetevatan, 2021). Çin’de Changying Precision Technology Company isimli bir teknoloji işletmesi ise üretimini tam anlamıyla otomasyona dönüştürmeden önce işletmede 650 işçi çalışırken bu sayı 60’a düşmüş ve bu çalışanlarda yalnızca bilgisayarlar üzerinden süreçlerin takibini yerine getirmektedir. İşletmenin verimliliğindeki artış %250 artarken ortaya çıkan arıza ise %80 oranında azalmıştır (Javelosa, 2021). Türkiye’de yer alan Türk Havacılık ve Uzay Sanayisinde tasarım, geliştirme, modernizasyon, üretim, entegrasyon, yaşam döngüsü ve maliyetlerini düşürmek için dijital ikiz kullanılmaya başlanmıştır (Siemens, 2018). 2017 yılına ait fiili dijital ikiz kullanımları ve 2022 yılına kadarki süreçte dijital ikize katılım ile ilgili PWC’nin “Dijital Fabrikalar 2020” çalışmasındaki anket sonuçları Grafik 2’de yer almaktadır.



Grafik 2: Farklı Aşamalarda Dijital İkizin Beklenen Gelişimi

Kaynak: (PWC, 2021).

Grafik 2’de görüldüğü üzere fabrikaların dijital ikize geçme oranının %132, üretimin dijital ikize geçme oranının %117 ve ürünün dijital ikize geçme oranının da %87 oranında artacağı düşünülmektedir. Ayrıca ankete katılan işletmelerin en az yarısının 2022 yılına kadar dijital ikizi kullanacağı da belirtilmektedir (PWC, 2021).

Küresel olarak dijital ikiz pazar büyüklüğü 2020 yılında Covid-19 pandemisi nedeniyle hafif bir düşüş yaşasa da 5 milyar ABD doları olarak gerçekleşmiştir. 2021 yılında ise bu pazar büyüklüğünün yaklaşık 7 milyar ABD doları olacağı tahmin edilmektedir (grandviewresearch, 2021). 2026 yılında ise küresel dijital ikiz pazarının 48.2 milyar ABD doları olacağı öngörülmektedir (marketsandmarkets, 2021).

3. DİJİTAL İKİZİN ÜRETİM MALİYETLERİNE ETKİSİ

1960’lı yılların başlarında el ile stoklama yöntemlerinin kullanılması stoklarda sipariş ve taşıma maliyetine katlanılmasına yol açmıştır. 1970’li yılların başlarında ise üretimlerin artması ve seri üretimlere geçilmesi hammadde ve tedarik problemlerine yol açmıştır. İşletmelerin hammadde ihtiyaçlarının belirlenmesi ve tedarik sürelerinin hesaplanmasında bilgisayarlar kullanılmaya başlanmış ve Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) ortaya çıkmıştır. MRP’nin stoka yönelik üretim yapmasının yetersizliği, siparişe yönelik üretim ihtiyacını doğurmuştur. Satış verilerinin tahmin edilmesi ihtiyacı da Üretim Kaynakları Planlamasını (MRP II) ortaya çıkarmıştır (Karacan ve Bayram, 2019:1119). İşletmeler arasında rekabetin artması üretim maliyetini, üretim sürecini azaltan bunun yanında mamulün kalitesini arttıran bütünleşmiş sistemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu dönemde ürünü geliştiren ve

süreci bütünleştiren Bilgisayarla Bütünleşik Üretim (CIM) ve işletmelerin dağıtım kanallarını içinde barındıran Dağıtım Kaynakları Planlaması (DRP) ortaya çıkmıştır (Kumaş ve Erol, 2021:694).

2000'li yıllarda işletmelerin uluslararası bir biçimde faaliyet gösteriyor olması artık yalnızca üretim alanında değil hizmet alanında da ihtiyaçların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Ürünlerin tasarımı, bilgi depolama, malzeme ve kapasite planlaması, insan kaynakları, iletişim sistemleri, finans ve projelerin yönetilmesi ihtiyacı Kurumsal Kaynak Planlamasını (ERP) ortaya çıkarmıştır. ERP'nin üzerine müşteri ilişkileri ve tedarik zinciri yönetimleri ile iş zekasının eklenmesi de ERP II'yi ortaya çıkarmıştır (Umble, Haft ve Umble, 2003:242).

Birçok gelişmiş teknoloji üretim süreçleri, bütünleşmiş olsa bile sistemlerde bir arıza, gerçek ve kaydedilen verilerin aynı anda çalışmamasından kaynaklı hesap hataları, optimum üretim noktalarında hatalı sonuçların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Hatalı sonuçların ortaya çıkması ise işletmenin karlılığında düşüş, müşteri memnuniyetsizliği ve işletme verimliliğinde düşüş olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu durum Endüstri 4.0 ile birlikte verilerin anlık elde edilmesi, bu verilerin işlenmesi ve üretim süreçlerinin analiz edilerek verilerin kesintisiz aktarılmasına olanak sağlamaktadır (Kumaş ve Erol, 2021:695). Dijital ikiz ise Endüstri 4.0'ın işletmelerde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Dijital ikiz bir fiziki üretim alanının sadece bir kopyası değildir. Aynı zamanda üretilen ürünlerde ortaya çıkabilecek olan her türlü olasılığı değerlendirerek fiziki alanda üretilecek olan ürünün kendini yönetebilmesi ve karar vermesini sağlamaktadır.

