

**ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN İŞLETME PERFORMANSINA ETKİLERİ :
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

SİMGE CANİTEZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

2023

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN İŞLETME PERFORMANSINA ETKİLERİ :
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

SİMGE CANİTEZ

ORCID: 0000-0001-7497-0606

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

ŞUBAT-2023

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN İŞLETME PERFORMANSINA ETKİLERİ : OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Simge CANİTEZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

İlk olarak Almanya’da ortaya çıkan endüstri 4.0 ile üretim sistemleri akıllı, esnek ve hızlı karar verebilen daha kaliteli üretim sistemlerine dönüşmüştür. Birçok avantaj sağlayan endüstri 4.0 dünya çapında hızla yayılmıştır. İşletmeler işgücü verimliliğini arttırmak, üretim ve ürün kalitesini arttırmak, maliyeti azaltmak dolayısı ile rekabet avantajı sağlamak için endüstri 4.0’ı sistemlerine entegre etmektedir. Yapılan çalışmada endüstri 4.0 ana teknolojileri ve işletme performansına etkileri incelenmiştir. Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede seçilen pilot bölgeye IoT teknolojisi entegre edilerek işletme performansına etkileri sayısal olarak ifade edilmiştir. İşletmedeki üretim verilerinin doğruluğunun operatör inisiyatifinde olması ve üretim raporlamaları sırasında zaman kayıplarının yaşanması nedeniyle bu çalışmaya ihtiyaç duyulmuştur. Çalışmada, uygulama yapılmadan önceki üretim verileri ile uygulama sonrası üretim verileri karşılaştırılarak nesnelerin interneti teknolojisinin işletmenin performansına etkileri değerlendirilmiştir. İşletme performansı, ürün bazlı ve performans bazlı parametreler belirlenerek bu parametreler ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; raporlama sürecindeki yaşanan zaman kayıpları azaltılarak işletme performansında ve üretim miktarında artış sağlanırken ürünün çevrim süresinde iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın farklı işletmelerde yaygınlaştırılması ile işletmelerin performanslarının artması sonucu ülke genelinde büyük ölçüde fayda sağlanması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Otomotiv sektörü, İşletme performansı, Nesnelerin interneti, Verimlilik

ABSTRACT

EFFECTS OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES ON BUSINESS PERFORMANCE : AN APPLICATION IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Simge CANITEZ

Department of Industrial Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

With industry 4.0, which first emerged in Germany, production systems have evolved into higher quality production systems that are smart, flexible and able to make quick decisions. Industry 4.0, which provides many advantages, has spread rapidly around the world. Companies integrate industry 4.0 into their systems to increase labor productivity, improve production and product quality, reduce costs and thus provide competitive advantage. In the study, the main technologies of industry 4.0 and their effects on company performance were examined. In an enterprise operating in the automotive sector, IoT technology was integrated into the selected pilot area and its effects on company performance were expressed numerically. This study was needed due to the accuracy of the production data in the company is at the initiative of the operator and time losses are experienced during production reporting. In the study, the effects of Internet of things technology on the performance of the company were evaluated by comparing the production data before the application and the production data after the application. Performance of the company was evaluated with these parameters by determining product-based and performance-based parameters. As a result of the study; It was determined that while the time losses experienced in the reporting process were reduced, increase in performance of the company and production quantity was achieved, improvement in the product cycle time was achieved. It is expected that with the dissemination of this study in different companies and the increase in the performance of companies, benefit will be provided to a great extent throughout the country.

Keywords: Industry 4.0, Automotive sector, Company performance, Internet of the things, Productivity

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
TEŞEKKÜR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	10
2. MATERYAL VE YÖNTEM	12
2.1 İşletme Hakkında Genel Bilgi	12
2.2 Çalışmanın Gerçekleştirildiği Pilot Bölge	12
2.3 Çalışmada İncelenen Ürün	14
2.4 Ölçüm Parametrelerinin Belirlenmesi	15
2.5 OEE (Overall Equipment Effectiveness)	19
2.6 IOT Sisteminin Uygulanması	20
2.6.1 Sistemin Kurulum Adımları	21
2.6.2 IoT Sisteminin Kullanımı	23
3. ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ	29
3.1 Endüstri 1.0	29
3.2 Endüstri 2.0	29
3.3 Endüstri 3.0	30
3.4 Endüstri 4.0	30
3.4.1 Endüstri 4.0'ın Potansiyel Faydaları	32
3.4.2 Endüstri 4.0'ın Potansiyel Zorlukları	33
3.5 Endüstri 4.0 Teknolojileri	33
3.5.1 Akıllı Fabrikalar	34
3.5.2 Siber Fiziksel Sistemler	34
3.5.3 Simülasyon	35
3.5.4 Eklemeli Üretim/ Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar	35
3.5.5 Akıllı Robotlar	36
3.5.6 Bulut Bilişim Sistemi	36

3.5.7 Yatay ve Dikey Entegrasyon	37
3.5.8 Arttırılmış Gerçeklik	38
3.5.9 Yapay Zekâ	38
3.5.10 Nesnelerin İnterneti (IoT).....	38
3.5.11 Büyük Veri	39
4. OTOMOTİV SEKTÖRÜ	41
4.1 Otomotiv Sektörünün Dünyadaki Gelişimi	41
4.2 Türk Otomotiv Sektörünün Gelişimi	42
5. PERFORMANS ÖLÇÜMÜ	43
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
6.1 Mevcut Durum	45
6.1.1 Mevcut Durumun Ürün Bazında İncelenmesi	45
6.1.2 Mevcut Durumun Performans Bazında İncelenmesi	50
6.2 Önerilen Sistem Tasarımı (IoT Sistemi)	55
6.2.1 Önerilen Sistemin Ürün Bazında İncelenmesi	56
6.2.2 Önerilen Sistemin Performans Bazında İncelenmesi.....	61
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Endüstri 4.0'ın işletme performansına etkisi konusunda literatürdeki çalışmalar .	9
Çizelge 2.1. Üretim frekansı en yüksek olan ürünler	17
Çizelge 2.2. Üretim hacmi en yüksek olan ürünler	17
Çizelge 6.1. Mevcut durumda A733 ürünü 2021 yılı üretim verileri	45
Çizelge 6.2. Mevcut durumda A733 ürünü 2021 yılı üretim duruşları	48
Çizelge 6.3. Tezgâhların 2021 yılı OEE değerleri.....	51
Çizelge 6.4. Ağustos ayı verisi baz alınmadan tezgâhların 2021 yılı OEE değerleri.....	52
Çizelge 6.5. Mevcut durumda XX40 tezgâhı 2021 yılı ocak ayı üretim verileri	54
Çizelge 6.6. Önerilen sistemde A733 ürünü 2022 yılı üretim verileri	56
Çizelge 6.7. Önerilen sistemde A733 ürünü 2022 yılı üretim verileri	58
Çizelge 6.8. Önerilen sistemde A733 ürünü 2022 yılı üretim duruşları.....	59
Çizelge 6.9. Önerilen sistemde XX40 tezgâhı 2022 yılı ocak ayı üretim verileri.....	62
Çizelge 7.1. Mevcut durum ve önerilen sistem karşılaştırması.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. CNC tezgâhı genel görünüm	13
Şekil 2.2. İstasyon genel görünüm.....	13
Şekil 2.3. Rotil işleme iş akışı	15
Şekil 2.4. İşletme performansı ölçüm parametreleri.....	16
Şekil 2.5. Tezgâhların 2021 yılı OEE değerleri.....	18
Şekil 2.6. OEE değeri hesabı	20
Şekil 2.7. Sistemin kurulum adımları	22
Şekil 2.8. Önerilen sistemin kurulumu sonrası tezgâhın genel görünümü	23
Şekil 2.9. Personel kartının okutulması	24
Şekil 2.10. İş emrinin girilmesi	24
Şekil 2.11. Üretim ekranı.....	25
Şekil 2.12. Bir ürünün üretiminin tamamlanması	26
Şekil 2.13. İş emrinin tamamlanması	26
Şekil 2.14. Vardiyanın tamamlanması.....	27
Şekil 2.15. Vardiya raporu veri tabanı.....	27
Şekil 2.16. Veri tabanı	28
Şekil 3.1. Endüstri devrimi aşamaları (Endüstri tarihine kısa bir yolculuk, t.y.)	32
Şekil 3.2. Siber fiziksel sistemler (Yıldız, 2018).....	35
Şekil 3.3. Bulut bilişim sistemi (Cloud computing, t.y.)	37
Şekil 3.4. Nesnelerin interneti (Yıldız, 2018).....	39
Şekil 3.5. Büyük veri yaşam döngüsü (Şeker, 2015).....	40
Şekil 5.1. Performans boyutları (Karaman, 2009).....	43
Şekil 6.1. A733 ürünü 2021 ilk dört ay için üretim miktarları	46
Şekil 6.2. A733 ürünü 2021 ilk dört ay üretimleri için çevrim süresi	47
Şekil 6.3. Mevcut durum boryağı koyma duruş süreleri	49
Şekil 6.4. Mevcut durum uç yenileme duruş süreleri	50

Şekil 6.5. Mevcut durumda XX40 tezgâhı 2021 yılı aylık OEE değerleri.....	53
Şekil 6.6. Mevcut durumda RR hücresi 2021 yılı aylık OEE değerleri	55
Şekil 6.7. Mevcut durum ve önerilen sistemin üretim miktarı karşılaştırması.....	57
Şekil 6.8. Çevrim süreleri veri tabanı	57
Şekil 6.9. Mevcut durum ve önerilen sistemin çevrim süresi karşılaştırması	58
Şekil 6.10. Önerilen sistem boryağı koyma duruş süreleri.....	60
Şekil 6.11. Önerilen sistem uç yenileme duruş süreleri	61
Şekil 6.12. Mevcut durum ve önerilen sistemin XX40 tezgâhı ocak ayı OEE karşılaştırması	62
Şekil 6.13. XX40 tezgâhı için mevcut durum ve önerilen sistemin ocak ayı OEE kırılımları	63
Şekil 6.14. Önerilen sistemde XX40 tezgâhı 2022 yılı ilk 4 ay OEE değerleri	64
Şekil 6.15. XX40 tezgâhı mevcut durum ve önerilen sistemin ilk 4 ay OEE karşılaştırması .	65
Şekil 6.16. XX40 tezgâhı mevcut durum ve önerilen sistemin ay bazlı karşılaştırması	65
Şekil 6.17. Önerilen sistemde RR hücresi 2022 yılı ilk 4 ay OEE değerleri.....	66
Şekil 6.18. Hücre performansı mevcut durum ve önerilen sistemin ay bazlı karşılaştırması..	67
Şekil 6.19. Mevcut durum ve önerilen sistemin RR hücresi ilk 4 ay OEE karşılaştırması	68

KISALTMALAR DİZİNİ

IoT	Internet of Things
OEE	Overall Equipment Effectiveness



TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaőan danışman hocam Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ'a teőekkürü bir borç bilirim. Tez çalıőmamın gerçekleőtirilmesine destek olan, tüm verileri içtenlikle sunan ve yardımlarını esirgemeyen kimliğinin gizliliği korunan çalışmanın gerçekleştirildiği işletmeye teőekkürlerimi sunarım. Hayatımın her anında yanımda olduğu gibi yüksek lisans eğitimimin baőlangıcından tamamlanmasına kadar her aőamada beni yreklendiren, hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen annem Sibel CANITEZ'e sonsuz teşekkür ederim.

Simge CANITEZ

Endüstri Mühendisi

1. GİRİŞ

İlk sanayi devriminden bu yana üretim, insan gücünün etkinliğini azaltarak sistemi daha esnek bir hale dönüştürerek makineleri daha az karmaşık ve verimli bir şekilde çalıştırılabilecek sistemlere dönüşmeye başlamıştır. İlk olarak Almanya’da ortaya çıkan endüstri 4.0, müşteri isteklerine yönelik bir devrimdir. Endüstri 4.0 ile üretim sistemleri akıllı seviyeye güncellenebilme yeteneği kazanır. Endüstri 4.0 hem işletmeleri hem de toplumu olumlu yönde etkileyecek yeni fırsatlar oluşturmaktadır. Akıllı, esnek ve hızlı karar verebilen daha kaliteli bir üretim sistemi gibi avantajlar sağlayan endüstri 4.0 sağladığı faydalar ile halen dünya çapında hızla yayılmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojileri ve dijitalleşme, günümüzde üretim sistemlerini etkilediği kadar hizmet sektörlerini ve hatta gündelik hayatı da etkilemektedir. Uygulamalarını, giderek yaşamın her alanında gözlemlemekte olduğumuz bu teknolojilerin sürekli olarak bir değişime yol açtığı söylenebilir. Üretim, lojistik, sağlık, turizm gibi birçok sektörün süreçlerinde değişiklik meydana getiren teknolojiler yeni mesleklerin oluşmasına ışık tutarken aynı zamanda ilerleyen dönemlerde birçok mesleği de yok olma tehlikesi ile karşı karşıya getirebilir (Barut, Ünver, Kayım, Toprak ve Uysal, 2020).

Bu çalışmanın amacı; IoT teknolojisinin bir işletmede uygulanması ile sağlanacak faydaların, işletme performansındaki iyileştirmelerin belirlenmesidir. Çalışmada ilk olarak literatür özeti kısmında literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiştir. Materyal ve yöntem bölümünde endüstri devrimlerinden, otomotiv sektöründen ve endüstri 4.0 teknolojilerinden bahsedilerek çalışmada kullanılacak yöntem olan OEE tekniği açıklanmıştır. Çalışmanın bulgular ve tartışma bölümünde ele alınan uygulama kısmı da otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede yapılmıştır.

Günümüzde çoğu işletme endüstri 4.0 teknolojilerini süreçlerine entegre ederek süreçlerinde iyileştirme hedeflemektedir. Bu kapsamda uygulama yapılan işletmede; üretim verilerinin doğru toplanmasının operatör inisiyatifinde olması, üretim verilerinin girişlerindeki yoğunluklar ve aksaklıklar kaynaklı işgücü kullanım açısından problemler ve yaşanan zaman kayıpları gibi çalışmanın ilerleyen bölümlerinde detaylı bir şekilde anlatılan problemlerin çözülmesi amaçlanmıştır.

Literatürde, endüstri 4.0 teknolojilerinin işletmelere entegre edilmesi ve bunun sonucunda sağlanan kazanımlardan bahsedilen birçok çalışma mevcuttur. Çalışmalarda, işletme kapsamında sağlanan faydalar farklı yöntemler ile incelenmiş olup incelemelerin genellikle

anket vb. yöntemler ile nitel araştırma çalışması olarak yapıldığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın gerçekleşmesi sonucunda literatüre, nicel bir çalışma kazandırılmış olacaktır.

Yapılan bu çalışma ile işletme özelinde üretim verilerinin güvenilir bir şekilde toplanması, üretim süreçlerinin hızlanması, iş gücü kaynağının daha verimli kullanılması ve süreç performansının artırılması kazanımları elde edileceği öngörülmektedir. Otomotiv sektörü veya başka bir sektörde faaliyet gösteren işletmelerde de benzer bir sistemin kurularak bu faaliyetlerin yaygınlaştırılması ile ülke genelinde büyük ölçüde fayda sağlanması beklenmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Literatürde farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerde endüstri 4.0 uygulamaları ve buna bağlı avantaj ya da dezavantajların, kazanımların incelendiği görülmüştür. Endüstri 4.0 teknolojileri entegrasyonu sonrasında işletmelerin üretim miktarı, personel sayısı, çevrim hızı gibi göstergelerinde iyileşmeler yaşandığı görülmüştür. Bu göstergelerde yaşanan iyileşmelere ek olarak endüstri 4.0'ın işletme verimliliğine direkt olarak etkisinin incelendiği çalışmalarda, işgücü verimliliğinde ve makine verimliliğinde de artışlar tespit edilmiştir. Literatürün azınlığı hesaba dayalı nicel araştırmaları içerse de çoğunluğunun anket vb. yöntemler ile yapılan nitel araştırmalardan oluştuğu görülmüştür. Bu çalışmada, literatürde eksik bırakılan endüstri 4.0'ın işletme üzerindeki etkisi nicel bir araştırma olarak performans hesabı ile incelenmiştir. Ayrıca, literatürde IoT teknolojisinin farklı sektörde faaliyet gösteren işletmelerde uygulanmasına yönelik çalışmalara rastlanmış olup otomotiv sektöründe bu tür çalışmalara fazla rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışma, IoT teknolojisinin otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede uygulanması ve verimlilik ile ilişkilendirilmesi konusundaki literatürdeki eksikliğin kısmen de olsa giderilmesi açısından önem arz etmektedir. Literatür araştırmasından aşağıda detaylı olarak bahsedilmiştir.

Gabaçlı ve Uzunöz (2017) tarafından yapılan çalışmada sanayinin devrimsel gelişimi ve söz konusu devrimin otomotiv sektörü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerine ve sağladığı imkânlara, ilgili teknolojilerin çözüm bulduğu sorunlara değinilmiştir. Sonucunda endüstri 4.0'a adaptasyon ve bu sürecin ilerlemesi kapsamında birçok öneride bulunulmuştur.

Sürmen (2019) tarafından yapılan çalışmada otomotiv sektörünün gelişimi ve endüstriyel gelişimin tarihçesini incelenmiştir. Bu kapsamda uygulama olarak Bursa'da

otomotiv sektöründe faaliyet gösteren firma temsilcileri ile görüşülerek firmaların güçlü ve zayıf yönleri, tehdit ve fırsatları tespit edilerek SWOT analizi oluşturulmuş olup endüstri 4.0 kapsamındaki çalışmaları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, firmalar bilgi bakımından endüstri 4.0 sürecine hâkim olmalarına rağmen birçok firmanın uygulama bakımından endüstri 3.0 seviyesinde olduğu görülmüştür. Firmaların uygulama açısından yetersiz olmalarının sebebinin yönetim anlayışı, yeterli vaktin ayrılmaması ve büyük ölçüde finansal problemler olduğu tespit edilmiştir.

Barut ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’de amortisör üretimi yapmakta olan bir otomotiv işletmesinin mevcut üretim şekli incelenmiştir. İncelenen bu sistemde üretimde zaman ve kalite kaybı yaratan iyileştirilmesi gereken operasyonlar tespit edilmiştir. Tespit edilen bu operasyonların hangi akıllı teknolojilerle iyileştirilebileceği üzerine araştırmalar yapılmıştır. Önerilen akıllı sistemlerin adaptasyon sürecinde yaşanabilecek avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

Kılıç ve Argun (2020) tarafından yapılan çalışmada otomotiv yedek parça üretimi yapan bir firmanın dijitalleşme ile Endüstri 4.0’a geçmesi incelenmiştir. Bu çalışmada firmanın, rekabet ortamında yer edinebilmek, düşük maliyet ile üretim gerçekleştirirken de işgücü verimliliğini ve toplam ekipman etkinliğini artırmak amacı ile akıllı fabrika sistemine geçiş öncesi ve sonrası çıktıları ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, hattın verimliliği ölçebilmek, dijitalleşmeye geçiş ile eski durum ile yeni durum arasındaki farkların saptanıp yorumlanabilmesi ve aynı zamanda iş gücü verimlilik analizinin yapılmasıdır. Firmanın otomasyon sistemine geçmesi ile hattın günlük iş gücü verimliliğini hesaplamak için Kurosawa yöntemi kullanılmıştır. Manuel tezgâhlar için 2018 ve 2019 yılı, otomatik tezgâh için ise 2019 yılındaki günlük iş gücü verimlilikleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda; dijitalleşme kapsamında otomatik tezgâh kullanımına geçilmesinde hem avantaj hem de dezavantaj olabilecek durumlar söz konusu olduğu görülmüştür. Firma otomatik tezgâhlara yatırım yaparak büyük sipariş adetli ürünleri hem daha verimli hem de çalışan sayısında azalmaya giderek iş gücü açısından daha az maliyetli üretmek avantajına dönüşmüştür.

Ulusoy (2019) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0’ın Türkiye otomotiv sektörünü nasıl etkileyeceği ve sağlayabileceği imkânlar incelenmiştir. Çalışma, literatür taraması şeklinde ilgili kaynakların incelenmesi ile derleme niteliğinde gerçekleştirilmiştir. Birçok yerli ve yabancı kaynakların incelenmesi sonucunda verimlilik, istihdam, maliyet gibi konuların ele alınması ile endüstri 4.0’ın verimlilik odaklı üretim, sıfır hata anlayışı, maliyet avantajı gibi

hem üretici hem de tüketiciler için avantajları olduğuna değinilmiştir. Sonuç olarak; endüstri 4.0'ın Türkiye'de sürdürülebilirlik hedefi için önemli bir araç olduğu ve otomotiv sektörünün yükseliş gücünü oluşturabileceği belirtilmiştir.

Mutlu (2019) tarafından yapılan çalışmada otomotiv ve tekstil sektöründe faaliyet gösteren 4 firma üzerinden endüstri 4.0'ın etkileri incelenmiştir. Bu inceleme firmalardaki ilgili yöneticiler ile görüşülerek yapılmıştır. Nitel olarak gerçekleştirilen bu araştırmada endüstri 4.0'ın sektörde yer edinebilmek için bir ihtiyaç olduğu görülmüştür. Yöneticiler ile yapılan mülakatlar sonucunda işletmelerin endüstri 4.0'a geçme nedenleri; kalite, verimlilik, daha az maliyet, süreçlerin hızını artırma vb. olduğu anlaşılmıştır.

Esmer (2019) tarafından yapılan çalışmada dış ticaret firmalarının endüstri 4.0 uygulama ve süreçlerinin firmalara etkisini araştırılmıştır. Çalışma mülakat tekniği kullanılan nitel bir çalışma olarak tasarlanmıştır.

Berksun (2018) tarafından yapılan çalışmada vitrifiye sektöründe faaliyet gösteren bir firmada belirlenen bir prosesin endüstri 4.0 kapsamında otomatik bir sisteme geçişi sonrası firmaya olan etkileri incelenmiştir. Belirlenen prosesin manuel ve otomatik sistemleri üretilen ürün miktarı, gerekli personel sayısı, birim maliyet, iş sağlığı ve güvenliği faktörü vb. gibi konularda karşılaştırılarak firma performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Ak (2018) tarafından yapılan çalışmada bir beyaz eşya firmasında endüstri 4.0 uygulamalarının makine verimliliği üzerine etkisi incelenmiştir. Verimlilik analizi yöntemi olarak Klasik ve Bulanık Veri Zarflama Analizi yöntemleri kullanılmıştır.

Duman (2019) tarafından yapılan çalışmada Vestel fabrikasındaki var olan ve çalışmaları devam eden endüstri 4.0 teknolojileri incelenmiştir. Mevcutta var olan endüstri 4.0 teknolojileri sonucunda fabrikada meydana gelen değişimi ve bu değişimin işletme performansına etkisini incelemek üzere istihdam, maliyet, yatırım miktarı, ürünlerin pazara çıkış hızı, satışlar vb. gibi toplamda 10 adet işletme performansı göstergesi belirlenerek yetkililer ile yapılan görüşmeler sonucunda bu performanslar ile ilgili gerekli verilere ulaşılmış ve değerlendirilmiştir.