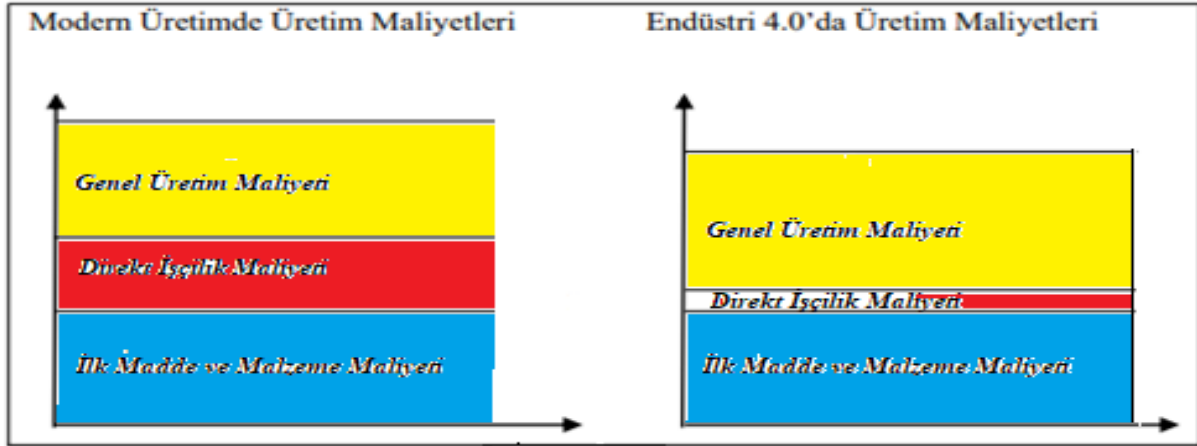
Dijital ikiz teknolojisiyle tasarım, üretim sürecinin iyileştirilmesi, geliştirilmesi, bakım-onarım ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine çözümler bulmak mümkün hale gelmektedir. Fiziki olarak bir işletmenin, ürünün vb. herhangi bir nesnenin test edilmesi, kurulması maliyetli bir işlemdir hatta bazı kalemlerin maliyetleri tam bilinmediğinden üretime hiç başlanmamaktadır. Dijital ikiz teknolojisi ile birlikte gerçek verilerin kullanılarak dijital ortamda sanal bir ikizinin var olması çözümleri ve işlemleri, maliyet ve uygulanması açısından kolaylaşmıştır (Yükçü ve Aydın, 2020:571).

Dijital ikiz, geleneksel üretim yöntemlerinin maliyet düşürme yöntemlerine kıyasla etkin maliyet düşürme yöntemleri ve daha yüksek verimlilik artışı sunabilmektedir (Kumaş ve Erol, 2021:694). Dijital ikizin etkisi şu şekilde örneklendirilebilir: Odanız içerisindeki eşyalarımızın düzenini değiştirirken harcadığımız zaman ve yorgunluğa kıyasla odanın yeni şeklini beğenmeyebilir, yeni kombinasyonlar deneyebilir ancak bu kombinasyonlardan da memnun kalmayabilirsiniz. Dijital ikizle önce odanın nasıl yerleşeceğine karar verip daha sonra uygulamaya geçilmesi eşyaların yıpranmasının önüne geçerek, zaman maliyeti ve gereksiz iş gücünün önüne geçilmesi gibi faydalar sağlamaktadır (Yükçü ve Aydın, 2020:573).

Grieves ve Vickers (2012) çalışmasında, dijital ikizin maliyetleri azalttığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmaya göre maliyetlerin azalmasını sağlayan üç neden bulunmaktadır. Bunlar; tasarımda gerçek verilerin kullanılması ile kısa sürede doğru sonuca ulaşılması, dijital ikizin her parçayı kontrol etmesi nedeni ile hatalı parçaların ayıklanması ve gerçek zamanlı takip ile bakım-onarım sürelerinin önceden tahmin edilmesidir (Grieves ve Vickers, 2012:86).

Dijital ikiz teknolojisi küresel dünyada rekabet üstünlüğü sağlayan modern bir sistemdir. Ortaya çıkan bu üretim sisteminin amacı minimum maliyetle maksimum verimliliğin sağlanmasıdır. Modern üretim sistemleri ürünlerin maliyetlerinin oluşumunda direkt işçilik maliyetlerinin ağırlığının azalmasına neden olmaktadır (Gökten, 2018:887). İşletmelerde otomasyon sistemlerinin kullanılmasının yaygınlaşması ile direkt işçilik maliyetlerinde meydana gelen bu düşüş genel üretim maliyetlerinde bir artışa neden olmaktadır (Coşkun Arslan ve Demirkan, 2019:51). Ancak genel üretim maliyetlerinde beklenen bu artış direkt işçilik maliyetlerinde beklenen azalıştan daha yüksek olacağı söylenebilir. Dolayısıyla üretim maliyetlerindeki azalışın önemli boyutta olması beklenmektedir. Çünkü akıllı fabrikalarda işçilik maliyetlerinin neredeyse sıfırlanacağı düşünülmektedir. Hatta fabrikalarda Endüstri 4.0 ile yalnızca üretim maliyetlerinde düşüş değil aynı zamanda fire, hata, atıl kapasite, insana özgü hatalar bulunmayacaktır. Lojistik maliyetler, enerji tüketimi, planlama ve tasarım maliyetlerinde de, bir seferde optimum sonuca ulaşılacağından maliyetleri düşürücü bir etki yaratacağı sonucu

çıkarılabilmektedir (Terzi, 2021:861). Grafik 3’de ürün maliyetlerinde yaşanması beklenen değişim görülmektedir.



Grafik 3: Ürün Maliyetlerinde Yaşanması Beklenen Dönüşüm

Kaynak: (Terzi, 2021: 861).

Grafik 3’de görüldüğü üzere modern üretim ile Endüstri 4.0’ın üretim maliyetlerindeki etkisi görülmektedir. Direkt işçilik maliyetleri yok denecek kadar azalmakta, genel üretim maliyetlerinde bir artış meydana gelmektedir. Bu artış direkt işçilik maliyetlerindeki azalma ile kıyaslanamamaktadır. Buda toplam üretim maliyetlerinin azalmasına neden olmaktadır. Piyasalarda gitgide ağırlaşan rekabet şartları, küreselleşme ve teknolojik yenilikler işletmeleri sürekliliklerini sağlamak adına bir taraftan optimum kar hedefiyle çalışmaya diğer taraftan maliyetlerini yönetmeye zorlamaktadır (Yazıcı, 2012:30). Kar oluşumunda temel etkiye; fiyat, işletme yönetimi ve piyasa şartları neden olmaktadır. Ancak işletmeler karlarını arttırmak için maliyetlerini de düşürebilmektedir. Dijital ikiz teknolojisiyle enerji, bakım-onarım, işçilik gibi üretim maliyetlerinin düşürülmesine çözümler bulunabilmektedir (Kalay ve Önder, 2017:92).

İşletmelerde makine parklarının kurulumu, denenmesi, malzeme yüklenme ve boşaltılması, depolama ve kontrol gibi süreçler işletmeye değer katmazlar. Dijital ikiz, bu süreçleri minimize edecek yeni bir yaklaşımdır. Bu bekleme süresinde de maliyetlerde özellikle direkt işçilik giderleri, amortisman, endirekt işçilik, enerji, kira, memur ücreti, üretime düşen vergi-harç, üretime düşen genel yönetim gideri, üretime düşen pazarlama satış ve dağıtım giderleri kalemlerinde tasarruf edilebilmektedir (Yükçü ve Aydın, 2020:574). Dijital ikizin bu avantajları her sektörü ilgilendirmekle beraber özellikle otomotiv endüstrisi gibi rekabetin çok yoğun olduğu, maliyetlerin çok hassas bir biçimde belirlendiği, müşteri taleplerinin sürekli güncellendiği ve bu taleplerin işletmeler açısından ön planda olduğu otomotiv endüstrisinde dijital ikize ayrı bir önem atfetmektedir.

4. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE DİJİTAL İKİZ

Otomotiv endüstrisi, motorlu bir aracın tasarımından başlayarak üretimi ve bakımı gibi çeşitli aşamaları içermektedir (Biesinger ve Weyrich, 2019:1). Ekonomik ve endüstriyel bakımdan önemli olan otomotiv endüstrisi yarattığı katma değer, istihdam, demir-çelik, plastik, akaryakıt, tekstil, vb. farklı sektörlerin gelişimine katkısı ve küresel ticaretteki payı ile önemli bir lokomotifir (Polat, 2020:505).

1899 yılında ilk otomobil fabrikası kurulduğundan bu yana araçlar, fabrikalar sürekli gelişmekte ve rekabetin yoğun olduğu sektörde maliyetleri düşürmek, yenilik ve müşteri taleplerinin karşılanabilmesi hayati önem kazanmaktadır (Biesinger ve Weyrich, 2019:1). Küresel ekonomideki büyüklüğü açısından incelendiğinde otomotiv endüstrisi gördüğü yoğun ilgi ile ulaşım ihtiyacını karşılamasının yanında dünyanın en büyük altıncı ekonomisi de olacak kadar önem teşkil etmektedir (KPMG, 2021). Bu büyük ekonomi içerisinde yer alan Dünyanın en büyük bin işletme sıralamasındaki otomotiv işletmeleri Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2: Dünyanın En Büyük Bin İşletmesi Arasındaki Otomotiv İşletmeleri