Gerekli (2020) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0 teknolojilerinin işletme performansına ve işletme verimliliğine etkisinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kahramanmaraş ilindeki bir tekstil firmasında 30 ay boyunca nesnelere interneti teknolojisi ile toplanan günlük

verilerin incelenmesi ile endüstri 4.0 uygulamalarından önce ve sonra firma performansları karşılaştırılarak uygulamaların işletme performansını ve verimliliğini pozitif yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Çark (2020) tarafından yapılan çalışmada nesnelere interneti teknolojisinin işletmeler üzerindeki etkisine dair yapılan çalışmalar incelenmiştir. Nitel araştırma yöntemlerinden İçerik Analizi Yöntemi kullanılan çalışmada Web of Science (WoS), Ulakbim ve DergiPark veri tabanları taranarak bulunan yayınlar incelenmiş ve IoT teknolojisinin işletmeler açısından etkileri, fayda ve zorlukları değerlendirilmiştir.

Coşkun (2020) tarafından yapılan çalışmada simülasyon yaklaşımının endüstri 4.0 uygulamaları için sağladığı avantajların ele alınması amaçlanmıştır. Literatür taraması sonrası uygulama kısmı için elektronik cihaz üreten bir firmanın belirli bir süreci incelenerek Arena programında simüle edilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen darboğazları ve kalite problemlerini iyileştirmek için uygun olabilecek endüstri 4.0 teknolojileri önerilmiştir. Mevcut durum ve önerilen durum simüle edilerek karşılaştırılmış ve firmalarda proses değişiklikleri öncesi simülasyonun öngörülemez sorunları tespit etmek amacıyla önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Öztürk (2019) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0 kapsamında olan dijital dönüşüm faaliyetlerinin etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda enerji sektörü ele alınmıştır. Dijital dönüşümün küçük ölçekli firmalar üzerindeki etkileri, nitel bir yöntem olan yarı yapılandırılmış görüşme yöntemi ile yarı yapılandırılmış görüşme soruları hazırlanarak incelenmiştir. Literatürdeki dönüşüm modellerinin incelenmesi ve yapılan görüşmeler sonucunda uygun görülen bir dönüşüm modeli önerilmiştir.

Özdemir ve Özgüner (2018) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0'ın lojistik sektörü üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Çalışmada, endüstri 4.0'ın lojistik sektörüne olan etkileri ile ilgili literatüre kaynak oluşturmak amaçlanmıştır. Farklı bölge ve firmalar için yapılacak araştırmalar ile çalışmanın genişletilmesi önerilmiştir.

Çelen (2017) tarafından yapılan çalışmada simülasyonun tarihsel gelişimi incelenerek doğru bir simülasyonun hangi özelliklere sahip olması gerektiği konusu üzerinde durulmuştur. Ek olarak, literatürdeki endüstri 4.0'da simülasyon örnek uygulamaları incelenmiştir. Simülasyona dayalı bölüm ve enstitülerin açılması, simülasyona bağlı karar mekanizmalarının geliştirilmesi gibi konuların büyük önem taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Gökrem ve Bozuklu (2016) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0 teknolojilerinden biri olan nesnelerin interneti (IoT) incelenmiştir. Nesnelerin interneti teknolojisi ile ilgili bilgi verilmiş ve uygulama alanlarına göre çalışmalar incelenmiştir. Son olarak Türkiye’de yapılan çalışmalar ve mevcut durum hakkında bilgi verilmiştir.

Gürsoy (2020) tarafından yapılan çalışmada yalın üretim ve endüstri 4.0 konularına değinilmiştir. Çalışmanın amacı yalın üretim ve endüstri 4.0 felsefelerinin benimsenerek süreçlerin iyileştirilmesi ve üretim, satış gibi alanlarda rekabet gücünün artırılmasıdır. Çalışmanın ilk bölümünde teorik bilgiler verilirken 2. Bölümünde literatür taraması ve 3. Bölümünde Aydın ilindeki bir işletmede uygulama çalışması yapılmıştır. Uygulama sonucunda sağlanan faydalar detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Witkowski (2017) tarafından yapılan çalışmada teknoloji ve organizasyondaki yenilikçi çözümlerin lojistik ile gerçekleştirilebileceğine değinilmiştir. Çalışmada büyük veri, nesnelerin interneti gibi endüstri 4.0 teknolojilerinden bahsedilmiştir. Müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak uygulanmaya başlayan nesnelerin interneti ve büyük veri gibi endüstri 4.0 teknolojilerinin aynı zamanda tedarik zinciri ve lojistiğin gelişimine sağladığı katkı üzerinde durulmuştur.

Abdulle (2021) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0 teknolojilerinin organizasyonel performansa etkileri incelenmiştir. Çalışma, Mogadishu ilindeki 14 teknoloji firmasında çalışan 187 çalışandan anket formu ile edinilen bilgiler doğrultusunda ve veri analizi için SPSS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma modelinde endüstri 4.0 teknolojileri bağımsız değişkenleri, organizasyonel performans ölçüm kriterleri ise bağımlı değişkenleri oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin organizasyonel performansı etkileyip etkilemediğine dair oluşturulan hipotezler sonrasında analizler gerçekleştirilmiştir. Endüstri 4.0 teknolojileri ile organizasyonel performans arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunduğu, endüstri 4.0 teknolojilerinin organizasyonel performansı olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır.

Schumacher ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada imalatçı firmaların endüstri 4.0 teknolojilerine ilk temasından uygulama aşamasına kadar tüm süreçlerine rehberlik edebilecek bir prosedür modeli sunulmuştur. Sunulan modelin firmalar için yol gösterici olması amaçlanmaktadır. Ayrıca, endüstri 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesine olanak

sağlamaktadır. Bir sonraki adım olarak veri tabanlı bakım veya üretim süreçlerinin dijitalleştirilmesi gibi konular için de uygunluk modelinin geliştirilmesi düşünülmektedir.

Dalenogare ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0'ın şirketlerin endüstriyel performans elde etmesine yardımcı bir aşama olduğu belirtilmiştir. Çalışma, Brezilya'daki 2225 şirketin temsil ettiği 27 sektörden oluşan anket verileri kullanılarak farklı endüstri 4.0 teknolojilerinin beklenen faydalar ile ilişkisi incelenmiştir. Yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre endüstri 4.0 teknolojilerinin bir kısmı beklenen faydalar ile pozitif bir ilişkiye sahip iken bir kısmı için ise adaptasyon problemi yaşandığı tespit edilmiştir.

Oláh ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışmada sürdürülebilir endüstri 4.0 ile işletme performansı arasındaki ilişki ele alınmıştır. Çalışmada, endüstri 4.0 teknolojilerinin firma verimliliği ve karlılığı bakımından avantaj ve dezavantajları sunularak gıda şirketlerine olanak sağlayan değişkenleri ve engelleri incelenmiştir. 276 gıda işletmesinden anket yöntemi ile toplanan veriler faktör analizi, varyans analizi gibi çeşitli istatistiksel yöntemler ile analiz edilmiştir. Analizler sonucunda; teknoloji maliyeti, işgücü eksikliği ve kalifiye işgücü kısıtının endüstri 4.0'ın yayılmasını engellediği görülmüştür. Aynı zamanda yenilikçi teknolojilerin kullanılmasının işletme performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Akkuş (2021) tarafından yapılan çalışmada sağlık sektörü için dijital dönüşüm örneği olan merkezi hekim randevu sisteminin verimliliği veri zarflama analizi metoduyla incelenmiştir. Çalışmada, 760 hastane, 81 il ve 7 bölgenin MHRS verilerinden yararlanılmıştır. Bölgeler, iller ve hastaneler kendi aralarında kıyaslanmıştır. Girdi değişkeni olarak kapasite sayısı, alınan randevu sayısı, muayene sayısı gibi değişkenler incelenirken; çıktı değişkeni olarak gerçekleşen randevu sayısı, doluluk oranı, randevulu muayene oranı gibi değişkenler incelenmiştir. Elde edilen analiz sonucunda 760 hastane içerisinde 30 hastanenin, 81 il içerisinde 11 ilin MHRS'nin etkin olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. MHRS'yi en etkili kullanan bölge, il ve hastanenin belirlenmesi için ise süper etkinlik veri zarflama analizi uygulanmıştır. MHRS verimlilik düzeyinin en etkili olduğu il İstanbul ve en etkili olduğu bölge Marmara Bölgesi olarak tespit edilmiştir. Bu doğrultuda MHRS verimlilik düzeyinin hastane büyüklüğü ile ilişkili iken il büyüklüğü ile ilişkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

Pak (2022) tarafından yapılan çalışmada otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın parça toplama operasyonu incelenmiştir. Parça toplama operasyonunun kağıt yardımıyla yapılan mevcut durumu ile teknoloji yardımıyla yapılan iyileştirilmiş durumu karşılaştırılarak sistem değişikliğinin kazanımları analiz edilmiştir. Işık yardımıyla parça toplama teknolojisine geçilmesi sonrası firma, iş gücünden yaklaşık %28 oranında tasarruf sağlamıştır. İşgücü tasarrufu yanında hata oranlarında ve ek işçilik maliyetlerinde iyileşme elde edilmiştir. Pilot bölgenin incelenmesi ile sağlanan faydalar sonucunda firma tüm ambar bölümlerinde ışık yardımıyla parça toplama teknolojisine geçiş kararı almıştır.

Türkcan (2022) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0 teknolojilerinin firma performansı ve rekabet avantajı ile ilişkileri incelenmiştir. Deneysel kanıtlara dayalı yapılan çalışmada Marmara Bölgesi'nde faaliyet gösteren 226 firmadan anket yöntemi ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Endüstri 4.0 teknolojilerinden büyük veri, nesnelerin interneti ve katmanlı üretimin yeni ürün geliştirme performansı ile pozitif ilişkili ve dolaylı yoldan firma performansı ve rekabet avantajı ile pozitif ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Büyük veri ve katmanlı üretimin rekabet avantajı ile pozitif ilişkili, büyük veri teknolojisinin de firma performansı ile direkt olarak pozitif ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Köksal (2022) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0 teknolojileri ile döngüsel ekonomi arasındaki ilişki ve bunların sürdürülebilir performans üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada, Türkiye genelindeki asansör firmalarına 55 sorudan oluşan anket yöneltilmiş ve anketten elde edilen veriler yapısal eşitlik modellemesi ile analiz edilmiştir. Döngüsel ekonomi ile endüstri 4.0 teknolojileri arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir. Ek olarak; döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir performans arasında tespit edilen pozitif ilişki sayesinde endüstri 4.0 teknolojilerinin de sürdürülebilir performansa pozitif etkisinin olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak; sürdürülebilir performansını arttırmak isteyen firmaların ilk olarak döngüsel ekonomi ve sonrasında endüstri 4.0 teknolojileri uygulamalarını devreye alması önerilmektedir.

Unhelkar ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışmada endüstri 4.0 ışığında RFID teknolojisi ve karar destek sistemleri üzerine önemli makaleler sunan 2000-2021 yılları arasında yayınlanan kaynaklar incelemiştir. Bu çalışma, tedarik zinciri yönetimi faaliyetlerini geliştirmede RFID teknolojisinin öneminden bahsetmektedir. RFID teknolojisinin tedarik zincirinde izlenebilirliği ve tarım, gıda vb. alanlarda genel etkinliği iyileştirmeye yönelik bir teknoloji olduğu ortaya konulmuştur. İncelenen araştırmalarda yazarların RFID-IoT özellikli bir karar destek sistemi için kavramsal bir çerçeve önerdiği sonucuna varılmıştır.

Woschank ve Dallasega (2021) tarafından yapılan çalışmada üretim işletmelerinde lojistik 4.0 kavramları ve teknolojileri ile lojistik performans göstergeleri arasındaki ilişki incelenmiştir. 2004 katılımcıya ulaşılan anket ile toplanan verilere uygulanan korelasyon analizine göre; akıllı ve yalın kavramların uygulanması ile lojistik performansı arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin, otonom lojistik sistemlerin etkin olarak uygulanmadığı görülmüştür. Büyük ölçekli bir anket ile sonuçların yeniden değerlendirilmesi ve çalışmanın genişletilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Endüstri 4.0'ın işletme performansına etkisi konusunda literatürdeki çalışmalar, Çizelge 1.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.1. Endüstri 4.0'ın işletme performansına etkisi konusunda literatürdeki çalışmalar

No	Yazar adı	Yıl	Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç
1	Mecnun Mutlu	2019	Endüstri 4.0'ın otomotiv ve tekstil sektöründeki etkilerine ilişkin algıyı ortaya koymak	Nitel araştırma Betimsel analiz yöntemi	Endüstri 4.0'ın etkileri birçok yönden incelenmiştir.
2	Yunus Emre Sürmen	2019	Otomotiv sektörünün endüstri 4.0 sürecine uyumu, güçlü ve zayıf yönleri ile tehdit ve fırsatların ortaya konulması	SWOT analizi	Firmaların Endüstri 4.0 sürecine bilgi açısından haiz olmalarına karşın uygulamada henüz Endüstri 3 seviyelerinde oldukları saptanmıştır.
3	Ahmet Hakim ESMER	2019	Dış ticaret firmalarının Endüstri 4.0 uygulama ve süreçlerinin etkisini anlamak	Nitel araştırma Veri toplama yöntemi: Mülakat tekniği	Türkiye'deki dış ticaret firmalarının Endüstri 2.0 ile 3. Endüstri 3.0 devrimi arasında olduğu görülmüştür.
4	Sedef Akyol İrem Düzdar	2020	Hattın dijitalleşmesinin iş gücü verimliliğine olan etkisinin ölçülmesi	Kurosawa verimlilik ölçüm yöntemi	Şirket yaptığı dijitalleşme çalışması ile personel sayısını 17'den 2'ye düşürmüş ve iş gücü verimliliğini %78'den %83'e çıkarmıştır.
5	Emre Berksun	2018	Endüstri 4.0'ın firma performansına etkilerini incelemek	Simülasyon	Manuel sırlama sistemlerinden robotlu sırlama sistemlerine geçiş sonrası üretilen ürün miktarı 155 adetten 210 adede ve verimlilik oranı %90'dan %98'e yükselmiştir.
6	Umut Ak	2018	Endüstri 4.0 uygulamalarının makine verimliliği üzerine etkisinin saptanması	Klasik veri zarflama analizi Bulanık veri zarflama analizi	39 makinenin verimliliği klasik veri zarflama analizi sonuçlarına göre ortalama %4.2, bulanık veri zarflama analizi sonuçlarına göre %3.4 iyileşme göstermektedir.

Çizelge 1.1. Endüstri 4.0'ın işletme performansına etkisi konusunda literatürdeki çalışmalar (devamı)

No	Yazar adı	Yıl	Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç
7	Aslı Duman	2019	Endüstri 4.0 sonucunda fabrikada meydana gelen değişimin işletme performansına etkisini incelemek	Yarı yapılandırılmış görüşme tekniği	İşletme performansına etkileri 20 personel tasarrufu, üretim hızında %20 artış, 2 milyon yatırım maliyeti olarak belirlenmiştir.
8	İsa Gerekli	2020	Endüstri 4.0 teknolojilerinin, işletme verimliliği ve işletme performansı üzerindeki etkisini ölçmek	Verimlilik ölçüm yöntemi: Bayyurt ve Duzu'nun (2008) çalışmalarında formüle ettiği verimlilik ölçüm formülü	2018 ve 2019 yıllarındaki kâr, stok ve maliyet oranları karşılaştırıldığında işletme verimliliğinin pozitif yönde etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.
9	Özgür Çark	2020	IoT özelinde dijital dönüşümün işletmeler üzerindeki etkisi konusunda yapılan akademik çalışmaların incelenmesi	Nitel araştırma İçerik analizi yöntemi	IoT teknolojisinin işletmeler açısından fayda ve zorlukları ile yaşanan dijital dönüşümün etkileri değerlendirilmiştir.
10	Tevfikcan Coşkun	2020	Üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 uygulamaları için simülasyon yaklaşımının sağladığı faydaları incelemek	Arena	Mevcut ve önerilen sistem karşılaştırıldığında hurda miktarının %15'ten %3'e iyileştirilebileceği ve çıktının %23 oranında arttırılabileceği tespit edilmiştir.
11	Ender Pak	2022	Parça toplama prosesinin dijitalleşmesi ile lojistik süreçlerin optimize edilmesi	Vaka analizi araştırma yaklaşımı	Firma, iş gücünden yaklaşık %28 oranında tasarruf sağlamıştır. İşgücü tasarrufu yanında hata oranlarında ve ek işçilik maliyetlerinde iyileşme elde edilmiştir.
12	Hülya Türkcan	2022	Endüstri 4.0 teknolojilerinin firmalara sağladığı avantajlar konusunda ampirik bir çalışma gerçekleştirmek	Veri toplama yöntemi: Anket Veri analiz yöntemi: AMOS-YEM	Büyük veri, nesnelerin interneti ve katmanlı üretimin yeni ürün geliştirme performansı ile pozitif ilişkili ve dolaylı yoldan firma performansı ve rekabet avantajı ile pozitif ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı; otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede verimliliği artırmak için uygulanacak IoT sistemi ile üretim verilerinin anlık toplanabilmesi ve görülebilmesi aynı zamanda verilerin doğruluğunun güvenilir olmasının sağlanmasıdır. Uygulama sayesinde anlık olarak toplanabilen ve takip edilebilen üretim miktarı, hurda miktarı, duruş süreleri, makinenin durumu (duruş, arıza, çalışır durumda) gibi üretim verilerinin operatör inisiyatifine bırakılmadan güvenilir bir şekilde toplanması ve bu sayede performans arttırımı amaçlanmıştır. Aynı zamanda birçok CNC tezgâh operatörlerinin birlikte kullandığı

istasyonlarda özellikle vardiya başlangıcı, yemek molası ve vardiya bitişı gibi yığılmaların ve beklemlerin yoğun yaşandığı anlardaki oluşan zaman kayıplarının, beklemlerin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu sayede gerçek üretim verilerinin tespit edilmesi, üretim süreçlerinin hızlanması, verimliliğın artması gibi kazanımların elde edilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmede yaklaşık 3000 çeşit ürün üretimi gerçekleştirilmektedir. Ürün çeşitliliğının, her ürünün üretim miktarı ve çevrim süresinin değişkenlik göstermesi sebebi ile mevcut durum ve önerilen sistem kıyaslamaları için bir kısıt oluşturacağı öngörülmüştür. Öngörülen bu kısıt doğrultusunda ürün bazında yapılan kıyaslamaların işletmede en sık ve en fazla miktarda üretilen ürünler arasından seçilen bir ürün ile yapılmasına karar verilmiştir.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu kısımda çalışmanın gerçekleştirildiği işletme hakkında genel bilgi verilerek çalışmanın gerçekleştirildiği pilot bölge ve incelenen ürüne değinilmiştir. İşletmenin performansını ölçmede kullanılan performans kriterlerinin seçimine ve OEE hesabına yer verilmiştir. Ayrıca, sistemin kurulum adımları ve IoT sisteminin kullanımından bahsedilmiştir.

2.1 İşletme Hakkında Genel Bilgi

Bu çalışma otomotiv sektöründe faaliyet gösteren süspansiyon ve yönlendirme ürünleri üreten bir işletmede yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı işletme otomotiv ön düzen bağlantı parçalarının üretim faaliyetlerini yürütmekte olup üretim hacminin büyük çoğunluğunu yurtdışına ihraç etmektedir. Gelişen sektör ihtiyaçları ve artan iç-dış müşteri isteklerine daha hızlı bir şekilde cevap verebilmek amacıyla işletme, yakın tarihte mevcut yerindeki tesisini büyüterek üretim faaliyetlerine devam etmiştir. İşletme 2 vardiya olarak üretim yapmakta olup her bir operatör bir CNC tezgâhından sorumludur. İşletme bünyesinde dövme, talaşlı imalat, kaynak, montaj ve kaplama süreçleri gibi çok sayıda üretim süreci bulunmaktadır. Ürünler ürün grubu ve çeşidine göre gerekli üretim yöntemleri ile üretilmektedir.

2.2 Çalışmanın Gerçekleştirildiği Pilot Bölge

İşletmede yapılan çalışmada pilot bölge olarak sistem entegrasyonun kolaylığı açısından rotül ürününü işleyen tezgâhların bulunduğu hücre seçilmiştir. Seçilen hücrede mevcut durumda iç işleme operasyonu için kullanılan 10 adet CNC tezgâhı bulunmaktadır. Bu faaliyeti yürüten 10 adet CNC tezgâhı tek lokasyonda gruplanmıştır. CNC operatörlerinin üretim miktarı, hurda miktarı gibi günlük raporlamalarını yapabildikleri bir adet bilgisayarın bulunduğu tek istasyon mevcuttur. Gruplanmış olarak konumlanan CNC tezgâhlarının merkezinde yer alan bu istasyon vasıtasıyla operatörler vardiya başlangıcı, vardiya bitişi, yemek molası ve diğer duruşlar gibi girişlerini yapmaktadır. CNC tezgâhlarının mevcut durumdaki genel görünümü Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. CNC tezgâhı genel görünüm

Şekil 2.2’de çalışmada ele alınan ve pilot bölge olarak seçilen CNC tezgâhlarının gruplandığı hücrede bulunan istasyon verilmiştir. Mevcut sistemde pilot bölge seçilen hücre için konumlandırılan tek istasyonda işletmenin kullandığı operasyon raporlama programı ile üretim adedi raporlama, duruş girme, vardiya bitişi, vardiya raporlaması işlemleri yapılmaktadır.

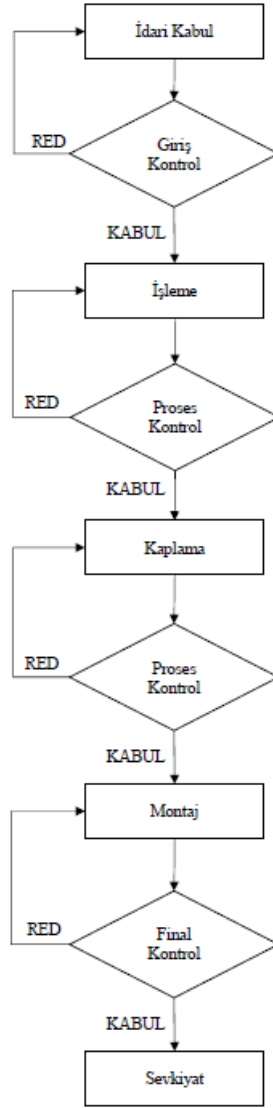


Şekil 2.2. İstasyon genel görünüm

Mevcut durumda vardiya başında personel kartı el terminali ile okutularak tüm makineler arasından çalışılan makine seçilerek iş emri girilmektedir. Vardiyada sonunda, üretilen adet miktarı girilerek raporlama yapılmaktadır. Üretim sırasında yaşanan duruş var ise duruş nedeni ve süresi sisteme operatör tarafından not edilmektedir. Tüm bilgiler girildikten sonra iş emri sonlandırılmakta ve vardiya sonu ise vardiya raporu oluşturularak vardiya kapatılmaktadır. Mevcut durum incelemesi için gerekli olan veriler bu istasyona girişi yapılan verilerden elde edilmiştir.