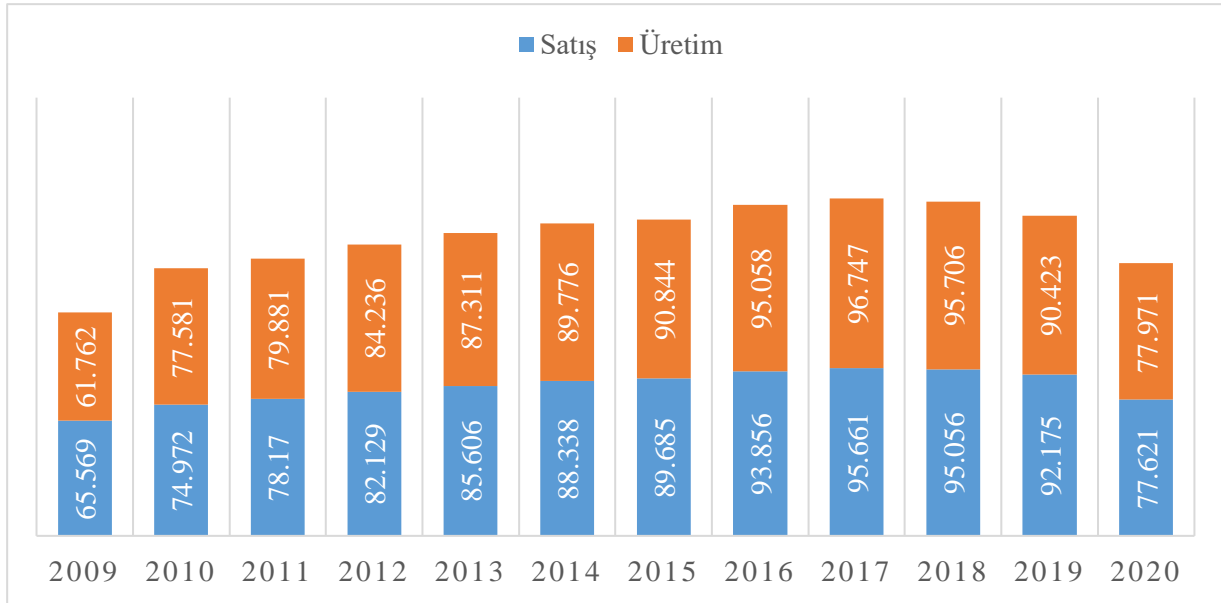
Sıra	Sıralamadaki Yeri	İsim	Ülke	Satışlar	Yıllık Kar	Varlıklar	Piyasa Değeri
1	17	Volkswagen Group	Almanya	254.1 Milyar USD	9.5 Milyar USD	646.4 Milyar USD	147.2 Milyar USD
2	41	Daimler	Almanya	175.9 Milyar USD	4.1 Milyar USD	349.6 Milyar USD	99.2 Milyar USD
3	47	General Motors	ABD	122.5 Milyar USD	6.4 Milyar USD	235.2 Milyar USD	84.6 Milyar USD
4	61	BMW Group	Almanya	112.8 Milyar USD	4.3 Milyar USD	282 Milyar USD	69.8 Milyar USD
5	82	Honda Motor	Japonya	121.8 Milyar USD	3.9 Milyar USD	201.3 Milyar USD	52.8 Milyar USD
6	112	Mitsubishi	Japonya	116.7 Milyar USD	3.1 Milyar USD	179.7 Milyar USD	41.6 Milyar USD
7	139	SAIC Motor	Çin	106.7 Milyar USD	3 Milyar USD	140.6 Milyar USD	36.4 Milyar USD
8	154	Hyundai Motor	Güney Kore	88.1 Milyar USD	1.2 Milyar USD	192.7 Milyar USD	54 Milyar USD
9	215	Volvo Group	İsveç	36.8 Milyar USD	2.1 Milyar USD	62.2 Milyar USD	52.2 Milyar USD
10	262	Tesla	ABD	31.5 Milyar USD	690 Milyon USD	52.1 Milyar USD	710.1 Milyar USD
11	266	KIA	Güney Kore	50.1 Milyar USD	1.3 Milyar USD	55.7 Milyar USD	31.2 Milyar USD
12	392	Ford Motor	ABD	127.1 Milyar USD	-1.3 Milyar USD	267.3 Milyar USD	48.8 Milyar USD

13	420	Suzuki Motor	Japonya	28.5 Milyar USD	1.2 Milyar USD	37.1 Milyar USD	21 Milyar USD
14	458	BYD	Çin	22.3 Milyar USD	584.7 Milyar USD	30.9 Milyar USD	64.9 Milyar USD
15	535	Subaru	Japonya	27.5 Milyar USD	1.1 Milyar USD	32 Milyar USD	15.2 Milyar USD
16	551	Nissan Motor	Japonya	72 Milyar USD	-10.1 Milyar USD	155.3 Milyar USD	20.7 Milyar USD
17	593	Great Wall Motor	Çin	14.6 Milyar USD	786.6 Milyon USD	23.6 Milyar USD	28.8 Milyar USD
18	606	Porsche	Almanya	122 Milyar USD	3 Milyar USD	44.5 Milyar USD	36.2 Milyar USD
19	677	Dongfeng Motor	Çin	15.7 Milyar USD	1.6 Milyar USD	48.4 Milyar USD	8.1 Milyar USD
20	691	Renault	Fransa	49.6 Milyar USD	-9.1 Milyar USD	141.6 Milyar USD	12.6 Milyar USD
21	695	Geely Automobile	Hong Kong	13.4 Milyar USD	794.6 Milyon USD	19.9 Milyar USD	27.6 Milyar USD
22	784	Tata Motors	Hindistan	30.2 Milyar USD	-2.1 Milyar USD	41.8 Milyar USD	16.1 Milyar USD
23	994	Rolls-Royce Holdings	İngiltere	151.1 Milyar USD	-4.1 Milyar USD	40.3 Milyar USD	12.1 Milyar USD

Kaynak: (Forbes, 2021).

Tablo 2’de Dünyanın en büyük bin işletmesi arasında yer alan yirmi üç otomotiv işletmesi incelendiğinde Avrupa ve Japonya’ya ait işletmelerin ağırlıkta olduğu görülmektedir. Satış ve karlılık bakımından öncü olan Avrupa ve Japon otomotiv endüstrisi 2019 yılında küresel çapta yapılan 103.1 milyar USD AR-GE yatırımlarının da sırasıyla %24 ve %27 sini gerçekleştirmiştir (Statista, 2021). Fabrikaları sürekli gelişen ve maliyetlerini düşürmek adına sürekli atılımlar gerçekleştiren otomotiv endüstrisi küresel büyüklüğünün yanında AR-GE çalışmalarına da önem vermektedir. AR-GE çalışmalarlarıyla sürekli gelişen otomotiv endüstrisi günümüzde her yıl milyonlarca otomobil üretmekte

ve milyarlarca dolar gelir elde etmektedir. Dünyanın en büyük endüstrilerinden bir tanesi olan otomotiv endüstrisinin 2009-2020 yılları arasında Dünyada üretim ve satış rakamları Grafik 4’de yer almaktadır.