2.3 Çalışmada İncelenen Ürün

Pilot bölgede üretilen ürün olması sebebiyle çalışmada rotil ürünü incelenmiştir. Rotil, araçlarda tekerlek ile süspansiyon arasında hareketli bir mafsal görevi görür. Rotilin üretim süreci ürün çeşidine bağlı değişmekte olup talaşlı imalat, kaplama ve montaj proseslerini içermektedir. Yapılan çalışmada, rotil ürününün iç işleme operasyonunun gerçekleştirildiği CNC makineleri konu alınmıştır. Çalışmada ele alınan rotil ürününün işleme operasyonu iş akışı Şekil 2.3'te görülmektedir.

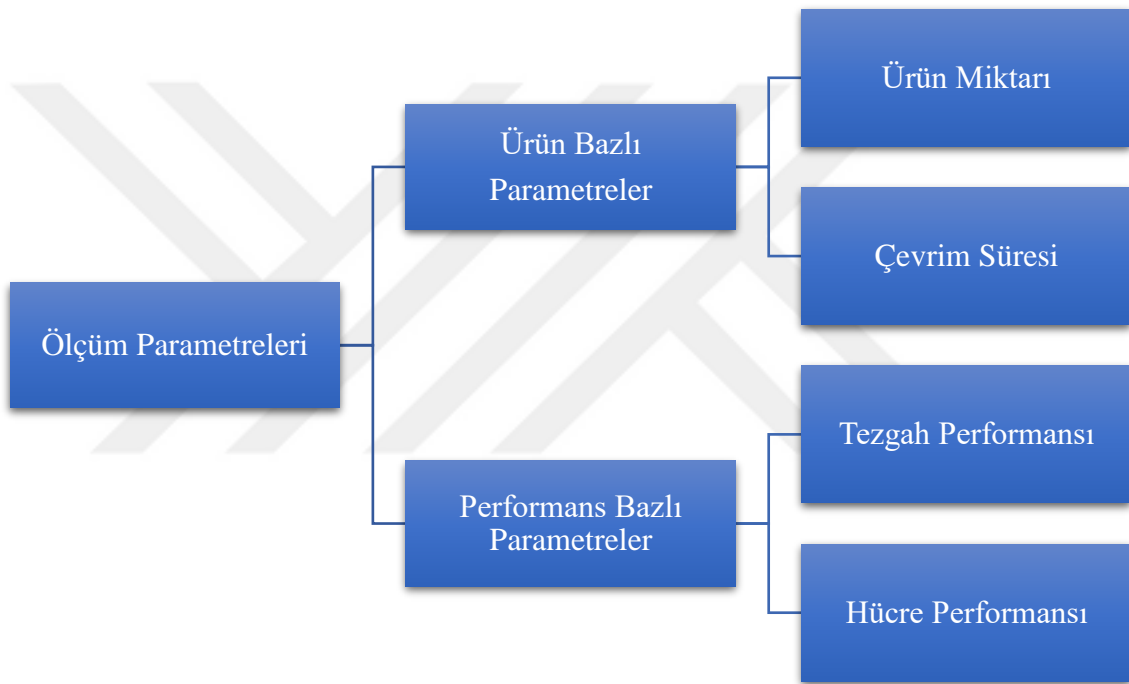


Şekil 2.3. Rotil işleme iş akışı

2.4 Ölçüm Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada işletmeye entegre edilen IoT sisteminin işletme performansına etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda öncelikle kurulan sistemin işletme performansına etki potansiyeli olan parametreler belirlenmiştir. Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi işletme performansına etki potansiyeli olan ölçüm parametreleri; ürün ve performans bazlı olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Parametrelerin belirlenmesi sırasında IoT çalışması yapılan işletmenin yöneticileri ile görüşülmüş ve geçmiş tecrübeleri değerlendirilmiştir. Endüstri 4.0 ve IoT teknolojisi kapsamındaki literatür çalışmaları incelenmiştir. İşletmeden elde edilen bilgiler ve literatür çalışmaları birlikte değerlendirilerek potansiyel parametrelerin ürün miktarı, çevrim süresi, tezgâh performansı ve hücre performansı olacağı öngörülmüştür. Çalışmanın ilerleyen

bölümlerinde mevcut sistemden elde edilen veriler ile IoT sisteminin kurulması sonrası elde edilen veriler belirlenen parametreler kapsamında karşılaştırılmıştır. Tüm parametreler için mevcut durum ve IoT sistemi sonrası önerilen durum karşılaştırması, 2021 yılı ve 2022 yılının ilk 4 aylık üretim verileri toplanarak yapılmıştır. 2021 yılı ilk 4 aylık üretim verileri mevcut durum analizi için incelenirken 2022 yılı ilk 4 aylık üretim verileri ise IoT entegrasyonu sonrası önerilen sistem analizi için incelenmiştir. Kıyaslamaların ilk 4 aylık veriler kapsamında yapılması; 2021 yılı sonunda devreye alınan IoT sisteminin, nisan ayı sonuna kadar incelenmiş olmasıdır. Bu sayede iki durum arasında parametreler bazında yapılan kıyaslamaların daha sağlıklı olması amaçlanmıştır.



Şekil 2.4. İşletme performansı ölçüm parametreleri

İşletmenin mevcut durumunun ürün bazında incelenmesi kapsamında; işletmede yaklaşık 3000 referans ürün için üretim yapılmakta olup üretimde ve üretim verilerinde çeşitlilik oldukça fazladır. İşletmede 2021 yılında üretim frekansı en yüksek olan ilk 10 ürünün kodları ve 2021 yılındaki iş emri sayıları Çizelge 2.1’de, 2021 yılında üretim hacmi en yüksek olan ilk 10 ürünün kodları ve 2021 yılındaki üretim adetleri Çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Üretim frekansı en yüksek olan ürünler

Ürün Kodu	İş Emri Sayısı
A733	14
A755	12
A734	12
A801	11
A732	10
A283	10
A766	10
A1010	10
A259	9
A716	9

Çizelge 2.2. Üretim hacmi en yüksek olan ürünler

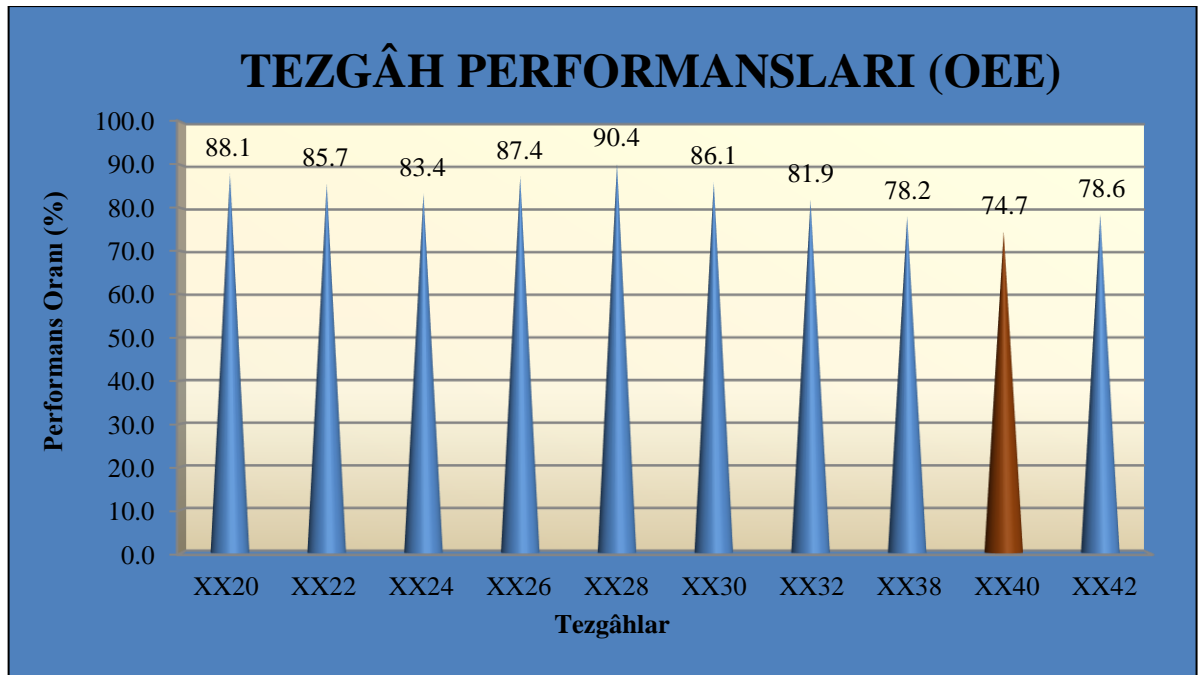
Ürün Kodu	Üretim Adedi
A801	43.343
A734	41.252
A733	38.551
A732	29.766
A387	29.050
A755	24.858
A259	22.827
A766	22.160
A754	22.019
A429	21.280

Ürün bazında değerlendirilen ürün miktarı ve çevrim süresi parametreleri A733 ürünü referans alınarak incelenmiştir. A733 ürünü 2021 yılında işletmede üretim frekansı en yüksek olan ürünler ve üretim hacmi en yüksek olan ürünler arasından seçilmiştir. Çalışmada incelenen A733 kodlu ürün 2021 yılında 14 kez ve 38.551 adet üretilmiştir. İşletmenin ürün skalasının oldukça geniş olduğu göz önünde bulundurulduğunda yüksek frekans ve yüksek hacimde

üretilen bir ürün olduğu tespit edilmiş ve incelenmek üzere seçilmiştir. Ürün miktarı ve çevrim süresi parametreleri için yapılan mevcut durum değerlendirmesi, 2021 yılı nisan ayı sonuna kadar A733 ürünü için gerçekleştirilen 5 adet iş emrine ait veriler ile bulgular ve tartışma bölümünde verilmiştir. Önerilen durum değerlendirmesi, 2022 yılı nisan ayı sonuna kadar ilgili ürün için gerçekleştirilen 6 adet iş emrine ait veriler ile bulgular ve tartışma bölümünde verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında uygulanan IoT sisteminin işletmeye faydasını sayısal olarak ifade etmek amacıyla seçilen performans bazlı parametreler; tezgâh performansı ve hücre performansıdır. Performanslar toplam ekipman etkinliği (OEE) ile hesaplanmıştır. Bu parametreler mevcut durum ve önerilen durumda incelenerek ileriki bölümlerde karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma içerisinde mevcut durum ve önerilen sistemde değinilen OEE değerlerinin tümü, direkt olarak işletmenin OEE hesabı verilerinden alınmıştır.

Tezgâh performansı parametresini incelemek amacıyla pilot bölgede bulunan 10 adet tezgâh arasından seçim yapılmıştır. Pilot bölge olan RR hücresindeki CNC tezgâhlarının 2021 yılında gerçekleşen yıllık performans verileri incelenmiştir. RR hücresindeki 10 tezgâh için 2021 yılı OEE değerleri Şekil 2.5'te verilmiştir. 2021 OEE değerlerine göre yıllık ortalama OEE değeri en yüksek olan tezgâh %90,4 değeri ile XX28, en düşük olan tezgâh ise %74,7 değeri ile XX40 tezgâhıdır.



Şekil 2.5. Tezgâhların 2021 yılı OEE değerleri

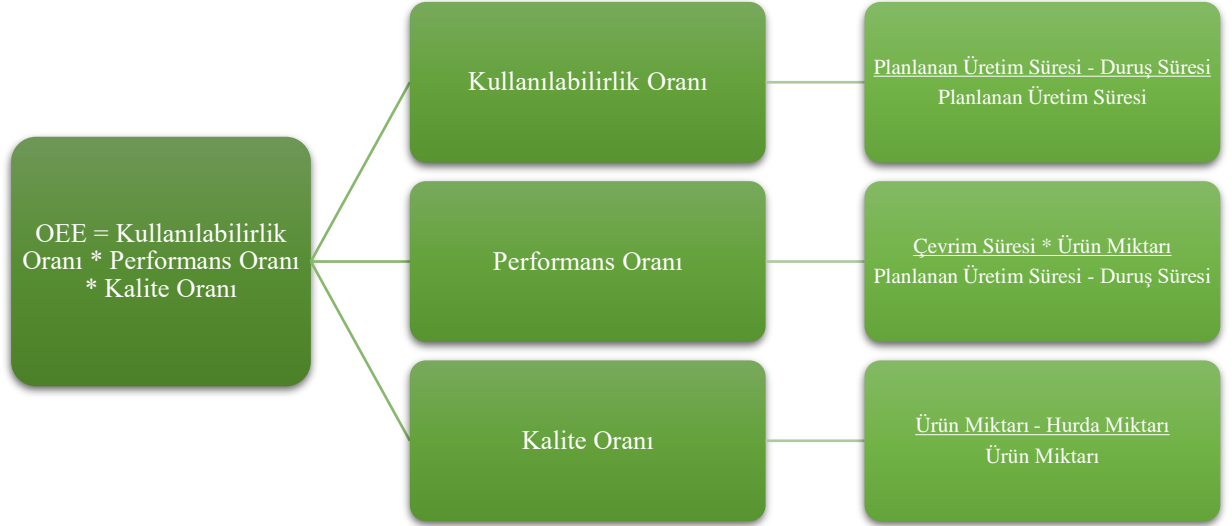
IoT sistemi uygulamasının işletme performansına etkisinin değerlendirilmesi için belirlenmiş olan tezgâh performansı parametresi, XX40 tezgâhı seçilerek incelenmiştir. Amaç; mevcut durum ve önerilen durum arasında yaratılacak katma değer maksimize edilmesidir ve bu nedenle %74,7 OEE değeri ile yıl içerisinde en düşük performansı gösteren XX40 tezgâhı seçilmiştir. Tezgâh performansı parametresi için mevcut durum ve önerilen durum analizi, bulgular ve tartışma bölümünde verilmiştir.

İşletme bünyesinde, aynı tip işi yapan makinelerin bir arada konumlandırıldığı bölge hücre olarak tanımlanmaktadır. Aynı tip işi yapan makinelerin performanslarının ortalaması da hücre performansını oluşturmaktadır. Çalışmada hücre performansı parametresi pilot bölge olan RR hücresinin performansı baz alınarak incelenmiştir. RR hücresinin 2021 ve 2022 yılı ilk 4 aylık performans verileri karşılaştırılarak bulgular ve tartışma bölümünde verilmiştir.

2.5 OEE (Overall Equipment Effectiveness)

OEE; süreçlerin, makinelerin, üretim hatlarının performansını hesaplamak amacıyla uygulanan bir tekniktir. Makine performansını belirleyerek kayıpların tespit edilmesini ve bu doğrultuda kayıpları minimize ederek performansı arttırmayı hedeflemektedir. Toplam ekipman etkinliğinin karşılığı olan OEE, performansın ölçüldüğü nicel bir araçtır. Üretim sistemine olan güvenin artırılmasını, süreç kayıplarının tespit edilmesini ve süreçlerin doğru analiz edilmesini amaçlamaktadır. OEE hesaplamaları basit olmasına rağmen içerisinde birçok veriyi barındırmasından kaynaklı güvenilir bir tekniktir. OEE hesabının doğru bir sonuç verebilmesi için girdi olarak kullanılan verilerin doğruluğu oldukça önemlidir. OEE değerinin hesaplanmasının önemli olduğu kadar bu verilerin doğru yorumlanması da büyük önem teşkil etmektedir. Kimi zaman hesaplama ile sonlanan bu çalışmaların işletme için öngörüldüğü kadar fayda sağlanması beklenemez. Hesaplamaların yapılması sonucunda bu değerlerin yorumlanması ile kayıpların nedenlerine kadar analiz yapılabilmektedir. OEE değerinin %100 olması pek mümkün olmamakla birlikte mükemmel üretimi temsil etmektedir. Dünya standartları tarafından kabul gören OEE değeri %85'tir (Polat, 2014).

OEE değeri aşağıdaki Şekil 2.6'da ifade edildiği gibi üç temel oranın çarpımı ile elde edilmektedir. Bu oranlar; kullanılabilirlik oranı, performans oranı ve kalite oranıdır.



Şekil 2.6. OEE değeri hesabı

- Planlanan üretim süresi; toplam vardiya süresinden yemek molası ve planlı bakım süresi çıkarılarak hesaplanır.
- Duruş süresi; operatörün vardiya içerisinde planlı bakım ve yemek molası haricinde yaptığı duruşların toplam süresidir.
- Çevrim süresi; bir ürünün üretim süresidir.
- Ürün miktarı; vardiya boyunca üretilen sağlam ve hurda ürünlerin toplam adedidir.
- Hurda miktarı; vardiya boyunca üretilen ürünlerden hatalı olarak üretilmiş ve hurda edilmiş ürünlerin toplam miktarıdır.

2.6 IOT Sisteminin Uygulanması

İşletmede yapılan gözlemler, incelemeler ve mevcut kayıtlar sonrasında vardiya başlangıcı, yemek molası, vardiya bitişi gibi istasyonun aynı anda kullanımını gereken durumlarda istasyonda oldukça fazla yoğunluk yaşandığı görülmüştür. Bu nedenle operatörler istasyon başında beklemekte veya başka bir lokasyondaki istasyondan girişlerini yapmayı tercih etmektedir. Her iki durumda da zaman kaybı yaşandığı tespit edilmiş ve günlük raporlamaların, duruş süreleri verilerinin doğruluğunun operatörün inisiyatifinde olması mevcut sistemin dezavantajı olarak belirlenmiştir. Bu dezavantajı minimize ederek sürecin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla sayısal veriler ekseninde mevcut çalışma gerçekleştirilmiştir.

Yapılan inceleme ve tespitler sonrasında aşağıda verilen sorunlar çözülmesi öncelikli olan sorunlar olarak belirlenmiştir.

- İş emri girişi yapılmadan üretime başlanması nedeniyle verilerin doğruluğunda yaşanan sorunlar
- Duruşların üretim sırasında veya vardiya sonunda girilmemesi nedeniyle var olan duruşların sistemde zaman kaybı olarak görülmemesi ve duruşlardan yaşanan zaman kayıplarının ölçülememesi
- Üretim sırasında duruş girildikten sonra üretime devam ederken duruş işleminin sonlandırılmasının atlanması
- Ürün bazlı çevrim süresinin takip edilememesi ve doğrulanamaması
- Günlük raporlamaların yapıldığı tek istasyondaki yaşanan yoğunluktan dolayı operatörlerin verilerini girmekte gecikmesi ve beklemeler yaşaması nedeniyle çalışanların zaman kayıpları yaşaması

Çalışmada, yukarıda belirtilen sorunların çözümüne yönelik rotil ürünü üretilen tezgâhların bulunduğu pilot bölgede IoT teknolojisi uygulaması yapılmıştır. İşletmedeki üretim verilerini operatör inisiyatifine bırakılmadan verilerin doğru ve güvenilir bir şekilde toplanabilmesi amacıyla IoT sistemi önerilmiştir. IoT sistemi sayesinde hem verilerin güvenilir bir şekilde toplanması hem de işletmenin performansında iyileştirme yapılması hedeflenmiştir. Bu nedenle işletmenin tüm tezgâhları için operatörlerin kendi çalışma alanlarından raporlama yapabileceği ve tezgâh ile entegre çalışabilecek bir IoT sistemi geliştirilmiştir. Tezgâhlara bağlanacak ekranlar için işletmenin bünyesindeki IT departmanı tarafından hazırlanmış olan yazılım kullanılmaktadır.

Yapılan tez çalışması için RR hücresi olarak isimlendirilen 10 adet CNC tezgâhından oluşan hücre, pilot bölge seçilmiştir. İşleme merkezi tezgâhlarının yapısı daha karmaşık olduğu için pilot bölge olarak CNC tezgâhları seçilmiş olup sistemin daha sonra tüm tezgâhlara yaygınlaştırılması planlanmaktadır.

2.6.1 Sistemin Kurulum Adımları

Çalışmada ele alınan IoT sisteminin kurulum aşamaları Şekil 2.7’de gösterilmiş olup çalışmada, sırası ile bu adımlar izlenmiştir.



Şekil 2.7. Sistemin kurulum adımları

Veri toplama için alınacak olan sinyaller belirli komutların gerçekleştirilmesi ile gönderilmektedir. Bu kapsamda sistemin tasarlanması adımında operatör ve makineden alınması gerekli olan komutlar belirlenmiştir. Operatörden alınacak komutlar; vardiya başlat, vardiya bitir, duruş gir, üretim başlat, ERP iş emri gir gibi komutlardır. Makineden alınacak komutlar; ürün işleme başlangıç ve bitiş, ürün işleme sırasında iptal komutu gibi komutlardır. Belirlenen komutlar doğrultusunda sistemin algoritması oluşturulmuştur.

Veri toplama için uygun cihaz araştırılması sürecinde PLC ve Raspberry Pi olmak üzere iki alternatif düşünülmüştür. Operatörlerin kullanımı için temin edilecek bilgisayarlar ile PLC aracılığıyla sunucuda toplanan verilerin kullanılmasını sağlayacak bir operatör yazılımı yapılması ilk seçenek olarak belirlenmiştir. Bu seçenek; PLC, bilgisayar ve kablolama gibi yüksek yatırım maliyetleri gerektirdiği için reddedilmiştir. Alternatif yöntem olarak Raspberry Pi geliştirme kartı araştırılmıştır. Bu kartlar üzerinde bir işletim sistemi bulunmaktadır. Aynı zamanda bu geliştirme kartına monitör ve klavye takılarak bilgisayar yerine kullanılabilir. Bu nedenle yatırım maliyetleri PLC kurulumuna kıyasla daha düşük

olması sebebi ile bu çalışmada PLC ve bilgisayar yerine geçebilecek Raspberry Pi geliştirme kartı kullanılmasına karar verilmiştir. Cihaz seçimi sonrası kullanılacak cihaza uygun işletim sistemi ve kodlama dili seçilmiştir. Operatörlerin veri girişi yapabileceği operatör ekranı ve girişi yapılan verilerin kaydedileceği veri tabanı kodlanmış ve oluşturulmuştur. Oluşturulan programın işletmede var olan ERP sistemi ile entegrasyonu sağlanmıştır. Üretim ve veri girişi ekranları tamamlandıktan sonra yöneticilerin toplanan verileri bir rapor halinde sunacak olan raporlama ekranları tasarlanmıştır. Tüm kodlama ve teknik hazırlıklar sonrası sistem test edilerek ihtiyaç duyulan güncellemeler yapılmıştır. Tekrarlanan testlerin uygunluğu sonrası cihaz siparişleri verilmiştir. Cihazlar tedarik edilerek kurulumu yapılmış ve sistem kullanıma başlanmıştır.

2.6.2 IoT Sisteminin Kullanımı

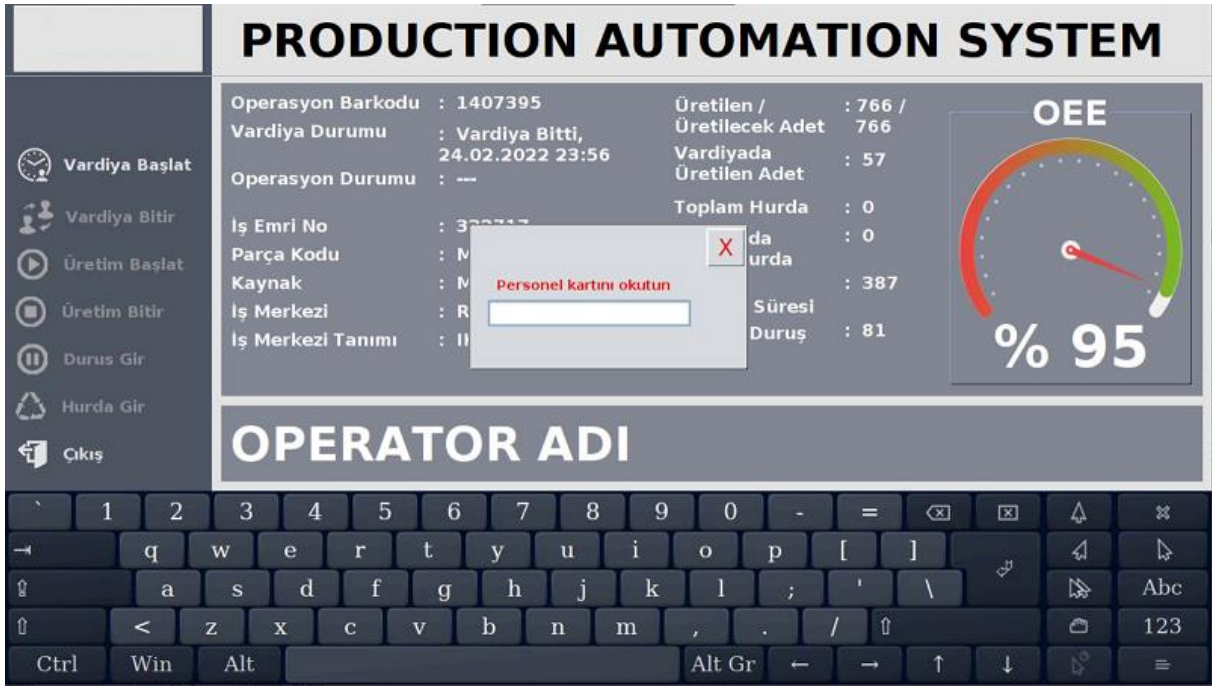
RR hücreesine entegrasyonu gerçekleştirilen IoT sistemi ile birlikte konumlandırılan dokunmatik ekranlar sonrası tezgâhların yeni görünümü Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Önerilen sistemin kurulumu sonrası tezgâhın genel görünümü

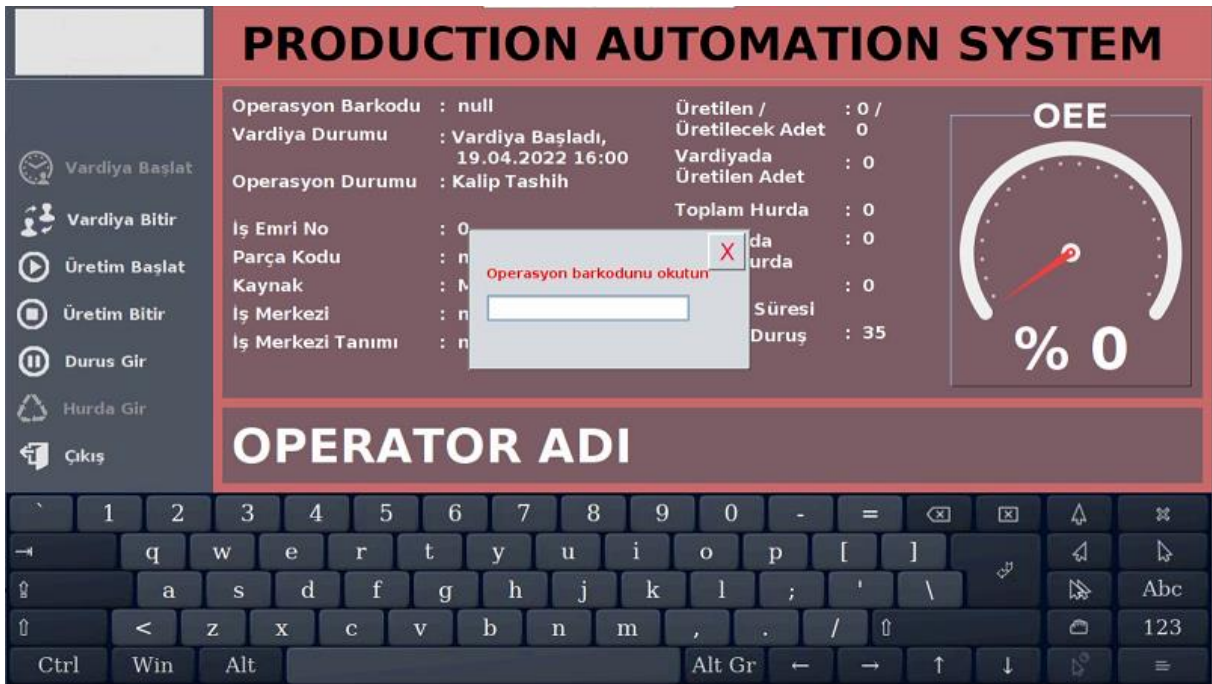
IoT teknolojisi kapsamında kurulan sistemin kullanımı görseller ile detaylı olarak açıklanmıştır. Görseller, sistemin kullanım sırasındaki ekran görüntülerine örnek olması amacıyla deneme yapılarak elde edilmiştir.

IoT sistemini başlatmak için tezgâhta çalışacak personelin tanımlanması gerekmektedir. Personel kartını barkod sistemi ile okutarak kendi kimliğini tezgâha tanımlamış olur (Şekil 2.9).



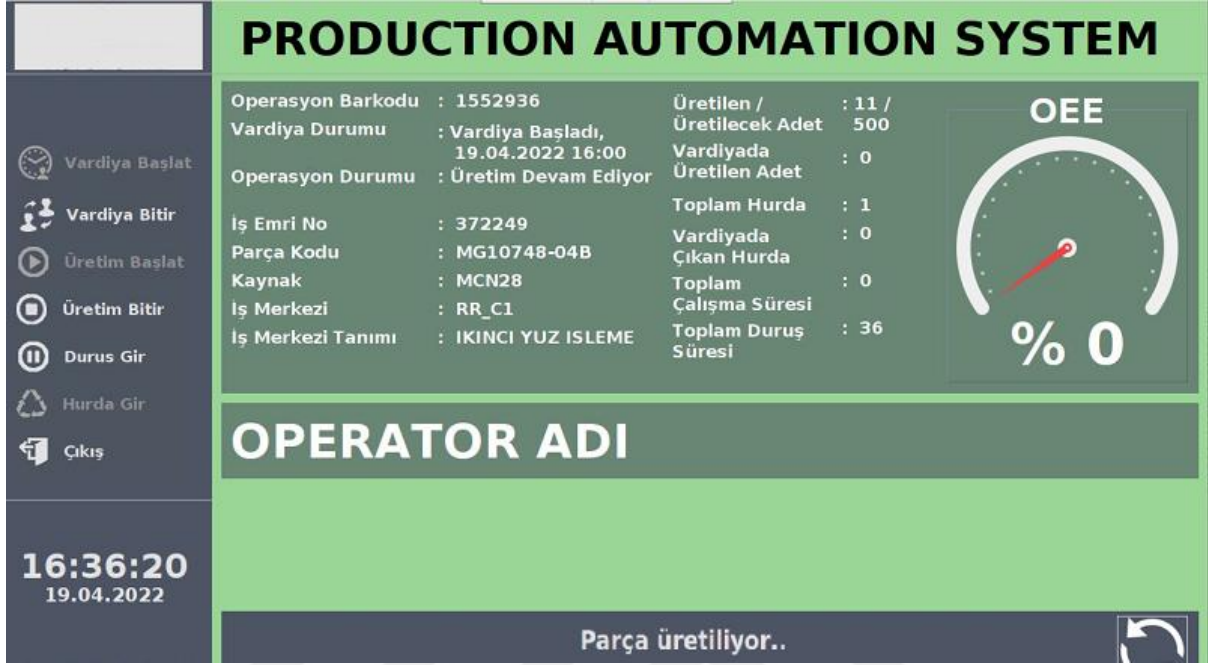
Şekil 2.9. Personel kartının okutulması

Operatör vardiya başlat butonuna tıkladığında vardiya başlat komutu ile birlikte sistem iş emri bilgisi istemektedir (Şekil 2.10).



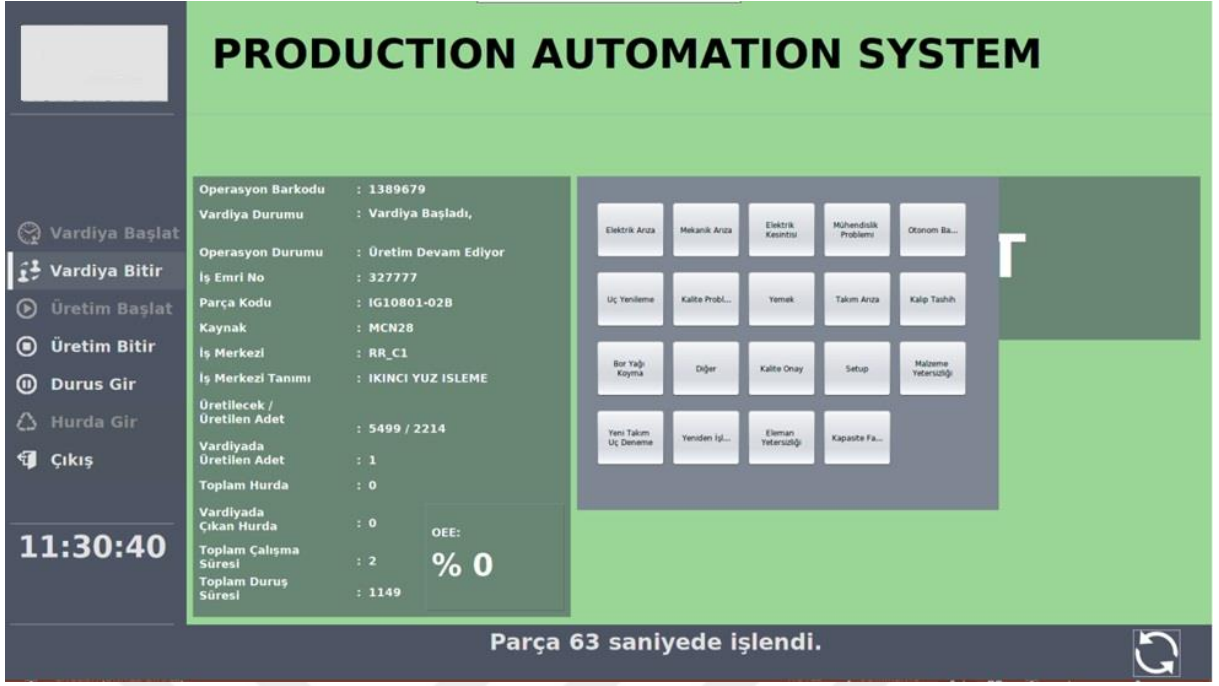
Şekil 2.10. İş emrinin girilmesi

Girilen iş emri ile ekran yeşile dönmekte ve ilgili iş emri ile üretim başlatılmaktadır (Şekil 2.11). Üretim başlatıldıktan sonra ekranın altında ürünün üretildiğine dair bilgilendirme bulunmaktadır.



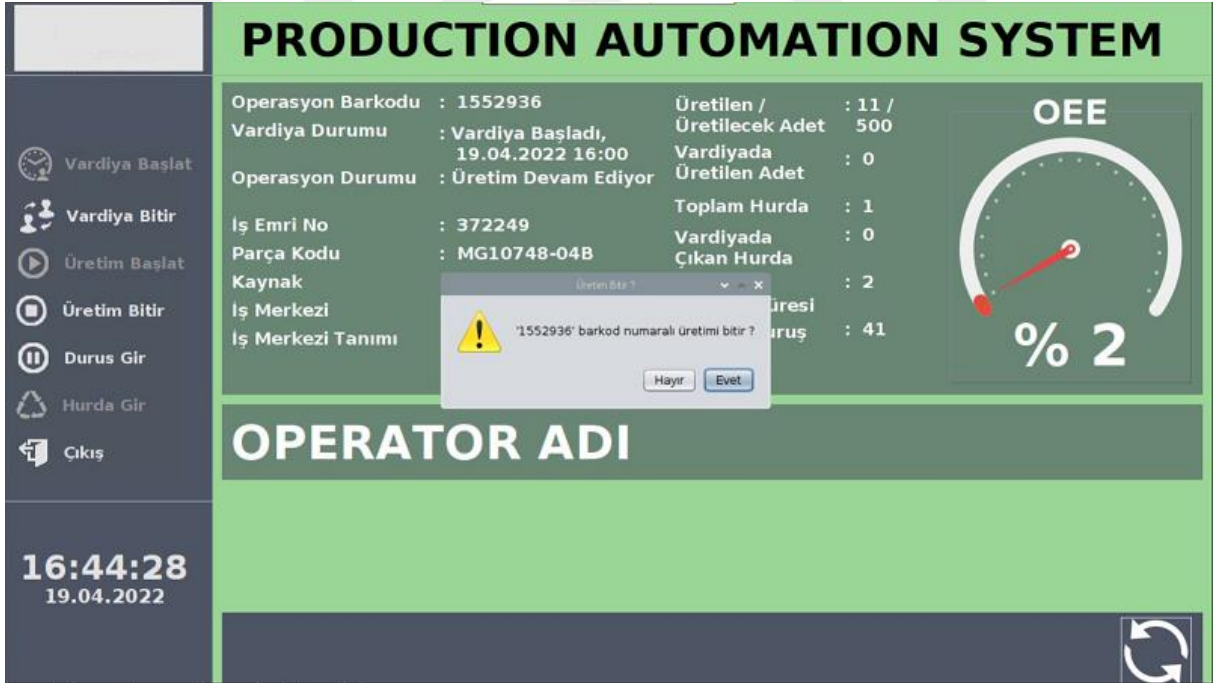
Şekil 2.11. Üretim ekranı

Şekil 2.12’de görüldüğü üzere her ürünün üretimi sonunda sistem, ürünün kaç saniyede üretildiğine dair bir bilgilendirme yapmaktadır. Üretilen ürün eğer hurda edilecek ise hurda gir butonu ile sisteme hurda olarak işlenmektedir.



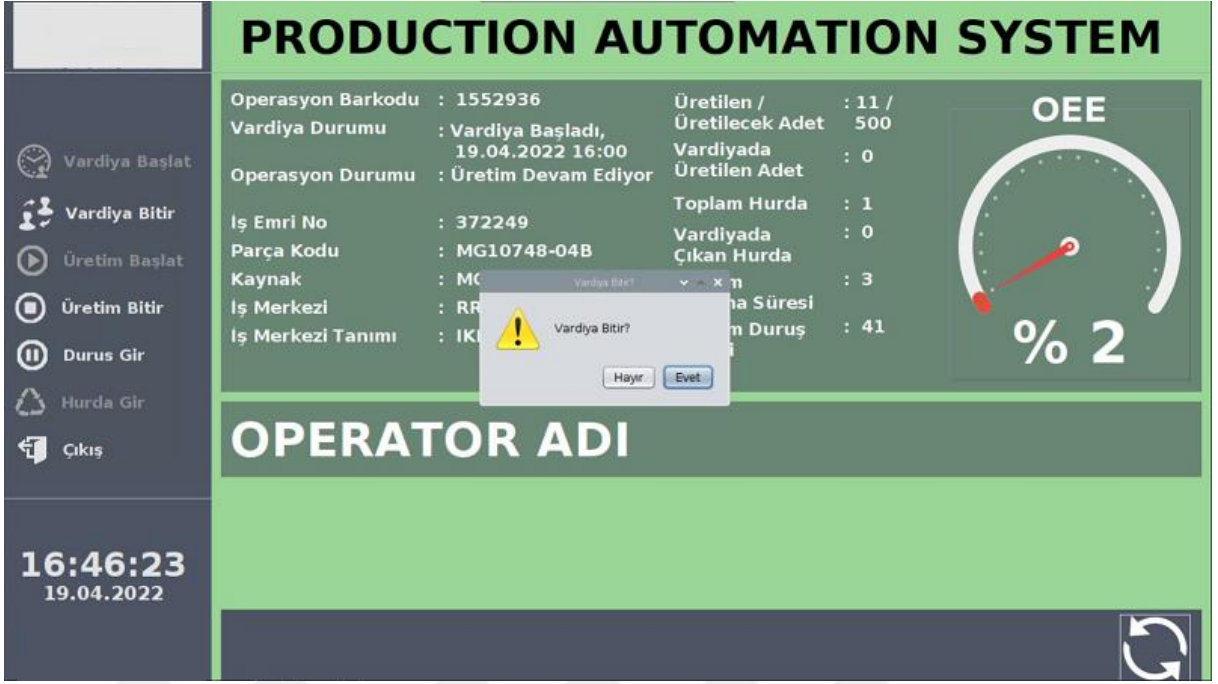
Şekil 2.12. Bir ürünün üretiminin tamamlanması

İlgili iş emrindeki ürün adedi tamamlandığında üretim bitirilir ve varsa yeni iş emrine geçilir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. İş emrinin tamamlanması

Vardiya tamamlandıktan sonra Şekil 2.14'teki ekran görüntülenir ve vardiya bitirilir.



Şekil 2.14. Vardiyanın tamamlanması

Vardiya sonlandırıldığında sistem otomatik olarak vardiya raporunu oluşturur ve veri tabanına kaydeder. Vardiya raporu istenildiği zaman veri tabanından görüntülenebilmekte ve çıktı alınabilmektedir. Vardiya raporu veri tabanına ait örnek oluşturması açısından Şekil 2.15 verilmiştir.

SEQ_NO	QUANTITY	START_DATE	FINISH_DATE	SHIFT_SEQ_NO	TRANSACTION_CODE	INTERRUPT_CODE	NOTE	DURATION_STD	EMP_NO	BARCODE_ID	RESOURCE
1	70025	24.02.2022 16:00:07	24.02.2022 23:56:02		SHIFT			0.003889	2308		MCN28
2	70026	24.02.2022 16:00:21	24.02.2022 18:34:37	70025	RUN			2.571111	2308	1404955	MCN28
3	70027	24.02.2022 18:34:37	24.02.2022 18:36:23	70025	STOP	8	elmas de	0.029444	2308	1404955	MCN28
4	70028	24.02.2022 18:35:15	24.02.2022 18:35:15	70025	OFFFEED				2308	1404955	MCN28
5	70029	24.02.2022 18:36:23	24.02.2022 19:43:22	70025	RUN			1.116389	2308	1404955	MCN28
6	70030	24.02.2022 19:43:22	24.02.2022 19:47:28	70025	STOP	20	wc	0.068333	2308	1404955	MCN28
7	70031	24.02.2022 19:47:29	24.02.2022 20:29:56	70025	RUN			0.7075	2308	1404955	MCN28
8	70032	24.02.2022 20:29:56	24.02.2022 20:59:23	70025	STOP	12	yemek	0.490833	2308	1404955	MCN28
9	70033	24.02.2022 20:59:23	24.02.2022 22:27:20	70025	RUN			1.465833	2308	1404955	MCN28
10	70034	24.02.2022 22:27:52	24.02.2022 22:49:16	70025	STOP	100	setup	0.356667	2308	1407395	MCN28
11	70035	24.02.2022 22:49:16	24.02.2022 23:08:59	70025	STOP	23	kalite	0.320611	2308	1407395	MCN28
12	70036	24.02.2022 23:08:56	24.02.2022 23:08:56	70025	SETUP_QTY				2308	1407395	MCN28
13	70037	24.02.2022 23:08:59	24.02.2022 23:47:17	70025	RUN			0.638333	2308	1407395	MCN28
14	70038	24.02.2022 23:47:17	24.02.2022 23:51:15	70025	STOP	21	boruyagi ilave	0.066111	2308	1407395	MCN28
15	70039	24.02.2022 23:51:15	24.02.2022 23:56:01	70025	STOP	6		0.079444	2308	1407395	MCN28

Şekil 2.15. Vardiya raporu veri tabanı

Sistem vardiya raporu verilerinin yanı sıra ürünlerin işleme sürelerini, ürünün tezgâha bağlanma ve tezgâhtan sökülme sürelerini otomatik olarak veri tabanına kayıtlar eder. Örnek teşkil etmesi amacıyla Şekil 2.16 verilmiştir. Şekil 2.16'da PROCESS_SEC olarak verilen veri tezgâhın ürünü işleme süresi, OP_CYCLE_TIME olarak verilen veri ise işlenen ürünü tezgâhtan sökme ve yeni ürünü bağlama arasında geçen süreyi göstermektedir.

	BTN_SEQ_NO	RUN_SEQ_NO	START_DATE	FINISH_DATE	PROCESS_SEC	OP_CYCLE_TIME	FACTOR
1	2649817	70037	24.02.2021 23:09:05	24.02.2021 23:09:33	27,8	6,7	1
2	2649818	70037	24.02.2021 23:10:11	24.02.2021 23:10:39	27,8	39	1
3	2649819	70037	24.02.2021 23:10:49	24.02.2021 23:11:16	27,8	10,2	1
4	2649820	70037	24.02.2021 23:11:21	24.02.2021 23:11:49	28	5,2	1
5	2649821	70037	24.02.2021 23:11:53	24.02.2021 23:12:21	27,8	5	1
6	2649822	70037	24.02.2021 23:12:39	24.02.2021 23:13:07	27,9	18,9	1
7	2649823	70037	24.02.2021 23:13:27	24.02.2021 23:13:55	27,8	20,3	1
8	2649824	70037	24.02.2021 23:14:43	24.02.2021 23:15:11	27,8	49	1
9	2649825	70037	24.02.2021 23:15:17	24.02.2021 23:15:45	28	6,2	1
10	2649826	70037	24.02.2021 23:15:53	24.02.2021 23:16:21	27,9	8,1	1
11	2649827	70037	24.02.2021 23:16:25	24.02.2021 23:16:53	28	4,9	1
12	2649828	70037	24.02.2021 23:17:13	24.02.2021 23:17:41	28	20,8	1
13	2649829	70037	24.02.2021 23:17:45	24.02.2021 23:18:13	27,9	4,5	1
14	2649830	70037	24.02.2021 23:18:25	24.02.2021 23:18:52	27,9	12,1	1
15	2649831	70037	24.02.2021 23:19:24	24.02.2021 23:19:51	27,8	32	1
16	2649832	70037	24.02.2021 23:20:02	24.02.2021 23:20:29	27,8	11,1	1
17	2649833	70037	24.02.2021 23:21:20	24.02.2021 23:21:48	28	51,9	1
18	2649834	70037	24.02.2021 23:21:52	24.02.2021 23:22:20	27,8	4,5	1
19	2649835	70037	24.02.2021 23:22:24	24.02.2021 23:22:52	27,8	4,5	1
20	2649836	70037	24.02.2021 23:23:22	24.02.2021 23:23:50	27,8	30,6	1
21	2649837	70037	24.02.2021 23:24:02	24.02.2021 23:24:30	27,8	12,8	1
22	2649838	70037	24.02.2021 23:24:35	24.02.2021 23:25:03	27,9	5,4	1
23	2649839	70037	24.02.2021 23:25:44	24.02.2021 23:26:12	27,8	42	1

3:1 53 rows selected in 0,062 seconds

Şekil 2.16. Veri tabanı

Sistemin, tezgâhın ürünü işleme süresini ayrı olarak kayıt altına alacak şekilde tasarlanmasının sebebi kesici uç verimliliğinin hesaplanmasına olanak sağlamaktır. Projenin ileriki aşamalarında kesici uç ömrü çalışmalarında yeni uçların eski uçlara göre verimliliğinin analizinde bu verinin kullanılması amaçlanmaktadır.

3. ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ

Tarih boyunca sanayi devrimleri, yeni teknolojik girişimlere ve bunun bir sonucu olarak meydana gelen toplumsal dönüşümlere öncülük etmiştir. Sanayi devrimlerinin özünde verimliliği artırma hedeflenmiştir.

Her sanayi devrimi yeni teknolojik girişimlere, yeniliklere veya toplumsal dönüşümlere yol açmıştır. İlk sanayi devriminde su ve buhar gücünün yenilikçi bir şekilde kullanılması ile mekanik üretime geçişe öncülük edilmiştir. İkinci sanayi devrimi ile seri üretim kavramı nitelik kazanmıştır. Aynı zamanda elektrik gücü, petrol kullanılmaya başlanarak buna bağlı operasyonların hızla iyileşmesine neden olmuştur. Üçüncü sanayi devrimi, elektronik ve bilgi alanlarında gelişmeleri başlatarak yenilikçi süreçlere yol açmıştır. Bu dönemde, internetin keşfedilmesi ile dijital teknolojiler üretim sistemlerine entegre olmaya başlamış ve önemli ölçüde gelişmeler yaşanmaya başlamıştır (Şahin, 2019).

Tüm sanayi devrimlerinin özünde verimliliği artırma hedeflenmiştir. İlk sanayi devrimi, verimliliği artırmak için buhar gücünün kullanılması ile başlamıştır. İkinci sanayi devriminde verimlilik artırma elektrik kullanılması ile hedeflenmiştir. Üçüncü sanayi devriminde üretkenliği ve verimliliği artırma elektronik ve bilişim teknolojilerinin kullanılması ile hedeflenmiştir. Dördüncü sanayi devriminde ise tedarik zinciri boyunca veri toplama ve paylaşımına bağlı olacak yeni bir endüstriyel alan oluşturma ile verimliliğin artırılması hedeflenmiştir (Şahin, 2019).

3.1 Endüstri 1.0

İlk sanayi devriminin yaşandığı bu dönemde İngiltere’de buharlı makinelerin icat edilmesi ile buharlı gemi ve trenler kullanılmaya başlanmıştır. 1712 senesinde Thomas Newcomen tarafından icat edilen buhar pompası, İskoçyalı Mühendis James Watt tarafından geliştirilmiş ve ticari hareketlerin gelişmesi sağlanmıştır. Bu dönemde yaşanan gelişmeler ile birlikte demiryolu gelişimi başlamış ve buharlı makine, telgraf geliştirilmiştir. Buharlı makinelerin icatı ve demir yolu yapımı mekanik üretimi başlatmıştır (Özkaya, Gür ve Eren, 2019).

3.2 Endüstri 2.0

Sanayi gelişimindeki 2. döneminde ana enerji kaynakları ve hammaddelerde değişiklik meydana gelmiştir. Demir ve kömürün yanında petrol, elektrik kullanılmaya başlanmıştır.

Endüstri 2.0, dünyanın seri üretim kavramıyla tanıştığı bir dönemdir. Seri üretimin öncüsü olarak bilinen Henry Ford, akış bantlarını üretimde kullanmaya başlamıştır. Bu dönem aynı zamanda telgraf ve telefonların kullanımına başlanması sebebiyle teknoloji devrimi olarak da anılmaktadır (Özkaya, Gür ve Eren, 2019).

3.3 Endüstri 3.0

20. yüzyılda tek tip üretimin ilgisini kaybetmesiyle elektronik, iletişim, bilgi alanlarında gelişmeler yaşanarak otomasyon, üretim sistemlerine entegre olmaya başlamıştır. Otomasyonun entegre edilmesi ile daha pratik üretim yapılarak üretim maliyetleri düşürülmüş ve böylece daha verimli ürün elde edilmesi sağlanmıştır. Bu dönemde internetin keşfedilmesi dönüm noktası olmuş ve sanayide yaşanan gelişmeler hızlanmaya başlamıştır (Özkaya, Gür ve Eren, 2019).

3.4 Endüstri 4.0

Endüstri 4.0 kavramı sanayi devriminde çoğunlukla bilgi teknolojileri, otomasyon, makine öğrenebilme yetisi ve anlık verilere odaklanan yeni nesil bir kademeyi temsil etmektedir. Nesnelerin interneti ve akıllı üretimin birlikte hareket etmesini sağlayan endüstri 4.0, üretim ve tedarik zinciri felsefesine yoğunlaşan işletmeler için daha entegre ve daha iyi iletişim ağına sahip bir sistem oluşturmak için fiziksel üretim ve operasyonları akıllı dijital teknoloji, makinelerin birbirleriyle haberleşmesini ve büyük verileri birbirleriyle kombine etmektedir (Gürsoy, 2020).

Tüketicilerin ihtiyaç ve taleplerindeki değişimlerin karşılanması amacı ile günümüze kadar birçok sanayi devrimi yaşanmıştır. Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi buharlı makinelerin kullanılması ile başlayan bu değişim süreci kömür, elektriğin kullanılması ve otomasyon sistemlerinin dahil olması ile devam etmiştir. İçerisinde bulunduğumuz endüstri 4.0 döneminde siber fiziksel sistemler ve IoT sistemi gibi önemli sistemler hayatımıza dahil edilmiştir.

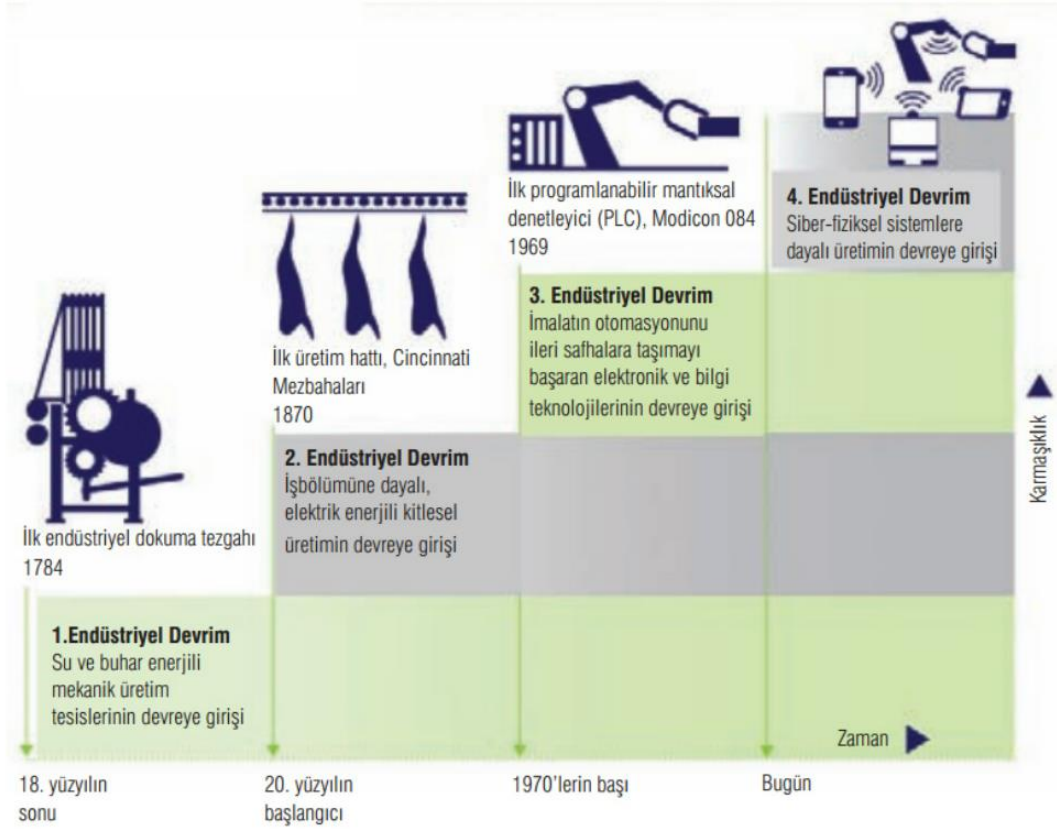
Endüstri 4.0 terimi, ilk olarak 2011 yılında dünyanın en büyük sanayi fuarı olan Hannover Fuarı’nda duyulmuştur. Sonrasında endüstri 4.0 kavramı "Gelişmiş İmalat", "Geleceğin Fabrikaları", "Dördüncü Sanayi Devrimi" ve "Akıllı Fabrika" gibi birçok isimle anılmaya başlanmıştır.

Endüstri 4.0, Almanya’da ileri teknoloji stratejisi bağlamında kullanılmıştır. Dördüncü sanayi devrimi; veri toplama, aktarma ve otomasyonun birleştirilmesi ile makinelerin birbirleri

ile iletişimde bulunacağı, insan olmadan üretim yapılabildiği bir üretim sistemi anlayışını benimsemiştir. Bu sayede üretim sürelerinin düşürüleceği, birim başı maliyetlerin azaltılacağı sistemler hedeflenmiştir. Endüstri 4.0 ile değer zincirinin bütün adımlarının birbirleri ile iletişimde ve gerçek zamanlı olabileceği ve böylece daha esnek, dinamik, verimli ve kaliteli bir üretim sağlanabilmektedir.

Endüstri 4.0 devrimi tüketicinin talebiyle başlayan sürecin dijitalleşmesini ifade etmektedir. Üçüncü sanayi devriminde imalat süreçlerinin dijitalleşmesi üzerine odaklanılmış, daha çok üretimde kullanılan makinelerin otomasyonu için çalışmalar yapılmıştır. İçinde bulunduğumuz dördüncü sanayi devriminde ise sadece imalatın değil bir işletmenin tüm değer zincirinin dijital entegrasyonu söz konusudur. Özellikle değer zincirinin bir halkası olan müşterilerin sürece entegre edilmesi ürünlerin bireyselleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Duman, 2019).

Küreselleşen dünyada tüketicilerin taleplerindeki değişim ve buna bağlı rekabet edebilirlik, üretimde esnekliğin artırılması, işgücüne bağımlılığın azaltılması, verimliliğin artırılması ve maliyetlerin azaltılması gibi amaçlar bu doğrultuda endüstri 4.0'ın çıkış noktası olarak görülebilir. Ayrıca doğal kaynakların azalması gibi tüm dünyada endişe yaratan sorunlar yine endüstri 4.0'ı tetikleyen bir unsur olarak görülebilmektedir. Bu kapsamda endüstri 4.0'ın sürdürülebilirlik kapsamında da getirebileceği yeniliklerin, bu teknolojilere olan bakış açısına önemli ölçüde katkı sağladığı söylenebilir (Pamuk ve Soysal, 2018). Sürekli iyileştirme kavramı üzerine odaklanan endüstri 4.0 devrimi sistemin verimliliğini artırmak adına nesnelere interneti, siber fiziksel sistemler, akıllı robotlar, eklemeli üretim, büyük veri, yapay zekâ gibi birçok yeniliği ve teknolojiyi kapsayan bir devrimdir (Özdemir ve Özgüner, 2018). Sanayi devrimi aşamaları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Endüstri devrimi aşamaları (Endüstri tarihine kısa bir yolculuk, t.y.)

3.4.1 Endüstri 4.0'ın Potansiyel Faydaları

Günümüzde şirketlerin çoğunluğu ürün, teknik, teknolojik ve organizasyonel inovasyonu uygulamaktadır. İşletmeler, termin süresine ve koşullarına uygun sevkiyat, ürün varlığı ve güvenilirliği ile ilgili artan müşteri gereksinimleri için değer yaratmaya odaklanmıştır. Bu nedenle işletmeler nesnelerin interneti, akıllı robotlar, büyük veri gibi endüstri 4.0 teknolojilerini kullanarak yeni çözümler ve müşteri ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik fırsatlar yaratmaktadır. Endüstri 4.0'ın potansiyel faydaları seçilen endüstri 4.0 teknolojisine göre değişmektedir. Bu faydalardan birkaçı aşağıdaki maddeler ile açıklanmıştır.

- **Maliyet:** Endüstri 4.0 uygulanan alanlarda robotların ön plana çıkması ile birlikte işçi sayılarındaki azalış önem taşımaktadır. Bu durum doğrudan işçi maliyetlerini azaltmakta ve ürün fiyatlarına etki etmektedir.
- **Çevre:** Süreçlerdeki dijitalleşmenin yaygınlaşması ile doğal kaynak kullanımının ve atık oluşumunun azalması çevreye ve doğaya verilecek zararın minimuma indirilmesini sağlamaktadır.
- **Verimlilik:** Sürdürülebilir üretim diğer bir deyişle girdi kaynaklarının (malzeme, enerji, insan gibi) optimize edilmesi ile verimliliğin artırılması amaçlanır.

Geliştirilen teknolojiler ile problemlere hızlı tepki verebilme, hasarlı ürün sayısındaki azalma, üretim sürelerinin kısalması gibi sonuçlar da verimliliğin artmasına olanak sağlamaktadır.

- Esneklik: Planlama koşullarına hızlı cevap verebilme, piyasadaki yenilikleri kolay benimseyebilme, müşteri taleplerindeki değişikliklere hızlı uyum sağlayabilme esnek bir üretime sahip olunduğunu göstermektedir. Esnek bir üretime sahip olunması işletmeler için yeni pazarlara ve farklı müşterilere kolay ulaşmayı mümkün kılmaktadır.

Bunlara ek olarak endüstri 4.0; işçilik maliyetlerinin düşürülmesi, iş süreçlerinin kolaylaştırılması, stok hatalarının azaltılması ve lojistik süreçlerinde şeffaflık gibi faydaları da beraberinde getirmektedir. Bunların tümü, üretkenliğin artmasını ve dolayısıyla ekonomik büyümeyi teşvik etmektedir.

3.4.2 Endüstri 4.0'ın Potansiyel Zorlukları

Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanan şirketler birçok fayda sağlayacak dönüm noktasına ulaşır; fakat teknik, maliyet ya da yönetsel vb. yönlerle ilgili çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalabilirler. Bu zorluklardan birkaçına aşağıdaki maddelerde değinilmiştir.

- Maliyet: Endüstri 4.0 teknolojilerinin yatırım, bakım gibi maliyetleri değişkenlik gösterebilir. Kimi zaman oluşabilecek maliyetler, işletmelerin yükünü arttırmakta ve bu nedenle bu teknolojilerin bazı sektörlerde yavaş benimsenmesine yol açmaktadır.
- Enerji Tüketimi: Kurulacak sistemlerde uygulanacak teknolojinin çeşidine göre sensörler, aktüatörler ya da gömülü fiziksel cihazlar kullanılması gerekebilir. Bu sensörler, cihazlar veri alışverişi yapılmasını sağlar ve bunu gerçekleştirmek için güç ve enerji gerektirir. Bu nedenle bağlantılı bir sistem oluştururken bu cihaz ya da sensörlerin güç tüketimini azaltmak, enerji maliyetlerini kontrol altında tutmak oldukça önemlidir.
- Siber Güvenlik: Endüstri 4.0 ile birlikte gelen dijitalleşme kavramı yönetsel, sistemsel, üretim hattı vb. alandaki birçok verinin mümkün olan ölçüde dijital ortamlarda saklanmasına imkân sağlamıştır. Bu verilere yapılan siber saldırıların bir sonucu olarak siber güvenlik tehditlerinden koruma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacın önemi günden güne artmaktadır.

3.5 Endüstri 4.0 Teknolojileri

Günümüzde kullanımı sıkça artan endüstri 4.0 teknolojilerinin verimlilikten iş güvenliğine kadar birçok alanda faydası bulunmaktadır. Bu kısımda temel endüstri 4.0 teknolojilerinden bahsedilmektedir.

3.5.1 Akıllı Fabrikalar

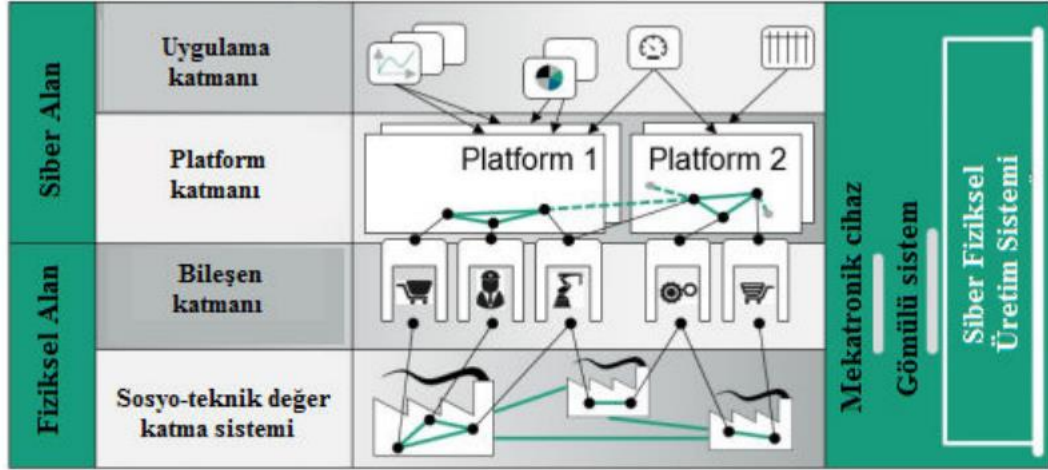
Endüstri 4.0; yapay zekâ, 3D (üç boyutlu) yazıcılar ve uzay teknolojisi gibi alanlarda meydana gelen ilerlemelerle birlikte bütün nesnelerin internet aracılığıyla birbirleriyle etkileşime geçebileceği akıllı üretim olarak adlandırılmaktadır. Endüstri 4.0'da nesnelerin birbirleriyle haberleştiği önemli yerlerden biri de akıllı teknolojilerle donatılmış ve hiçbir insanın çalışmaması nedeniyle karanlık fabrikalar olarak da adlandırılan akıllı fabrikalardır. Çin'de gerçekleştirilen ve cep telefonu modülü üreten ilk karanlık fabrikada robotların kullanılmasıyla işçi sayısı % 90 azalırken kusurlu ürünlerin oluşma oranı % 25'den % 5'e kadar düşmüştür (Aksoy, 2017).

Akıllı fabrikalar, karmaşık üretim süreçlerini insan faktörünü en aza indirerek sorunsuz ve daha hızlı yönetebilen fabrikalar olarak tanımlanır. Akıllı fabrikalarda sensörler, makineler, robotlar gibi kaynaklar birbiri ile iletişim halinde çalışmaktadır. Söz konusu sistem insana, sistemlerdeki otomatikleşme sayesinde sistemi uzaktan takip edebilme imkânı sağlar.

Akıllı fabrikalarda tüm nesnelere internet vasıtasıyla birbirleri ile iletişime geçebilmektedir. Yapılan üretim sonucunda elde edilen ürün daha sorunsuz ve uzun ömürlü olmaktadır. Akıllı fabrikalardaki otomasyon sayesinde insan üzerindeki iş yükünün kalkması ile ergonomik bir iyileştirme sağlanmaktadır. Hassasiyet gereken üretim sistemlerinde robotların kullanılması ile insan kaynaklı hatalar bertaraf edilerek kalitede iyileşme sağlanmaktadır.

3.5.2 Siber Fiziksel Sistemler

Sanayileşme ve bilişimin entegrasyonu ile ortaya çıkan fiziksel dünya ve sanal dünyanın bir araya gelmesi olarak tanımlanan siber fiziksel sistemler, internet aracılığıyla birbirleri ile iletişim halinde olan nesnelere ve fiziksel sistemdeki nesnelerin davranışlarının simüle edilmesinden oluşmaktadır. Siber fiziksel sistemler nesnelerin haberleşmesi ve akıllı üretimlerin gerçekleşmesini mümkün kılar. Siber fiziksel sistemlerin kapsamı günden güne üretim dışında ar&ge, pazarlama gibi alanlara da yayılarak genişlemektedir. Siber fiziksel üretim sistemi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Siber fiziksel sistemler (Yıldız, 2018)

3.5.3 Simülasyon

Günümüz teknolojileri ile gerçekleştirilecek yenilik, değişiklik hakkında önceden bilgi sahibi olmamız mümkündür. Simülasyon; fiziksel sistemdeki nesnelerin, sistemlerin sanal alanda modellenmesi ile verilerin izlenmesi ve tecrübe edilmesi imkânı sağlamaktadır. İşletmelerde simülasyon kullanımının genel amacı ürünlerin üretim aşamasından önce test edilmesi, oluşabilecek sorunlar ve buna bağlı çözümlerin elde edilmesi olduğu söylenebilir. Simülasyon kullanımı ile hataların önceden görülüp minimum seviyeye düşürülmesi sayesinde zaman, malzeme gibi kayıplar azaltılmaktadır.

3.5.4 Eklemeli Üretim/ Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar

Günümüzde alternatif bir teknik olarak 3D yazıcılar oldukça sık kullanılmaktadır. 3 boyutlu model üzerinden plastik ve sıvı malzemelerden ince katmanlar oluşturularak üretim yapılan teknik eklemeli üretim olarak da adlandırılmaktadır. Geleneksel yöntemlere göre kıyasla üretiminin hızlı ve düşük maliyetli olması tercih sebepleri olarak görülmektedir.

Üç boyutlu yazıcılar ile modelleme, 3D baskı, yüzey iyileştirme gibi işlerin yapılmasının yanı sıra genetikten bilişim teknolojilerine, tıptan sanayiye, şehir planlamadan gıdaya kadar tüm işlerde kullanılmaktadır. 3D yazıcılarla müzik aletleri, oyuncaklar, insan dokuları, biyo-organik dokular gibi ürünler üretilmektedir. Üretim maliyetlerini büyük oranda düşüren bu cihazlar, gelişmekte olan ülkeler için de üretim ve yenilik konusunda çığır açacaktır (Davutoğlu, Akgül ve Yıldız, 2017).

Eklemeli imalatta nesnenin modelini oluştururken bilgisayar destekli bir programdan yararlanılır. Nesne, katmanların üst üste eklenmesi ile oluşturulur. Son aşamada da ilk ürün son ürünü oluşturacak halde düzenlenmektedir.