Grafik 4: 2009-2020 Dünya Otomotiv Sektörü Üretim ve Satışlar (Bin adet)

Kaynak: (OICA, 2020).

Grafik 4 incelendiğinde araç üretim ve satış sayısının 2009 yılından 2017 yılına kadar kesintisiz olarak arttığı görülmektedir. Doğrudan 14 milyon kişiye istihdam sağlayan ve yaklaşık 4.5 trilyon dolar küresel büyüklüğü olan otomotiv endüstrisi için artık otomobil sadece bir ulaşım aracı olmaktan çıkmaktadır (Özden, Seheri ve Ersan, 2020, s. 4). Farklı teknolojileri pekiştirmiş olan basitleşmiş bir endüstriyel meta, ulaşımın basit tarifi olmanın dışına çıkmakta ve artık teknolojik ve akıllı bir cihaza dönüşmektedir (KPMG, 2021). Otomotiv endüstrisi, en son teknolojik yenilikleri kullanan referans bir endüstridir. Siber-fiziksel sistemler, simülasyon ve dijital ikizler gibi kavramlar, fabrikalardan araçlara kadar otomotiv endüstrisinde uygulanmaktadır. Otomotiv endüstrisinde itici güç olarak sanal ve fiziksel dünya arasında bir bağlantı geliştirebilmek dijitalleşmeyi desteklemeye yönelik bir adım olmaktadır (Martinez vd., 2021:1). Günümüzde otomotiv endüstrisindeki dijital teknolojik gelişmeler, bir otomobilin değerinin minimum %50'sini oluşturmaktadır (CCOO, 2018:27). Otomobillerdeki yazılım ve donanımların fazlalığı otomobillerin işlevselliği yanında karmaşıklığını da artırmaktadır. Sürücülerin zevk ve tercihlerinin ön planda olduğu otomotiv endüstrisi dijitalleşme sürecini hızlandırmaktadır (Farahani vd., 2017).

Teknolojideki gelişmeler nedeniyle yapıları karmaşıklaşan araçların yüksek hassasiyetli test ve bakım gereksinimleri doğmaktadır. Dijital ikiz teknolojisiye plansız meydana gelen arıza sürelerinin maliyetini ve riskini azaltmaktadır (Biesinger ve Weyrich, 2019:6). Örneğin, otomotiv gövde üretim hatlarında sıra dışı durumların ortaya çıkması üretim planlamasında bir aksaklığa veya kusurlu ürünlere yol açarak teslimatlar da bir gecikme ortaya çıkarabilmektedir (Son vd., 2021:295). Maliyetlerin düşürülmesine odaklı olan otomotiv endüstrisinin plansız arızaların ne zaman, nasıl ve neden ortaya çıkacağı tahmini rakipler arasında bariz bir üstünlük sağlamaktadır. Dijital ikiz teknolojisinin hatayı önlemesi ve maliyetleri düşürmesi otomotiv endüstrisinin bu teknolojiyi yoğun kullanmasına neden olmaktadır (Tao vd., 2019:45).

Prototipten önce ürün tasarım aşamasında parçaların uyumu gibi sonuçlar tahminler üzerinden test edilebilmektedir. Tasarım aşamasında henüz fiziki bir ürün olmadığından dijital ikiz ile test edilecek çarpışma testleri gibi ürünü geliştirecek ve maliyetli testler işletmeye çok ciddi bir tasarruf sağlayacaktır (Hofbauer vd., 2019:80). Dijital ikizin ürün geliştirme aşamasından itibaren kullanılması üretim süresi

boyunca elde edilen verilerin sonraki aşamalara aktarılmasının temelini oluşturmaktadır. Veri miktarı arttıkça dijital ikizinde görsel imajı büyümekte ve daha sonra fiziki ve dijital ikiz birbirini tamamlayarak gerçek dünyaya girmektedir (Boschert ve Rosen, 2016:70).

Dijital ikiz, otomotiv endüstrisi gibi pahalı bileşenler içeren endüstrilerin hatalı yatırımlardan ya da kötü performans sağlayacak ürünlerden kaçınmalarını sağlamaktadır. Elde edilen veriler ise daha sonra tekrar kullanılabilmesi için saklanmaktadır (Hofbauer vd., 2019:80). Ürünlerin sanal ortamda tasarlandığı, denendiği, üretim planlamalarının talebe göre anlık analiz edildiği siber-fiziksel sistemlerde endirekt giderlerin faaliyet bazında ayrılması da zorlaşacaktır. Bununla birlikte enerji kullanımında meydana gelen artış ve otomasyon yatırımlarının neden olduğu yüksek amortisman harcamaları gibi giderler genel üretim giderlerinin artmasına neden olmaktadır (Gökten, 2018:887-892).

Challenge Advisory firması, otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren ve bir arabayı üretebilmek için 14-17 saat aralığında fiziki zaman harcayan bir müşterisinin bu süreyi dijital ikiz teknolojisi ile 12-13 saat aralığına düşürerek ortalama kar marjını %15-%20 arasında artırmayı istediğini belirtmiştir. Dijital ikiz kullanımı sonucunda ortalama otomobil üretim saatinin 9-10 saat aralığına düştüğü, ortalama kar marjının model başına %41-%54 arasında arttığı ve ilaveten makinelerin toplam arıza süresinin %37 azaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Challenge Advisory, 2021). Benzer olarak Xie vd. (2021) çalışmasında, otomotiv gövde kontrol sistemiyle ilgili vaka incelemesinde bulunulmuştur. Çalışmada otomobil geliştirme sürecinde, siber-fiziksel tasarım ihtiyaçlarını karşılayabilen, kısa üretim süreci, düşük karmaşıklık ve maliyet ile yüksek ölçeklenebilirlik ve esnekliğe ulaşılmaktadır, Martinez vd. (2021), çalışmada ise Volkswagen işletmesinin İspanyadaki fabrikasında yer alan boya atölyesinde dijital ikiz teknolojisinin kullanımı test edilmiştir. Boya atölyesinde dijital ikiz kullanımıyla, %66'lık bir maliyet düşüşü ve çevrim süresi kayıplarında %16'lık bir azalma olduğunu sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde Silva vd. (2021) çalışmasında, otomobil güvenlik yazılımlarının açıkları dijital ikiz teknolojisi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda ortalama olarak üretim öncesindeki süreçte yazılım başına altıyüz güvenlik açığı ve seksen zayıflık tespit edilmiştir.

SONUÇ

İşletme yöneticilerinin görevi, işletmeleri için en doğru kararları vererek işletmelerinin değer ve kar maksimizasyonuna ulaşmalarını sağlamaktır. Yöneticiler bu görevlerini yerine getirirken maliyet bilgilerinin doğruluğu önem arz etmektedir. Endüstrilerde yaşanan her devrim toplam üretim maliyetleri içerisindeki dağılımın değişmesine neden olmuştur. Endüstrileşmenin başlarında işçilik giderleri üretim maliyetlerinde ağırlıklı bir yere sahipken Endüstri 4.0 ile gelinen noktada işçilik giderlerinin toplam maliyetler içerisindeki yeri azalmış ve genel üretim giderleri artmıştır. Genel üretim giderlerinin artması ise maliyet kontrolünün işletmelerin sürekliliği açısından önemini daha da artmasına neden olmuştur. Dijital ikiz de maliyetlerin düşürülmesinde etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dijital ikiz sayesinde ürünün çok sayıda senaryosu oluşturulmakta bu da gerçek ürün meydana gelmeden sorunların çözülmesine imkan vermektedir. Dijital ikiz bu sayede üretim maliyetlerinin düşmesine ve verimliliğin artmasına olanak sağlamaktadır. Dijital ikiz, fiziksel herhangi bir sürecin gerçek zamanlı veriler kullanılarak simülasyonunun oluşturulduğu gerçek durumun anlık güncellendiği sanal bir model olarak nitelendirilebilir. Bu ikiz; otomobil, jet motoru, gemi, bina, şehir hatta insan herhangi bir şey olabilir. Bu oluşan sanal modeli 3D ya da dijital bir kopyadan farklı kılan, dijital ikizin fiziki alandan elde edilen veriler ile ortaya çıkabilecek olan bütün olasılıkları değerlendirerek, dijital ikizin kendi kendini yöneterek karar vermesidir. Ürünlerin fiziki olarak teste tabi tutulması pahalıdır ve zaman almaktadır. Simülasyon ile her türlü fikri denemek ise maliyetsiz bir laboratuvar ortamı sunmaktadır.

Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojik değişime ayak uyduramayan işletmelerin bu teknolojilere daha hızlı adapte olan ve alt yapısını hazırlamış işletmeler tarafından yok edilmesi muhtemeldir. Teknolojik alt yapının hazırlanmasında hükümetlerin özel sektörleri teşvik etmesi ve bunu hükümet politikası olarak programlarına almaları önem arz etmektedir. Özellikle bu tür teknolojileri kullanabilecek nitelikli personeller yetiştirilmelidir. Dijital ikiz teknolojisinin entegrasyonunda özel sektöre düşük faizli, uzun vadeli destekler tesis edilmeli nitelikli personel desteği verilmelidir.

Rekabet ortamının yoğun olduğu iş dünyası içerisinde maliyetlerini rakiplerinden daha fazla düşürebilen, müşteri taleplerini veriler sayesinde hatasız anlayabilen işletmeler karlarını ve piyasa değerlerini arttırmaktadır. Dijital ikiz hala emekleme aşamasındadır. Uygulamada dijital ikiz kullanan otomotiv endüstrisindeki işletmeler büyük maliyet avantajları elde etmekte ve rakiplerine kıyasla daha avantajlı üretim tekniklerine kavuşmaktadırlar. Rekabet koşullarının zamanla sektörde dijital ikiz kullanmayan diğer işletmelere de yansıtacağı tahmin edilmektedir. Akademik çerçevede dijital ikiz avantajlarını sunan uygulama çalışmaları oldukça sınırlıdır. Literatürdeki bu eksiğin giderilmesi ile otomotiv sektörü dışında da dijital ikiz kullanımı konusunda farkındalık oluşacağı söylenebilir.