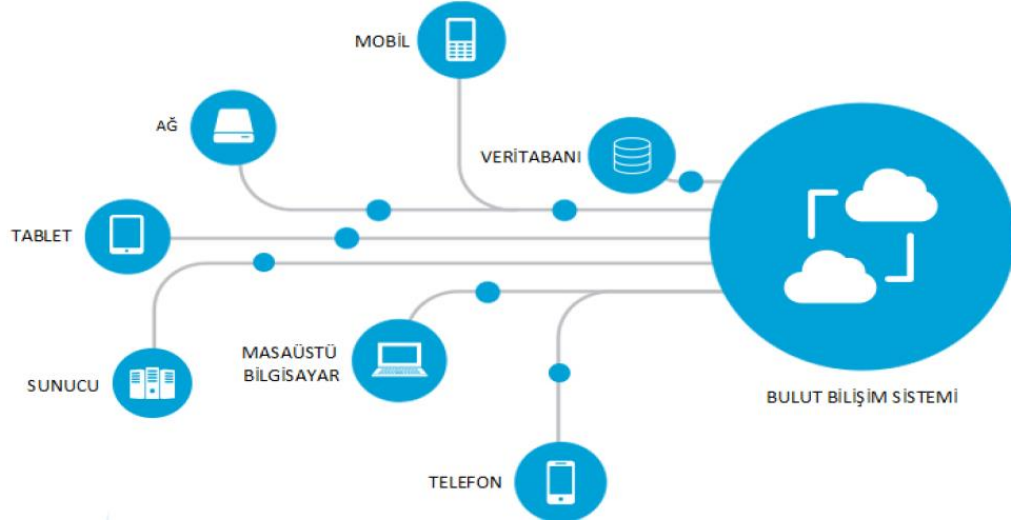
3.5.5 Akıllı Robotlar

Endüstri 4.0 sistemi içerisinde somut ve en işlevsel teknolojilerden biri akıllı robotlardır. Akıllı robotlar verileri doğrudan analiz edebilen ve buna yönelik hareket edebilen yapay zekâ ile donatılmış kullanım oranı gün geçtikçe artan robotlardır. Otomotiv sektöründe büyük bir kullanım sahası yakalayan akıllı robotlar, doğrudan bir operatörün kontrolünde çalışabildikleri gibi bilgisayar programı aracılığı ile de çalışabilmeleri mümkün olabilmektedir (Gabaçlı ve Uzunöz, 2017).

Akıllı robotlar, maksimum verimle çalışılması ve hataların çözümünde hızlı ve pratik olması bakımından tercih edilmektedir. Elde edilen verileri analiz edebilen insanlarla koordineli biçimde çalışabilen teknolojilerdir. Akıllı robot teknolojilerin kullanımı ile maliyetlerde azalış, üretim çeşitliliği ve kapasitesinde artış sağlanmaktadır.

3.5.6 Bulut Bilişim Sistemi

Kullanıcıların hesaplarının, uygulama ve verilerinin depolanması ve bu depo kullanılarak bilişim araçları arasında veri alışverişini sağlayan ortak ağdır. Veriler sanal bir sunucuda toplanarak internete bağlı her cihazdan bilişim hizmeti sağlanabilmektedir. Servis sağlayıcıları çoklu alanda veri depolama ve yedekleme işlemleri gerçekleştirebildiğinden olağan dışı bir durumda veri kaybı yaşanmamaktadır. İşletmelerin müşteri odaklı üretim yapmasını sağlamaktadır. Şekil 3.3'te bulut bilişim sistemi içerisindeki unsurlar görülebilmektedir.



Şekil 3.3. Bulut bilişim sistemi (Cloud computing, t.y.)

3.5.7 Yatay ve Dikey Entegrasyon

Dikey ve yatay entegrasyon, şirketin alt-üst düzlemleri ya da kendi düzlemi ile iletişim halinde olmasıdır.

Aynı sektörde fakat farklı alt sektörde müşterilere sahip olan işletmelerin etkileşim içerisinde olmaları dikey entegrasyon olarak adlandırılmaktadır. Geriye doğru dikey entegrasyon, ileriye doğru dikey entegrasyon ve dengeli dikey entegrasyon olmak üzere üç çeşidi vardır. Girdi kaynaklarına yönelik gerçekleşen geriye doğru dikey entegrasyon, ürün ya da hizmetin son kullanıcıya yaklaştırılması hedefine yönelik olan ileriye doğru dikey entegrasyon, hem girdi kaynaklarına yönelik hem de pazarlama kısmı ile birleşen entegrasyon şekli ise dengeli dikey entegrasyon olarak adlandırılmaktadır.

İşletmelerin aynı müşteri skalasına sahip işletmeler ile etkileşim içerisinde olmaları yatay entegrasyon olarak adlandırılmaktadır. Bu sayede işletmeler pazar paylarını daha yüksek seviyeye ulaştırmayı amaçlamaktadır.

Her iki entegrasyon çeşidinde de sistemin sürekli bir akış içerisinde olması esastır. Bu sistem sayesinde üretimin herhangi bir yerindeki değişiklik ile ilgili anlık cevap verebilme herhangi bir sorun ile ilgili çözüme hızlı ulaşabilmektedir.

3.5.8 Arttırılmış Gerçeklik

Gerçek dünyadaki çevrenin ve içindekilerin bilgisayar tarafından üretilen ses, görüntü, grafik verileriyle zenginleştirilerek meydana getirilen canlı, doğrudan veya dolaylı fiziksel görünümüdür. Arttırılmış gerçeklik, gerçekliğin bilgisayar tarafından değiştirilmesi ve artırılmasıdır. İşletmeler bu teknolojinin yardımıyla etrafındaki bilgi ile etkileşime girebilir, sayısal bilgi işleneği ile çevresiyle ilgili yapay bilgi ve öğelerin doğru kullanılması vasıtasıyla gerçek dünyayla ilgili verilere kolaylıkla ulaşabilir (Davutoğlu, Akgül ve Yıldız, 2017).

3.5.9 Yapay Zekâ

Endüstri 4.0 ile birlikte karmaşık durumlarda karar verme yetkisine sahip olan yapay zekâlar hayatımıza dahil olmuştur. Yapay zekânın robotlara entegre edilmesi ile akıllı robotlar oluşturulmaktadır. İnsanlara özgü olan düşünme, fikir üretme, karar verme gibi fonksiyonları barındıran bir sistemdir. Yapay zekâların kullanım amacı daha üretken ve verimli bir üretim sistemi elde etmektir. Ulaşım, bankacılık, sağlık, otomotiv gibi birçok sektörde yapay zekâ sistemlerinin örneklerini görmek mümkündür.

3.5.10 Nesnelerin İnterneti (IoT)

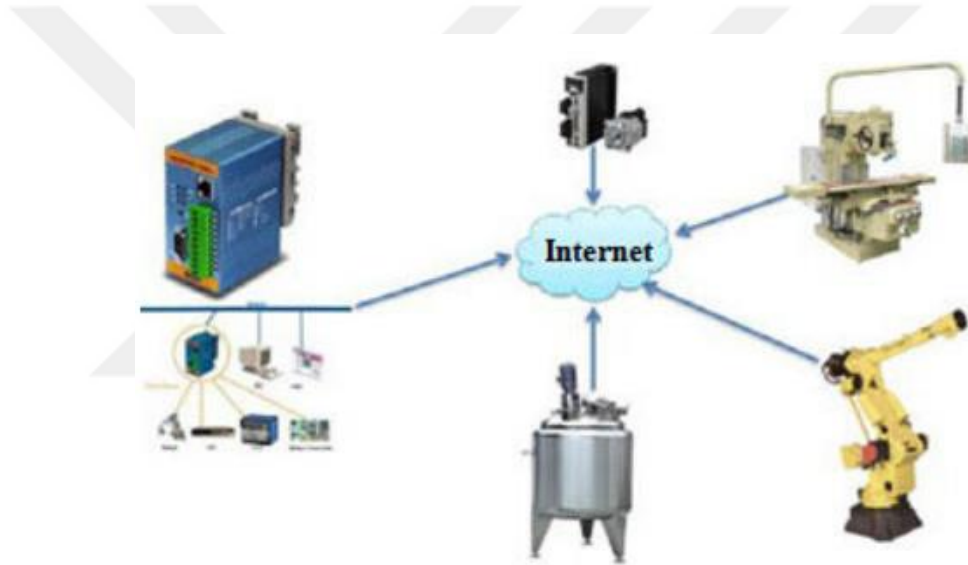
Endüstri 4.0 uygulamaları içerisinde en geniş kapsamlı olanlardan biri de nesnelerin internetidir. Nesnelerin interneti kavramı; araç, gereç, eşya gibi nesnelerin internet aracılığıyla dijital bir ağ oluşturarak birbirleri ile iletişim halinde olmaları şeklinde tanımlanabilir.

Nesnelerin interneti teknolojisi neredeyse tüm sektörlerde yer almaktadır. Ev otomasyonu, sağlık, çevre, su, tarım, hayvancılık, enerji, endüstriyel kontrol, güvenlik, lojistik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Nesnelerin interneti teknolojisi için günlük yaşantımızda akıllı evler, otomotiv sektöründe de internet bağlantılı araçlar örnek olarak verilebilir.

Nesnelerin interneti ağındaki verileri toplamak için sensörler kullanılmaktadır. Nesnelere ve sensörler arasında iletişim sağlanabilmesi için NFC, RFID, Bluetooth, WİFİ gibi ağ bağlantıları kullanılmaktadır. Veriler süzülerek daha işlevsel hale getirilir ve yapay zekânın kullanılması ile işlenen bu veriler sonucunda gerekli iyileştirmeler yapılabilmektedir.

Nesnelerin interneti kavramı sayesinde işletmelerdeki yönetim ve üretim akıllı robotlar tarafından gerçekleştirilebilecektir. Bir terslik söz konusu olduğunda süreçler, makineler akıllı robotlar tarafından otomatik olarak durdurulacak yani üretim ve üretim süreci yönetimi

pratikleşecek, ürünlerin üzerine yerleştirilen sensörler ve akıllı etiketler, tedarik zinciri boyunca ürünlerin kendini yönetmesini sağlayarak tedarik zinciri daha akıllı hale gelecek, makinelerin üzerinde yer alacak olan akıllı ölçüm cihazları ve sensörler, nerede ne kadar enerji kullanılması gerektiğini ölçerek optimum enerji düzeyini belirleyecek ve gereksiz enerji kullanımını engelleme sonucu enerji ve altyapı maliyetleri azalacak, akıllı fabrikalardaki akıllı robotlar üretimin her sürecini yönettiği için daha az insan kaynağına ihtiyaç duyulacak, üretim sürecinin daha verimli bir biçimde yönetilmesi, maliyetlerde ve giderlerde azalma sonucu gelir ve kar düzeyinde artış sağlanacaktır (Davutoğlu, Akgül ve Yıldız, 2017). Kısacası verimlilik ve üretkenliği artırmak, üretilen ürün/hizmetin daha kaliteli olmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Nesnelerin interneti teknolojisinin endüstriyel örnekleri Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Nesnelerin interneti (Yıldız, 2018)

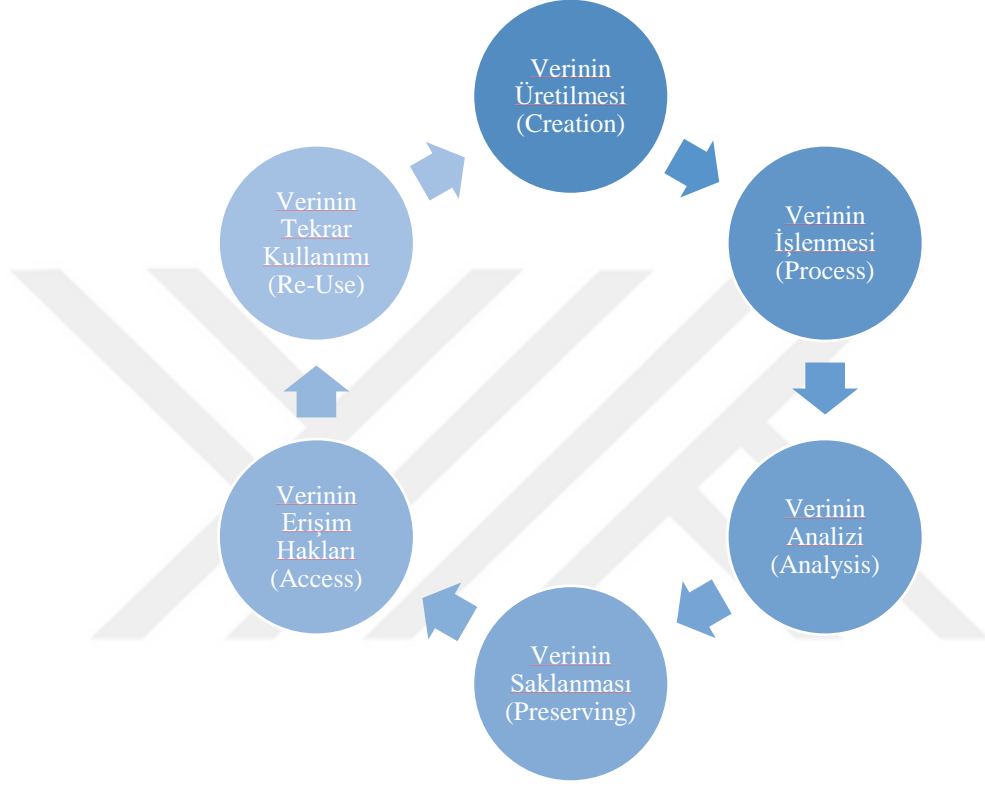
3.5.11 Büyük Veri

Büyük veri teknolojisi sayesinde toplanan tüm verilerin işlenebilir ve anlamlı hale dönüşümü sağlanabilir. Bu veriler; sosyal medya paylaşımları, blog, video, fotoğraf, log dosyaları, internet istatistikleri gibi kaynaklardan toplanmaktadır. Toplanan veriler analiz metotları ile yorumlanarak şirketler için stratejik kararlar almada, risk yönetmede, inovasyon çalışmalarında yol gösterici olarak kullanılmaktadır.

Veri deposu sistemi ile verilerin elde edilmesi, depolanması, analiz edilmesi için fazla çalışma gerekmekte ve bu da maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Büyük veri teknolojisi

kullanarak veri toplama, depolama, analiz etme süreçleri kolaylaşır ve maliyetleri düşürülmüş olur.

Şekil 3.5'te Essex Üniversitesi'nin literatüre kazandırdığı büyük veri yaşam döngüsü 6 aşamadan oluşmaktadır. Verinin üretilmesi ile başlayan bu döngü verinin tekrar kullanımı ile tamamlanmaktadır.



Şekil 3.5. Büyük veri yaşam döngüsü (Şeker, 2015)

4. OTOMOTİV SEKTÖRÜ

Otomotiv sektörü, motorlu taşıtları üreten sanayi olarak tanımlanmaktadır. Üretilen ürünlerin ulusal veya uluslararası bir alanda pazarlanması sağlayan işletmeler ve bu işletmeler ile hizmet vb. nedenlerle ilişkili olan işletmelerin içinde bulunduğu sektör otomotiv sektörü olarak adlandırılmaktadır. Otomotiv sanayisi demir-çelik, metal, petro-kimya, lastik, plastik gibi birçok sektör ile etkileşim halindedir. Otomotiv sanayisi; otomotiv ana sanayi ve otomotiv yan sanayi olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir.

Otomotiv ana sanayi; yolcu veya yük taşımak, trafikte karayollarında seyahat etmek amacıyla dört ya da daha fazla tekerlekli motorlu karayolu taşıtlarını üreten sanayi olarak tanımlanmaktadır. ISIC'a (Uluslararası Standart Sanayi Sınıflandırması) göre, otomotiv ana sanayisinin temel ürünleri; otomobil, otobüs, minibüs, kamyon, kamyonet, traktör gibi motorlu araçlardan oluşmaktadır.

Ana sanayi firmalarının teknoloji veya maliyet bakımından üretmeyi tercih etmedikleri parçaların, orijinale üreten ya da üretmeyen firmalar tarafından taşıtların yedek parça yenilenme ihtiyacı kapsamında üretimi olarak tanımlanmaktadır. Otomotiv yan sanayi kapsamında üretilen parçalar; motor parçaları, fren mekanizmaları, hidrolik aksamlar, emniyet aksamları, şasi parçaları, süspansiyon parçaları, koltuk ve camlar, aydınlatma mekanizmaları ve aküler olarak sayılabilir.

4.1 Otomotiv Sektörünün Dünyadaki Gelişimi

Otomotiv sanayisi ilk olarak 1900'lü yıllarda kurulmuştur. Ustaların yetenek ve el becerilerinden yararlanılarak siparişe dayalı olarak başlayan üretim, Henry Ford'un kitlesel üretim yaklaşımı ile büyük bir sanayi haline gelmiştir. Kitlesel üretiminin benimsendiği üretim sistemine geçilmesi ile maliyetler azalırken kalite ve verimlilik artmaya başlamıştır. İkinci Dünya Savaşı'nın başlaması ile 1940'lı yıllarda gelişmeler durmuştur. Savaş sonrasında ise İngiltere, Fransa ve İtalya gibi ülkeler kitlesel üretim yerine müşteri odaklı üretime geçiş çalışmalarına başlamıştır. 1960'lı yıllarda ABD'li firmaların kendi kurdukları ya da iş birliği yaptıkları firmalar ile Avrupa halkına hitap edecek üretime başlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Avrupa ekonomisi artmış ve aynı zamanda Batı Avrupa'nın otomotiv sanayisi büyüme göstermiştir (Barut, Ünver, Kayım, Toprak ve Uysal, 2020).

1970'li yıllarda Japonya'nın yalın üretime verdiği değer artmıştır. 1980 yılında Avrupa Ekonomi Topluluğu'nun gösterdiği hızlı gelişimler ile diğer üye ülkelerde de otomotiv sektörü yaygınlaşmaya başlamıştır. 1997'li yıllarda Güney Kore otomotiv sektöründe hızlıca büyümüş ve üretim adedi 2,4 milyona ulaşmıştır. 1970-1999 yılları arasında otomotiv sektöründe yaşanan hızlı gelişmeler sonucunda Japonya'nın dünya üretimindeki payı 15'den 21'e yükselmiş olup Batı Avrupa'nın dünya üretimindeki payı 48'den 38'e, ABD'nin ise 34'ten 21'e düşmüştür. 1999 yılının verilerine bakılarak Japonya ve Güney Kore'nin ithalata kapalı olduğu sonucuna varılmıştır. Japonya buna karşılık olarak dünyanın her yerine yayılmış, Güney Kore ise bu konular üstünde gelişmeler sağlamaya çalışmaktadır (Barut vd., 2020).

4.2 Türk Otomotiv Sektörünün Gelişimi

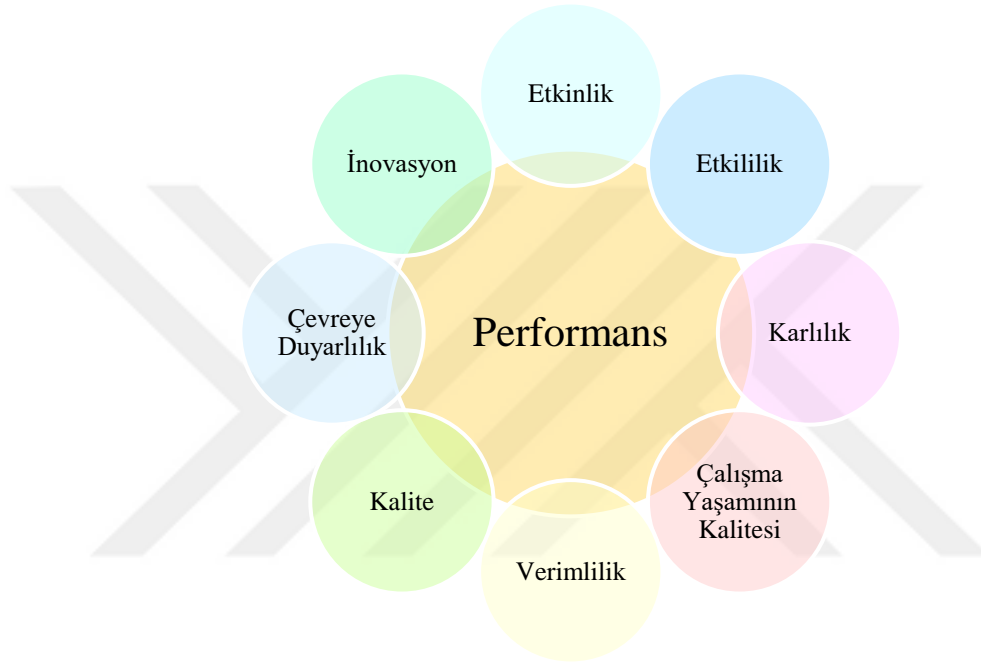
Türkiye'nin otomotiv sektöründeki ilk üretim denemesi otomobil, traktör ve kamyon üretmek amacıyla Ford Motor Company tarafından 1929 yılında kurulan montaj fabrikasıdır; ancak yaşanan 1929 ekonomik krizi nedeniyle bu deneme başarı ile sonuçlanmamıştır (Yılmaz, Taştan, Ecek ve Çınar, 2017).

1954 yılında Willys Overland Co.'ya verilen montaj izni, Türkiye'de otomotiv sektörünün de başlangıcı olmuştur ve BMC, Otosan gibi birçok büyük üretici de bu yolu tercih etmiştir. Böylece karayolu ulaşım yolları ve motorlu araç parkı genişlemiştir. 1990 yılına kadar Türkiye'de üretilen motorlu araçlar, Türkiye'deki otomotiv yan sanayi sektörünün gelişimine önemli katkı sağlamıştır. Türkiye'deki maksimum üretim kalitesi ve minimum maliyetler gibi avantajlar, dünya çapında otomotiv sektörü öncülerinin Türkiye'ye yatırım yapmasında önemli rol oynamıştır. Avrupa'ya yakın oluşu ve büyük potansiyele sahip pazarı ile Türkiye, 1990'lı yılların sonunda otomotiv üretiminde önemli bir konuma gelmiştir (Barut vd., 2020).

5. PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Bu kısımda performans kavramından, performans boyutlarından ve performans ölçüm yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Performans; en temel hali ile bir işi yapabilme ölçüsü, başarımlar olarak ifade edilebilir. Bir işletme kapsamında ise performans ölçümü farklı boyutlarda yapılabilmektedir. Şekil 5.1'de performans boyutları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Performans boyutları (Karaman, 2009)

Performans ölçümleri; uygulanacak yöntemin seçimi, parametreler, göstergeler, verilerin değişkenliği bakımından farklı boyutlarda yapılabilmektedir. Performans ölçümü için belirlenecek göstergeler verimlilik, etkinlik, karlılık gibi göstergeler olması ile birlikte müşteri memnuniyeti, rekabet avantajı, çevreye duyarlı üretim gibi göstergeler de olabilmektedir.

Etkinlik ölçüm yöntemleri; oran analizi, parametrelili yöntemler ve parametresiz yöntemler olmak üzere 3 grupta incelenebilir. Tek değişkenli analizleri içeren oran analizinin etkinlik ölçüm yöntemlerinden en çok kullanılan analiz yöntemi olduğu söylenebilir.