KAYNAKÇA

- Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H., & Ocak, M. (2016). Augmented Reality In Science Laboratories: The Effects Of Augmented Reality On University Students' Laboratory Skills And Attitudes Toward Science Laboratories. *Computers in Human Behavior*, 334-342.
- Alçın, S. (2016). Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics*, 19-30.
- Bhatti, G., Mohan, H., & Singh, R. (2021). Towards The Future Of Smart Electric Vehicles: Digital Twin Technology. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 1-18.
- Biesinger, F., & Weyrich, M. (2019). Üretim ve Otomotiv Endüstrisinde Dijital İkizlerin Yönleri. 2019 (s. 1-6). 23rd International Conference on Mekatronik Technology.
- Boschert, S., & Rosen, R. (2016). Digital Twin- The Simulation Aspect. In: *Hehenberger P., Bradley D. (eds) Mechatronic Futures. Springer, Cham.*, 59-74.
- CCOO *Industria*. (2018). Situación y perspectivas en el sector del automóvil: <https://industria.ccoo.es/9ddeee3ef0745110d18ae92f9a4bc706000060.pdf> adresinden alındı
- Coşkun Arslan, M., & Demirkan, S. (2019). Endüstri 4.0 Ve Muhasebe Sistemine Etkisi Üzerine Kuramsal Bir İnceleme. *Enderun Dergisi*, 40-57.
- Erturan, İ., & Ergin, E. (2017). Muhasebe Denetiminde Nesnelerin İnterneti: Stok Döngüsü. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 13-30.
- Erturan, İ., & Ergin, E. (2018). DİJİTAL DENETİM VE DİJİTAL İKİZ YÖNTEMİ. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 810-830.
- Farahani, P., Meier, C., & Wilke, J. (2017). Digital Supply Chain Management Agenda for the Automotive Supplier Industry. *Shaping the Digital Enterprise*, 157-172.
- Forbes*. (2021, 10 13). <https://www.forbes.com/lists/global2000/#574e01235ac0> adresinden alındı
- Gartner*. (2019). Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mainstream> adresinden alındı
- Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and US air force vehicles. *53rd Structures, Structural Dynamics and Materials Conference: Special Session On Digital Twin*, 1818-1832.
- Göçen, S. (2020). Açık ve Uzaktan Öğrenmede Dijital İkiz Teknolojisinin Kullanımına İlişkin Bir Değerlendirme. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 155-173.
- Gökten, P. (2018). Karanlıkta Üretim: Yeni Çağda Maliyetin Kapsamı. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 880-897.
- Grandviewresearch*. (2021, 04 29). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-twin-market#question0> adresinden alındı
- Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. Florida Institute of Technology.
- Grieves, M., & Vickers, J. (2012). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. *Springer International Publishing*, 85-113.
- He, B., & Bai, K.-J. (2020). Digital Twin-Based Sustainable Intelligent Manufacturing: A Review. *Springer*, 1-21.

- Hofbauer, G., Sangl, A., & Engelhardt, S. (2019). The Digital Transformation of the Product Management Process: Conception of Digital Twin Impacts for the Different Stages. *International Journal of Innovation and Economic Development*, 74-86.
- Javelosa, H. (2021, 05 01). Futurism: <https://futurism.com/2-production-soars-for-chinese-factory-who-replaced-90-of-employees-with-robots> adresinden alındı
- Kalay, Ü., & Önder, Ş. (2017). BİST İmalat Sanayi İşletmelerinde Maliyet Yönetim Sistemlerinin İşletme Karlılığına Etkisi. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırma Dergisi*, 91-100.
- Karacan, S., & Bayram, G. (2019). Kurumsal Kaynak Planlaması Sistemleri Ve Muhasebe Bilgi Sistemi. *Uluslararası Sosyal Araştırma Dergisi*, 1118-1125.
- KPMG. (2021). <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2020/02/sektorel-bakis-2020-otomotiv.pdf> adresinden alındı
- Kumaş, E., & Erol, S. (2021). Endüstri 4.0'da Anahtar Teknoloji Olarak Dijital İkizler. *Politeknik Dergisi*, 691-701.
- Li, C., Mahadevan, S., Ling, Y., Choze, S., & Wang, L. (2017). Dynamic Bayesian Network for Aircraft Wing Health Monitoring Digital Twin. *AIAA Journal*.
- Liu, Q., Leng, J., Yan, D., Zhang, D., Weia, L., Yu, A., . . . Chena, X. (2021). Digital Twin-Based Designing Of The Configuration, Motion, Control, And Optimization Model Of A Flow-Type Smart Manufacturing System. *Journal of Manufacturing Systems*, 52-64.
- Lu, Y., Liu, C., Wang, K.-K., Huang, H., & Xu, X. (2019). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 1-14.
- Martinez, A., Bacalcoa, L., Rodriguez, F., & Lopez, B. (2021). A Digital Twin Based Approach For Simulation And Emulation Of An Automotive Paint Workshop. *SAE International*.
- OICA. (2020). <https://www.oica.net/category/sales-statistics/> adresinden alındı
- Özdemir, A., & Özgüner, M. (2018). Endüstri 4.0 Ve Lojistik Sektörüne Etkileri: Lojistik 4.0. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 39-47.
- Özden, A., Seheri, Ö., & Ersan, Ö. (2020). *Otomotiv Sektörü*. A&T Bank.
- Özen, A., & Gürel, F. (2020). Kamu Denetiminde Dijital Dönüşüm: Dijital İkiz Yöntemi. *İzmir Sosyal Bilimler Dergisi*, 16-23.
- Polat, M. (2020). Türk Otomotiv Sektörünün Ekonomik Büyümeye Etkisi: Karşılaştırmalı Bir Ekonometrik Analiz. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 504-521.
- Qi, Q., & Tao, F. (2018). Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access*, 3585-3593.
- Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L., & Wartzack, S. (2017). Shaping The Digital Twin For Design And Production Engineering. *CIRP Annals*, 141-144.
- Seebo. (2020). www.seebo.com adresinden alındı
- Siemens. (2018). www.siemens.com.tr adresinden alındı
- Silva, A., Wagner, S., Lazebnik, E., & Traitel, E. (2021). Using a Cyber Digital Twin For Continuous Automotive Security Requirements Verification. *arXiv*, 1-10.
- Son, Y., Park, K., Lee, D., Jeon, S., & Noh, S. (2021). Digital Twin-Based Cyber-Physical System For Automotive Body Production Lines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 291-310.
- Statista. (2021, 10 13). <https://www.statista.com/statistics/1102932/global-research-and-development-spending-automotive/> adresinden alındı
- Statista. (2021, 13 10). <https://www.statista.com/statistics/1102932/global-research-and-development-spending-automotive/> adresinden alındı

- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 3563-3576.
- Tao, F., Zhang, M., & Nee, A. (2019). *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, Elsevier Inc.
- Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. (2018). Digital Twin Driven Prognostics And Health Management For Complex Equipment. *CIRP Annals*, 169-172.
- Terzi, A. (2021). Endüstri 4.0 Sürecinde Üretim. *Muhasebe Ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 837-872.
- TUBİTAK. (2021). https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek6a.pdf adresinden alındı
- Tuegel, E., Ingrassia, A., Eason, T., & Spottswood, S. (2011). Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin. *International Journal Of Aerospace Engineering*.
- Umble, E., Haft, R., & Umble, M. (2003). Enterprise Resource Planning: Implementation Procedures And Critical Success Factors. *European Journal Of Operational Research*, 241-257.
- Xie, G., Yang, K., Xu, C., Li, R., & Hu, Ş. (2021). Digital Twinning Based Adaptive Development Environment for Automotive Cyber-Physical Systems. *IEEE*.
- Yazıcı, N. (2012). Zincirleme Hedef Maliyetleme Tekniği ve Tekstil Sektöründe Bir Uygulama. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları*, 29-46.
- Yükçü, S., & Aydın, Ö. (2020). Maliyet Düşürme Yöntemi Olarak Dijital İkiz. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 563-579.
- Zhong, R., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. (2017). Intelligent Manufacturing in The Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 616-630.
- Zhou, J., Li, P., Zhou, Y., Wang, B., Zang, J., & Meng, L. (2018). Towards New-Generation Intelligent Manufacturing. *Engineering*, 11-20.
- (2018). TC Kalkınma Bakanlığı: <https://sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/SanayideDijitallesmeCalismaGrubuRaporu.pdf> adresinden alındı
- (2021, 04 19). thinktech: <https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=230> adresinden alındı
- (2021, 04 23). gazetevatan: <http://www.gazetevatan.com/dijital-ikiz-ile-tai-daha-hizli-ucacak-1178334-ekonomi/> adresinden alındı
- (2021, 04 29). PWC: <https://www.pwc.com/ca/en/industries/industrial-manufacturing/digital-factories-2020.html> adresinden alındı
- (2021). BCG: <https://www.bcg.com> adresinden alındı
- (2021). marketsandmarkets: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html> adresinden alındı
- (2021). Challenge Advisory: <https://www.challenge.org/insights/digital-twin-genie-in-manufacturing/> adresinden alındı

-
- Etik Beyanı** : Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara uyulduğunu yazarlar beyan eder. Aksi durumun tespiti halinde NÖHÜSOSBİL Dergisinin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk çalışmanın yazarlarına aittir.
- Yazar Katkıları** : Haluk BENGÜ, çalışmada giriş, kavramsal çerçeve, dijital ikizin kullanım alanları, dijital ikizlerin üretim maliyetlerine etkisi, otomotiv endüstrisinde dijital ikiz ve sonuç bölümlerinde katkı sağlamıştır. Can FİDANCAN, çalışmada giriş, kavramsal çerçeve, dijital ikizin kullanım alanları, dijital ikizlerin üretim maliyetlerine etkisi, otomotiv endüstrisinde dijital ikiz ve sonuç bölümlerinde katkı sağlamıştır. 1. yazarın katkı oranı %50, 2. yazarın katkı oranı %50.
- Çıkar Beyanı** : Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.
- Ethics Statement** : The author(s) declares ethical rules are followed in all preparation processes of this study. In case of detection of a contrary situation, NÖHÜSOSBİL Journal does not have any responsibility, and all responsibility belongs to the author(s).
- Author Contributions** : Haluk BENGÜ contributed to the introduction, conceptual framework, usage areas of the digital twin, the effect of digital twins on production costs, digital twin in the automotive industry and the conclusion sections. Can FİDANCAN contributed to the introduction, conceptual framework, usage areas of the digital twin, the effect of digital twins on production costs, digital twin in the automotive industry and the conclusion sections. The contribution rate of the 1st author is 50%, the contribution rate of the 2nd author is 50%.
- Conflict of Interest.** : There is no conflict of interest in the study.
-