Oran analizinde her bir oran boyutlardan sadece birini ifade edebildiği için analiz sonucunda bazı oranlar işletmeyi etkin gösterirken bazı oranlar etkin olmadığını göstermektedir. Tek girdi ve tek çıktı baz alınarak hesaplanan oran analizi hesabının kolay

yapılabilirliği bakımından oldukça tercih edilmesine rağmen yorumlamanın sınırlı olması nedeniyle yöntemin yetersiz kaldığı görülmüştür (Barutçu, 2013).

Parametrelî yöntemlerde, etkinlik ölçümü yapılan işletme analitik bir yapıya sahip olduğu varsayılarak parametreler belirlenmektedir. Bu tür analizler genellikle birden çok girdi ve tek çıktı ile yapılmaktadır. Parametrelî yöntemler ile yapılan analizlerde çoğunlukla regresyon analizinden yararlanılmaktadır. Parametrelî yöntemler; Stokastik Sınır Yaklaşımı, Serbest Dağılımlı Yaklaşım ve Kalın Sınır Yaklaşımı olmak üzere üç temel yaklaşıma ayrılmaktadır (Baysal, 2010).

Parametresiz yöntemler ya da diğer bir ifade ile parametrik olmayan yöntemler, parametrelî yöntemlerin eksikliklerinin giderilmesi amacıyla literatüre kazandırılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerde parametrelî yöntemlerden farklı olarak etkinlik ölçümü yapılan işletmenin analitik yapıya sahip olduğu varsayımı düşünülmez. Parametresiz yöntemlerde birden çok girdi ve birden çok çıktı ile etkinlik ölçümü yapılabilmektedir. Birden çok girdi ve birden çok çıktı ile birçok veri setinin ölçümünü yapabilen bu yöntemde veri setlerindeki hatanın minimizasyonu ölçümün sonucunun doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yöntemlerin içerisinde en sık karşılaşılan Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemidir. Mevcut kaynakların etkin kullanımına ilişkin olan yöntemin temelinde doğrusal programlama yaklaşımı bulunmaktadır. Farklı birimlere ait olan girdi ve çıktıların etkinliğini, seçilen birimi baz alarak göreceli olarak belirtmektedir (Barutçu, 2013).

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde işletmenin mevcut durumdaki performansı ve IoT sisteminin entegrasyonu sonrasındaki performansı incelenmiştir. Performansların incelendiği ölçüm parametreleri ürün bazlı ve performans bazlı olarak toplamda 4 parametreden oluşmaktadır. Her iki durum da tüm parametreler ele alınarak incelenmiştir.

6.1 Mevcut Durum

Mevcut durum, ürün bazında ürün miktarı ve çevrim süresi; performans bazında ise tezgâh performansı ve hücre performansı parametreleri kapsamında detaylı olarak incelenmiştir. İnceleme, işletmenin üretim verilerinden yararlanılarak yapılmıştır.

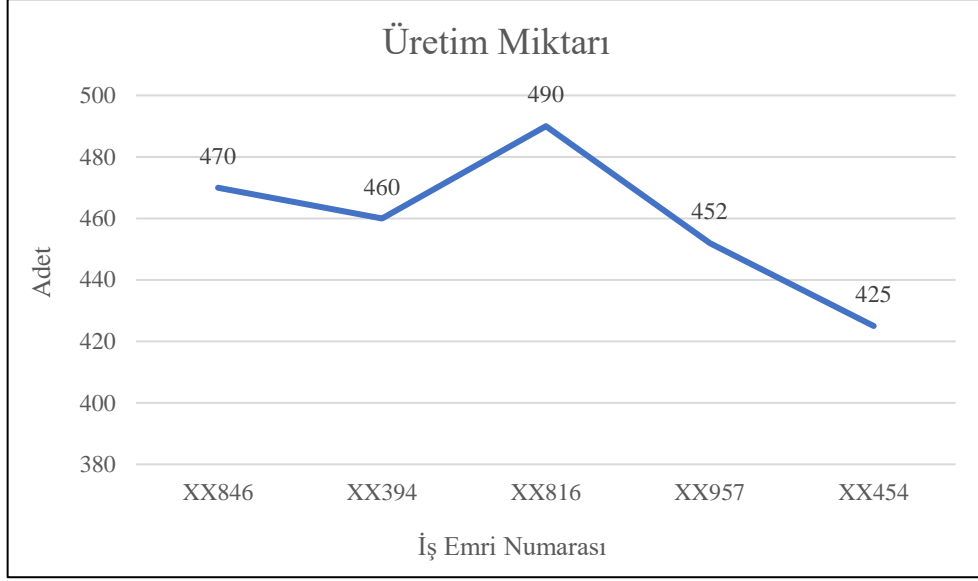
6.1.1 Mevcut Durumun Ürün Bazında İncelenmesi

Ürün bazlı parametrelerden ürün miktarı, 2021 yılı ocak ve nisan ayları arasında A733 ürününün işletmeden edinilen iş emri verileri ile incelenmiştir. A733 kodlu ürün, 2021 yılı ilk dört ayında beş kez üretilmiş olup üretim verileri Çizelge 6.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Mevcut durumda A733 ürünü 2021 yılı üretim verileri

İş Emri	Raporlanan Miktar ¹ (adet)	Vardiya Süresi ² (dk)	Raporlanan Vardiya Süresi ³ (dk)	Zaman Kaybı ⁴ (dk)	Standart İş Süresi ⁵ (dk)	Çalışılan Süre ⁶ (dk)	Toplam Duruş Süresi ⁷ (dk)
XX846	470	480	476	4	376	422	25
XX394	460	480	478	2	368	398	48
XX146	490	480	478	2	392	413	36
XX957	452	480	478	2	362	384	63
XX454	425	480	476	4	340	395	51

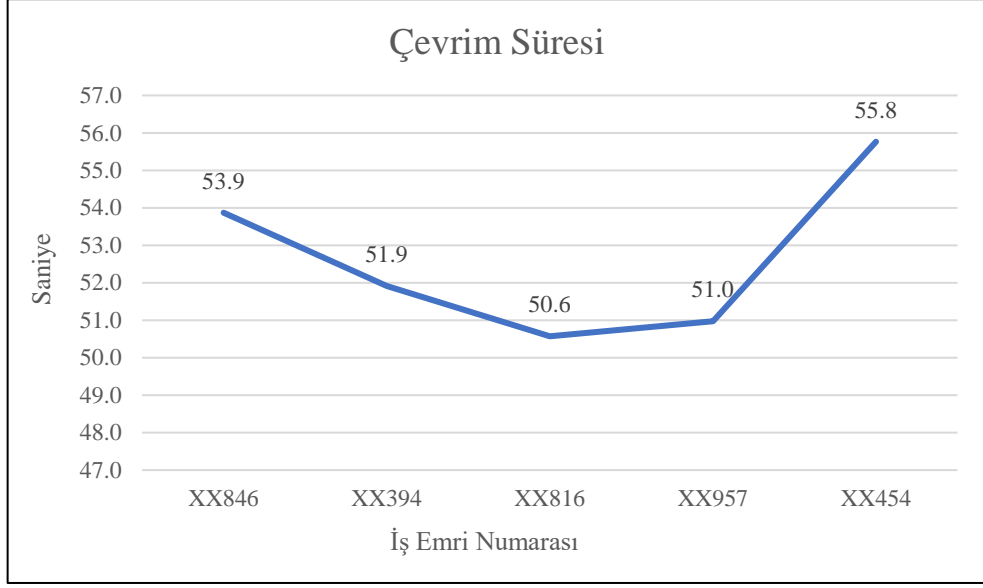
¹İlgili vardiyada üretilen miktar, ²Yemek molası ve periyodik bakım da dahil olmak üzere bir vardiya süresi, ³Operatörün üretimi başlatması ile üretimi sonlandırması arasındaki geçen süre, ⁴Vardiya dakikası ile raporlanan vardiya dakikası arasındaki süre farkı, ⁵Bir ürünün standart iş dakikası ile ilgili iş emrindeki ürün sayısının çarpımı ile elde edilen öngörülen çalışma süresi, ⁶Yemek molası, periyodik bakım ve diğer tüm duruşlar hariç fiili çalışma süresi, ⁷Yemek molası hariç toplam duruş süresi



Şekil 6.1. A733 ürünü 2021 ilk dört ay için üretim miktarları

A733 kodlu ürünün 2021 yılı ilk dört ayında gerçekleştirilen üretimlerindeki üretim miktarları Şekil 6.1’de verilmiştir. Üretim miktarlarının ortalaması 459 adettir. XX816 numaralı iş emri, 490 adet üretim ile en fazla üretim yapılan iş emridir. XX454 numaralı iş emri ise 425 adet üretim ile en az sayıda ürün üretilen iş emri olmuştur. Aynı ürünün farklı zamanlardaki üretimlerini ifade eden iş emirlerinde üretilen ürün miktarlarının birbirleri arasındaki standart sapması 21,4’tür. Üretim miktarlarının iş emirleri arasındaki bu değişkenliğinin sebebi; her operatörün sisteme birbirlerinden çok farklı duruş süreleri girmesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Ürün bazlı incelenen diğer parametre ise çevrim süresidir. Ürünlerin çevrim süreleri, işletmede her yeni ürünün fizibilite çalışması yapılırken belirlenmektedir. Üretim planlama da yeni ürün çalışması sırasında belirlenen çevrim süreleri baz alınarak yapılmaktadır. A733 kodlu ürünün yeni ürün çalışması yapılırken işletme tarafından belirlenen çevrim süresi 48 saniyedir. 2021 yılının ilk dört ayındaki üretim verileri baz alınarak hesaplanan fiili çevrim süreleri Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. A733 ürünü 2021 ilk dört ay üretimleri için çevrim süresi

Operatörün çalışmasına bakılarak her bir ürün için yaklaşık olarak ortalama 53 saniye süre harcadığı görülmüştür. Çevrim süresinin XX454 nolu iş emrinde 55,8 saniye olduğu görülürken XX816 nolu iş emrinde 50,6 olduğu görülmektedir. Üretim verilerine göre çevrim süresinde iş emri bazında 1,9 değerinde standart sapma mevcuttur. Bu değişkenlik; mevcut durumda çevrim süresinin doğru belirlendiğini kontrol etmek için sistematik bir süreç bulunmamasından ve çevrim süresinin sürdürülebilir bir sistem ile izlenememesinden kaynaklanmaktadır. Çevrim sürelerinin takip edilerek gerekli görülen durumlarda güncellenmesi operatörlerin performanslarının düzene girmesine ve iyileşme sağlanmasına yardımcı olacaktır.

Raporlanan vardiya süresinin bir vardiya süresi (480 dakika) ile eşit olmadığı Çizelge 6.1’de görülmektedir. Raporlanan vardiya süresinin vardiya süresinden (480 dakika) farkının olması, 10 adet CNC tezgâhının bulunduğu RR hücrelerinde operatörlerin vardiya raporlamalarını yapabileceği tek istasyon olması sebebi ile istasyon başında bekleme yapmak istememesinden dolayı olduğu tespit edilmiştir.

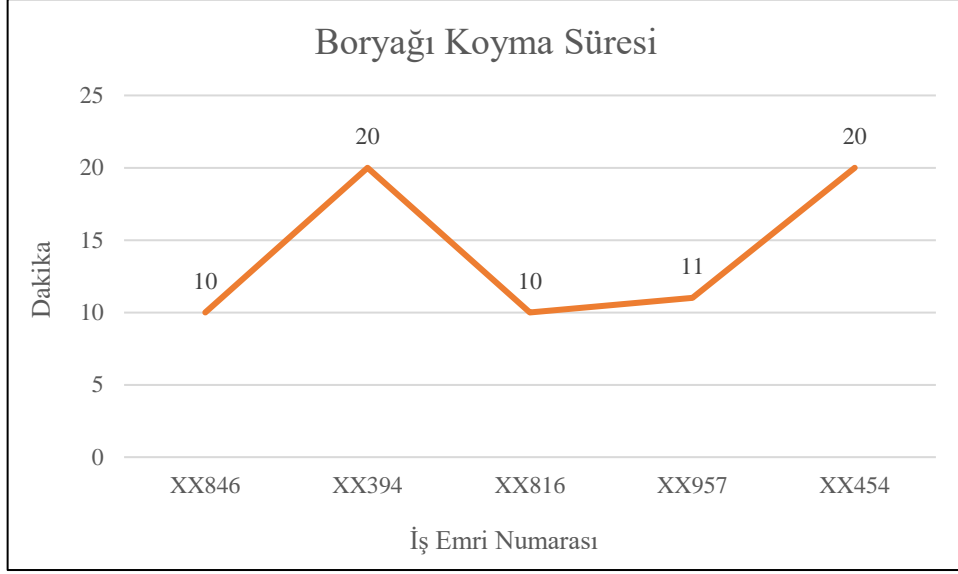
Elde edilen veriler ekseninde; duruş süreleri incelendiğinde her vardiyada farklılık gösterdiği görülmüştür. Duruş sürelerinin günlük raporlamaların yapıldığı tek istasyonda yoğunluk yaşanması, duruşların anında girilmemesi vb. gibi nedenlerden dolayı farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Mevcut durumda, 2021 yılının ilk dört ayında üretilen beş adet iş emrine ait duruş nedenleri ve süreleri Çizelge 6.2’de gösterilmiştir. Bu veriler operatör inisiyatifinden çıkarılacak olan duruş sürelerinin doğruluğunun kontrol edilmesi amacıyla

verilmiştir. Duruş sürelerinin doğruluğunun kontrolü, çalışmanın ilerleyen kısımlarında IoT sisteminin entegrasyonu sonrası elde edilen veriler ile mevcut durumda elde edilen veriler karşılaştırılarak yapılmıştır.

Çizelge 6.2. Mevcut durumda A733 ürünü 2021 yılı üretim duruşları

İş Emri	Duruş Nedeni	Duruş Süresi (dk)
XX846	Kalite onayı bekleme	9
	Boryağı koyma	10
	Periyodik bakım	6
XX394	Uç yenileme	15
	Boryağı koyma	20
	Periyodik bakım	13
XX146	Setup	8
	Uç yenileme	10
	Boryağı koyma	10
	Periyodik bakım	8
XX957	Setup	28
	Uç yenileme	10
	Kalite onayı bekleme	5
	Boryağı koyma	11
XX454	Periyodik bakım	9
	Periyodik bakım	10
	Kalite onayı bekleme	8
	Uç yenileme	13
	Boryağı koyma	20

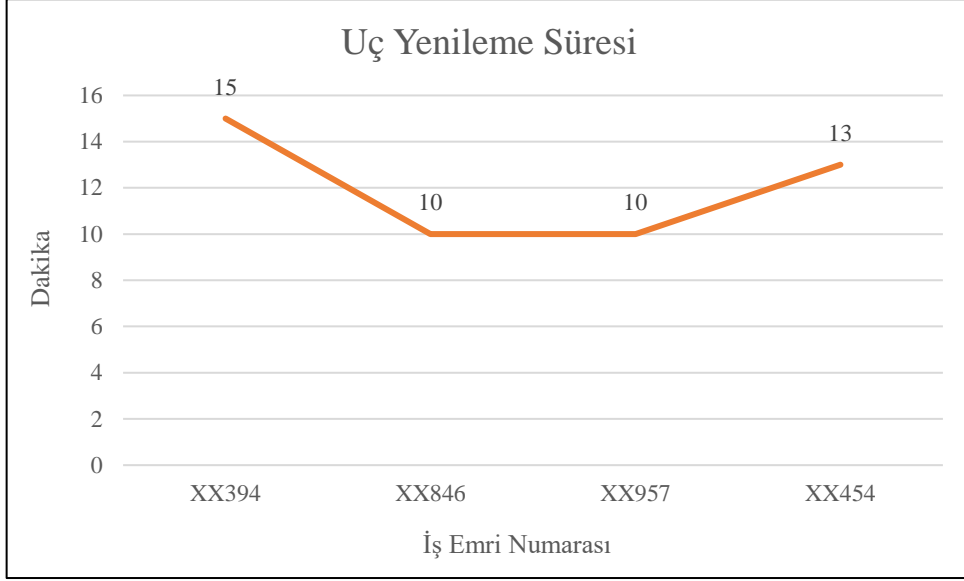
Çizelge 6.2 incelendiğinde aynı duruş nedenlerinin farklı sürelerle sahip olduğu görülmektedir. Bu farkın, operatörlerin duruş başlatmak için çeşitli nedenlerden dolayı istasyona gitmemesi ve duruş da dahil olmak üzere tüm raporlamaların üretim sonunda yapılması nedeniyle olduğu tespit edilmiştir. Farkın diğer bir sebebi ise operatörlerin verdiği molaları da duruşlara ekleyerek göstermesi olarak belirlenmiştir. İş emirlerinde tekrarlanan duruş nedenlerinin sürelerindeki değişkenlik detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 6.3'te boryağı koyma duruş sürelerinin değişkenliği ve Şekil 6.4'te uç yenileme duruş sürelerinin değişkenliği görülmektedir.



Şekil 6.3. Mevcut durum boryağı koyma duruş süreleri

Mevcut durumda incelenen üretim verilerinden elde edilen boryağı koyma duruş süreleri Şekil 6.3'te gösterilmiştir. İş emirlerine göre değişkenlik gösteren boryağı koyma duruş süresi XX394 ve XX454 nolu iş emirlerinde 20 dakika olarak raporlanmış iken XX846 ve XX816 nolu iş emirlerinde 10 dakika olarak raporlanmıştır. Duruşun operatörler tarafından sistemde ortalama 14 dakika olarak raporlandığı tespit edilmiştir. Boryağı koyma duruş sürelerinin iş emirlerine göre değişkenliği 4,75 olarak hesaplanmıştır.

Boryağı koyma duruşuna ait duruş süresi bir iş emrinde 10 dakika iken bir diğer iş emrinde 20 dakika raporlanmıştır. Duruş süresindeki değişkenliğin bu denli fazla olmasındaki sebeplerden biri, operatörlerin yaptıkları harici molalarını da duruş sürelerine ekleyerek performanslarının sistemde yüksek gözükmesini sağlamak istemeleridir. Duruş sürelerinin değişkenliğine sebep olan bu durum, duruş süreleri verilerinin sisteme girişlerini operatör inisiyatifinden kaldırılması ile elimine edilebilir. Operatörlerden edinilen bilgilere göre duruş süresinin değişkenliğinin bir diğer sebebi ise boryağ depolanan alana gittiklerinde alanda diğer operatörlerin de bulunması sebebi ile sıra beklemeleridir. Boryağ depolama alanının tek yerde konumlanması yerine bu alanın birden çok olacak şekilde artırılması durumunda boryağ koyma duruş süresi azaltılmış olacaktır.



Şekil 6.4. Mevcut durum uç yenileme duruş süreleri

Mevcut durumdaki verilerden uç yenileme duruş süresi operatörler tarafından sistemde ortalama 12 dakika olarak raporlandığı tespit edilmiştir. XX394 nolu iş emrinde uç yenileme duruşuna ait süre 15 dakika iken XX846 ve XX957 nolu iş emirlerinde 10 dakika olarak raporlanmıştır. İş emirlerindeki uç yenileme duruş sürelerinin kendi arasındaki değişkenliği 2,12 olarak hesaplanmıştır. Uç yenileme süresinin iş emirleri arasındaki değişkenliğinin sebebi; operatörlerin tümünün aynı hızda uç değiştirememesinden kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Operatörlere uç değiştirme kapsamında bir eğitim düzenlenmesi durumunda tüm operatörlerin eşit kalifikasyon düzeyine sahip olması sağlanabilir. Bu eğitimin verilmesi durumunda hem uç yenileme süreleri arasındaki değişkenlik azaltılabilir hem de uç yenileme sürelerinde azalış sağlanabilir.

6.1.2 Mevcut Durumun Performans Bazında İncelenmesi

IoT sisteminin işletmeye faydasını performans olarak ifade etmek amacıyla incelenen performans bazlı parametrelerden ilki tezgâh performansıdır. Pilot bölge olan RR hücresindeki 10 tezgâh için 2021 yılı aylık OEE değerleri ve yıl bazında OEE değerleri Çizelge 6.3'te görülmektedir.

Çizelge 6.3. Tezgâhların 2021 yılı OEE değerleri

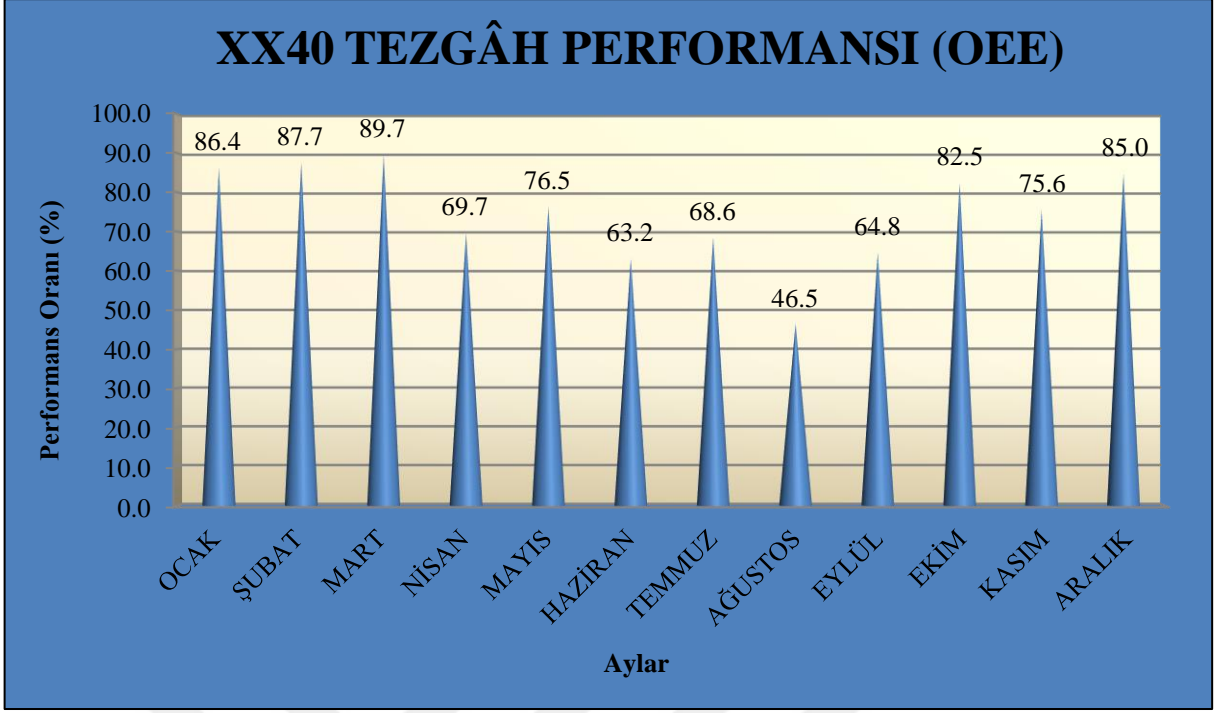
Tezgâhlar	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	2021 Yıllık OEE
XX20	90,9	89,8	95,2	81,6	89,2	91,0	90,3	79,3	82,7	89,6	89,6	87,6	88,1
XX22	91,6	92,1	86,5	78,6	87,4	85,3	83,6	70,6	89,4	84,4	89,3	90,0	85,7
XX24	90,2	81,4	86,8	75,0	86,0	86,8	81,2	70,4	80,7	87,2	86,2	88,3	83,4
XX26	89,3	86,9	85,5	87,5	87,6	89,8	89,2	82,1	88,8	89,6	86,3	86,0	87,4
XX28	91,0	95,4	91,0	92,7	87,2	90,9	90,0	83,6	90,1	91,1	93,8	88,5	90,4
XX30	91,0	89,8	89,4	84,2	84,6	90,7	85,3	91,1	66,8	88,3	86,3	85,9	86,1
XX32	89,2	85,3	45,4	56,2	78,1	85,2	98,0	91,4	78,7	89,3	94,2	92,2	81,9
XX38	72,6	78,1	79,5	82,1	29,8	82,4	84,8	86,7	75,4	89,0	91,0	87,1	78,2
XX40	86,4	87,7	89,7	69,7	76,5	63,2	68,6	46,5	64,8	82,5	75,6	85,0	74,7
XX42	80,7	79,0	80,4	75,1	85,0	78,8	62,4	59,4	84,2	85,3	83,5	89,1	78,6

Pilot bölge olarak seçilen RR hücresinde konumlanmış olan 10 adet tezgâha ait 2021 yılı OEE değerleri genel anlamda incelendiğinde; XX28 tezgâhının %90,4 değeri ile 10 tezgâh arasından en yüksek OEE değerine sahip olduğu ve XX40 tezgâhının da %74,7 değeri ile en düşük OEE değerine sahip olduğu görülmektedir. Tezgâh OEE değerleri ay bazında daha detaylı olarak incelendiğinde ise; 10 tezgâhtan 7'sinin ağustos ayında en düşük OEE değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum için işletmenin 2021 yılı temmuz ayında gerçekleştirdiği planlı duruş sonrası adaptasyon probleminden kaynaklanmış olabileceği yorumu yapılmaktadır. Ağustos ayında tüm tezgâhların OEE değerleri düşük olmasına rağmen en düşük OEE değerinin XX40 tezgâhına ait olduğu görülmektedir. Bu sebeple 10 adet tezgâh içerisinde XX40 tezgâhının yıl bazında en düşük OEE değerine sahip olmasının, tezgâhın ağustos ayındaki OEE değerinden kaynaklanma ihtimali incelenmiştir. Tüm tezgâhların yıl bazlı OEE değeri, ağustos ayı verisi baz alınmadan tekrar hesaplandığı durum Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Ağustos ayı verisi baz alınmadan tezgâhların 2021 yılı OEE değerleri

Tezgâhlar	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	2021 Yıllık OEE
XX20	90,9	89,8	95,2	81,6	89,2	91,0	90,3	82,7	89,6	89,6	87,6	88,9
XX22	91,6	92,1	86,5	78,6	87,4	85,3	83,6	89,4	84,4	89,3	90,0	87,1
XX24	90,2	81,4	86,8	75,0	86,0	86,8	81,2	80,7	87,2	86,2	88,3	84,5
XX26	89,3	86,9	85,5	87,5	87,6	89,8	89,2	88,8	89,6	86,3	86,0	87,9
XX28	91,0	95,4	91,0	92,7	87,2	90,9	90,0	90,1	91,1	93,8	88,5	91,0
XX30	91,0	89,8	89,4	84,2	84,6	90,7	85,3	66,8	88,3	86,3	85,9	85,7
XX32	89,2	85,3	45,4	56,2	78,1	85,2	98,0	78,7	89,3	94,2	92,2	81,1
XX38	72,6	78,1	79,5	82,1	29,8	82,4	84,8	75,4	89,0	91,0	87,1	77,4
XX40	86,4	87,7	89,7	69,7	76,5	63,2	68,6	64,8	82,5	75,6	85,0	77,2
XX42	80,7	79,0	80,4	75,1	85,0	78,8	62,4	84,2	85,3	83,5	89,1	80,3

2021 yılı OEE değerleri, ağustos ayı verisi baz alınmadan hesaplandığında XX40 tezgâhının %77,2 değeri ile en düşük OEE değerine sahip olduğu görülmektedir. Tüm veriler incelendiğinde; IoT entegrasyonu sonrası tezgâh performansı bazında sağlanacak katma değeri daha çok görünür kılmak amacıyla tüm tezgâhlar arasında en düşük performans değerine sahip olan XX40 tezgâhı, tezgâh performansı parametresinde değerlendirilmesi amacıyla seçilmiştir. XX40 nolu tezgâhın aylık OEE performansları Şekil 6.5’te verilmiştir.



Şekil 6.5. Mevcut durumda XX40 tezgâhı 2021 yılı aylık OEE değerleri

XX40 nolu tezgâhın 2021 yılı aylık OEE değerleri incelendiğinde en yüksek değer %89,7 ile mart ayında ve en düşük değer %46,5 ile ağustos ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük performansın ağustos ayında gerçekleşmiş olmasının sebebi; işletme temmuz ayında planlı duruş gerçekleştirmiş ve uzun süreli duruş sonrası adaptasyon problemi yaşanmıştır.

XX40 nolu tezgâhın 2021 yılı OEE değeri %74,7'dir. XX40 tezgâhının OEE değerleri aylık bazda incelendiği zaman dalgalanmalar yaşandığı görülmektedir. İşletmede 3000 çeşitten fazla ürün üretilmektedir. Her ay birbirinden farklı ürünlerin üretilmesi olasıdır ve bir tezgâhta birden fazla ürün çeşidi üretilebilmektedir. Ürünlerin üretim zorluğu birbirinden farklı olduğu için bu tip dalgalanmalar yaşanmaktadır. Dalgalanmaların bir diğer sebebi ise yeni ürün çalışmalarındaki artıştır. Her yeni ürün üretimi yapılırken üretim ve operatörün ürüne adaptasyonu sürecinde bu tip OEE azalışlarına sebep olabileceği yorumu yapılmaktadır.

Yapılan çalışmada IoT sistemi sonrası durum için 2022 yılının ilk dört ayının incelenmesi sebebiyle karşılaştırmalar 2021 ve 2022 yıllarının ilk dört ayı bazında yapılmıştır. 2021 yılı ilk dört aylık ortalama OEE değeri %83,4 olarak gerçekleşmiştir.

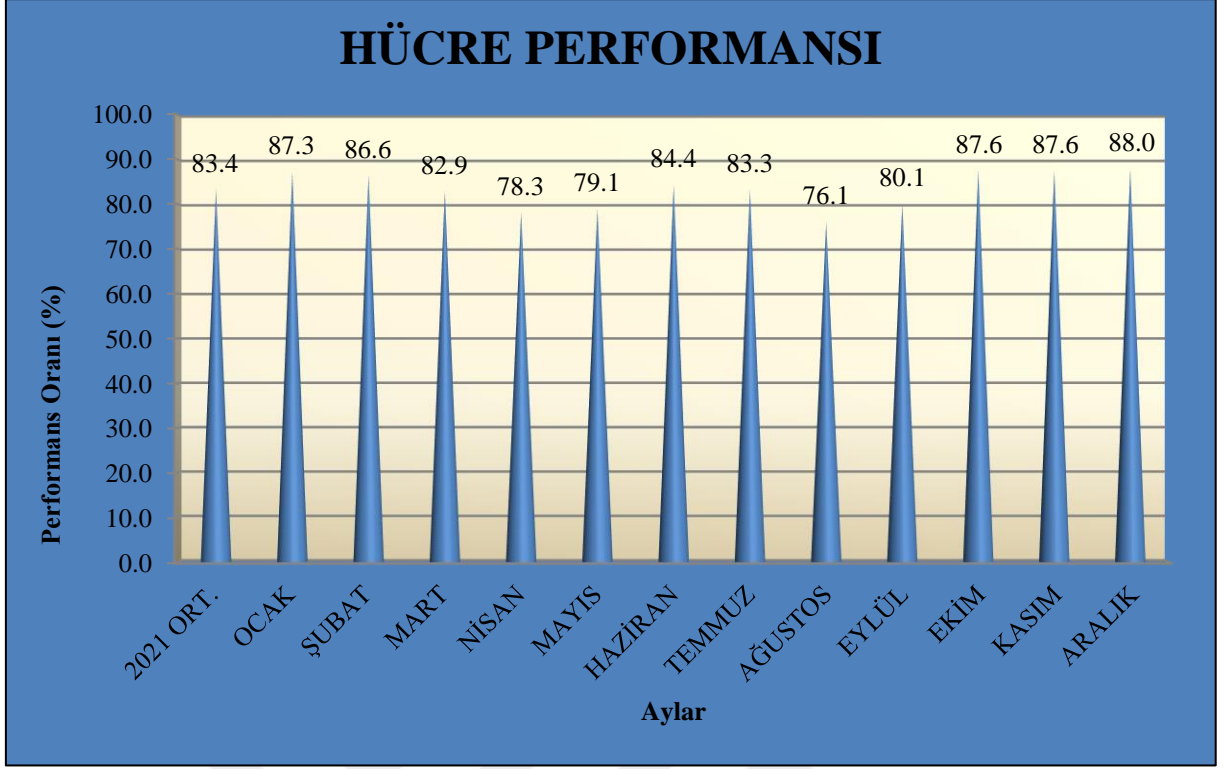
İşletmede OEE değeri, her iş emri sonucunda operatörün inisiyatifi kaynaklı kaydedilen ve vardiya bazlı oluşturulan verilerden elde edilmiştir. İş emri bazlı OEE değerlerinin ay sonu ortalaması da tezgâhın ilgili aydaki OEE değerini oluşturmaktadır. OEE değeri hesabına örnek olması amacı ile Çizelge 6.4'te XX40 tezgâhında 2021 yılı ocak ayında tamamlanan iş emirlerinin vardiya raporları ve buna bağlı OEE değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.5. Mevcut durumda XX40 tezgâhı 2021 yılı ocak ayı üretim verileri

Tarih	Raporlanan Miktar (adet)	Raporlanan Vardiya Süresi (dk)	Std İş Süresi (dk)	Planlanmış Üretim Miktarı (adet)	Hazır Bulunma Süresi (dk)	Kusursuz Üretilen Miktar (adet)	Hurda Miktarı (adet)	Hazır Bulunma Oranı (%)	Performans Oranı (%)	Kalite Oranı (%)	OEE (%)
5.01.2021	420	479	371	440	426	420	0	96,8	87	100	84,2
6.01.2021	455	475	401	440	420	455	0	95,5	95,6	100	91,2
7.01.2021	450	477	397	440	420	450	0	95,5	94,5	100	90,2
8.01.2021	457	479	403	440	420	457	0	95,5	96	100	91,6
9.01.2021	427	478	377	440	409	427	0	93	92,1	100	85,6
11.01.2021	370	479	326	440	393	370	0	89,3	83,1	100	74,2
12.01.2021	457	476	419	440	427	457	0	97	98	100	95,1
13.01.2021	425	479	375	440	420	425	0	95,5	89,3	100	85,2
14.01.2021	425	478	375	440	419	425	0	95,2	89,5	100	85,2
14.01.2021	466	477	410	440	423	465	1	96,1	97	99,8	93
15.01.2021	373	478	329	440	414	373	0	94,1	79,5	100	74,8

Çizelge 6.5'te XX40 tezgâhının 2021 yılı ocak ayı içerisinde 11 farklı iş emri ile yapmış olduğu üretimlerin vardiya raporları ve buna bağlı OEE değerleri görülmektedir. Bu üretimlerin OEE değerlerinin ortalaması %86,4 olup XX40 tezgâhının ocak ayı OEE değerini oluşturmaktadır.

IoT sisteminin kurulacağı pilot bölgedeki 10 adet CNC tezgâhının bulunduğu hücre olan RR hücresinin 2021 yılı bazında aylık OEE değerleri ve yıllık OEE değerleri incelenmiştir. Hücre performansı Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6. Mevcut durumda RR hücresi 2021 yılı aylık OEE değerleri

Hücrenin 2021 yılı OEE değeri %83,4 ve 2021 yılı ilk dört aylık ortalama OEE değeri %83,8 olarak gerçekleşmiştir. Hücrenin performansı ay bazında incelendiğinde en yüksek OEE değerine sahip ay %88 ile aralık ayı iken en düşük OEE değerine sahip ay %76,1 oranı ile ağustos ayıdır. Tezgâhların aylık performansları incelenirken de fark edildiği üzere ağustos ayında çoğu tezgâh en düşük OEE değeri ile üretim yapmıştır. Bunun sebebi önceki kısımda da belirtildiği gibi uzun süreli duruş sonrası adaptasyon sürecidir. Ağustos ayını seyreden eylül ve ekim aylarında tekrar yükseliş olduğu görülmektedir. Uzun süreli duruşlar sonrası için üretimi planlanan ürünlerin sıklıkla üretilen ve daha az karmaşık ürünler arasından seçilmesi ile adaptasyon problemi minimize edilebilir.

6.2 Önerilen Sistem Tasarımı (IoT Sistemi)

Çalışmanın bu kısmında, IoT sisteminin kurulması sonrası bu sistemin işletme performansına etkileri incelenmiştir. IoT sisteminin işletmede seçilen pilot bölgeye entegrasyonu 2021 yılı aralık ayı sonunda tamamlanmıştır. IoT sisteminin entegre edilmesi sonrası işletmenin performansına etkisi 2022 yılı ocak ve nisan ayları arasında incelenmiştir. Mevcut durum kısmında olduğu gibi işletmeye olan etki; ürün bazında ve performans bazında olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

6.2.1 Önerilen Sistemin Ürün Bazında İncelenmesi

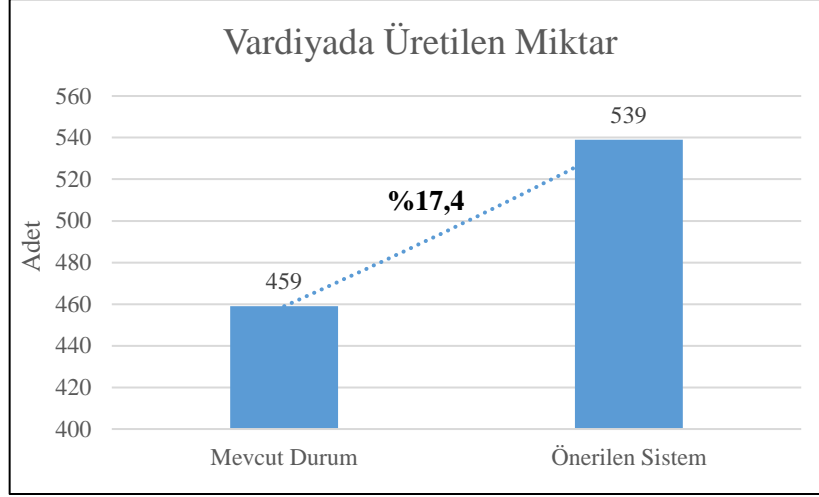
IoT sisteminin entegre edilmesi sonrasında A733 ürünü ocak ve nisan ayları arasında farklı iş emirleri ile 6 kez üretilmiştir. Üretimlerin tüm verileri sistemde kayıtlı ve saklanmaktadır. A733 ürünün 2022 yılının ilk 4 ayındaki 6 farklı üretiminde yeni sistem ile elde edilen üretim verileri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Önerilen sistemde A733 ürünü 2022 yılı üretim verileri

İş Emri	Raporlanan Miktar ¹ (adet)	Vardiya Süresi ² (dk)	Raporlanan Vardiya Süresi ³ (dk)	Zaman Kaybı ⁴ (dk)	Standart İş Süresi ⁵ (dk)	Çalışılan Süre ⁶ (dk)	Toplam Duruş Süresi ⁷ (dk)
XX635	542	480	480	0	396	396	54
XX630	533	480	480	0	389	389	60
XX604	531	480	480	0	388	388	62
XX036	540	480	480	0	394	394	55
XX198	546	480	480	0	399	399	51
XX920	541	480	480	0	395	395	54

¹İlgili vardiyada üretilen miktar, ²Yemek molası ve periyodik bakım da dahil olmak üzere bir vardiya süresi, ³Operatörün üretimi başlatması ile üretimi sonlandırması arasındaki geçen süre, ⁴Vardiya dakikası ile raporlanan vardiya dakikası arasındaki süre farkı, ⁵Bir ürünün standart iş dakikası ile ilgili iş emrindeki ürün sayısının çarpımı ile elde edilen öngörülen çalışma süresi, ⁶Yemek molası, periyodik bakım ve diğer tüm duruşlar hariç fiili çalışma süresi, ⁷Yemek molası hariç toplam duruş süresi

Kurulan IoT sistemi ile eğer operatör 3 dakika boyunca tezgâhta hiçbir işlem yapmıyor ise sistem, duruş sebebi istemekte ve duruş girmeden tezgâhın çalışmasına izin vermemektedir. Sistem bu özelliği sayesinde operatörlerin sebepsiz duruş yapmasını engellemektedir. Operatörlerin vardiyada ürettikleri ürün adetlerinin bu yenilik ile birlikte arttığı görülmüştür. Çizelge 6.5'te görüldüğü üzere ilgili ürünün bir vardiyadaki üretim miktarı yaklaşık 539 adettir. IoT sistemi kurulmadan önceki durumda 459 adet olan ortalama üretim miktarı, önerilen durumda 539 adete yükselerek ilgili üründen bir vardiyada 80 adet daha fazla üretim yapılabildiği görülmüştür. Şekil 6.7'den de görüleceği üzere IoT sisteminin kurulması ile sistemin sebepsiz duruşlara izin vermemesinin üretim adetlerini yaklaşık olarak %17,4 arttırdığı tespit edilmiştir. Mevcut sistemde iş emirlerindeki üretim miktarlarının birbiri arasındaki değişkenlik değeri 21,4 iken yeni sistemdeki değişkenlik değeri 5,2 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.7. Mevcut durum ve önerilen sistemin üretim miktarı karşılaştırması

Raporlamalar için istasyon başında yaşanan yığılmalar ve beklemler, yeni sistemde her tezgâhın kendi raporlama ekranı olması ile yeni sistemde yaşanmamaktadır. Bu nedenle raporlanan vardiya dakikalarının 8 saatlik vardiya süresi ile eşit olduğu ve aralarında fark olmadığı Çizelge 6.5'te görülmektedir.

IoT sisteminin kurulması ile üretilen ürünlerin çevrim süreleri de kayıt altına alınmaya başlanmıştır. IoT sistemi sonrasında gerçekleşen A733 kodlu ürünün üretimlerinde ürünün çevrim süreleri ile ilgili sistemden edinilen veriler Şekil 6.8'de gösterilmiştir.

START_DATE	FINISH_DATE	PROCESS_SEC	OP_CYCLE_TIME	FACTOR
07.01.2022 08:00:02	07.01.2022 16:00:45	32	13,9	1
21.02.2022 08:00:11	21.02.2022 16:00:03	31,7	13,2	1
08.03.2022 16:00:02	08.03.2022 23:59:58	32	11,6	1
29.03.2022 08:00:09	29.03.2022 16:00:03	31,7	13,4	1
08.04.2022 16:00:04	08.04.2022 23:59:44	31,7	10,8	1
26.04.2022 08:00:06	26.04.2022 16:00:02	31,7	11,3	1

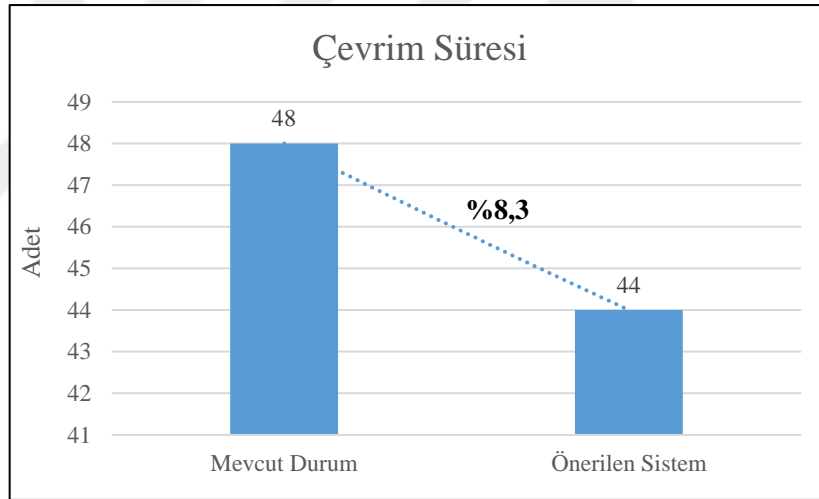
Şekil 6.8. Çevrim süreleri veri tabanı

Şekil 6.8'de veri tabanından gösterilen verilen verilerin tablo haline getirilerek çevrim sürelerinin hesaplanması sonrası Çizelge 6.6 oluşturulmuştur. Çizelge 6.7'deki üretim verilerine göre ürünün ortalama çevrim süresinin 44 saniye olduğu görülmektedir. Ürünün fizibilite aşamasında çevrim süresi 48 saniye olarak belirlenmişti ve çevrim süresinin doğruluğunu ölçebilecek altyapı mevcut sistemde bulunmamaktaydı. IoT sisteminin kurulması ile 6 iş emrine göre bu çevrim süresinin ortalama 44 saniye olduğu tespit edilmiştir. Ürünün üretimi tekrarlandıkça çevrim süresi ile ilgili net bir değer daha sağlıklı belirlenebilir. İlgili

ürünün 6 iş emrinden elde edilen verilere göre çevrim süresi 44 saniye olarak güncellendiğinde her bir ürünün üretiminden 4 saniye kazanç elde edilmektedir. Çevrim süresinin %8,3 oranında azaldığı Şekil 6.9’da görülmektedir.

Çizelge 6.7. Önerilen sistemde A733 ürünü 2022 yılı üretim verileri

BTN_SEQ_NO	START_DATE	FINISH_DATE	PROCESS_SEC	OP_CYCLE_TIME	FACTOR	Çevrim Süresi
XX198	7.01.2022 08:00:02	7.01.2022 16:00:45	32	13,9	1	45,9
XX630	21.02.2022 08:00:11	21.02.2022 16:00:03	31,7	13,2	1	44,9
XX604	8.03.2022 16:00:02	8.03.2022 00:00:56	32	11,6	1	43,6
XX920	29.03.2022 08:00:09	29.03.2022 16:00:03	31,7	13,4	1	45,1
XX036	08.04.2022 16:00:04	09.04.2022 00:00:02	31,7	10,8	1	42,5
XX635	26.04.2022 08:00:06	26.04.2022 16:00:02	31,7	11,3	1	43



Şekil 6.9. Mevcut durum ve önerilen sistemin çevrim süresi karşılaştırması

2021 yılının ilk dört ayına ait verilere göre çevrim süresinin iş emirleri arasındaki değişkenliği 1,9 iken yeni sistemde 1,2 olarak hesaplanmıştır.

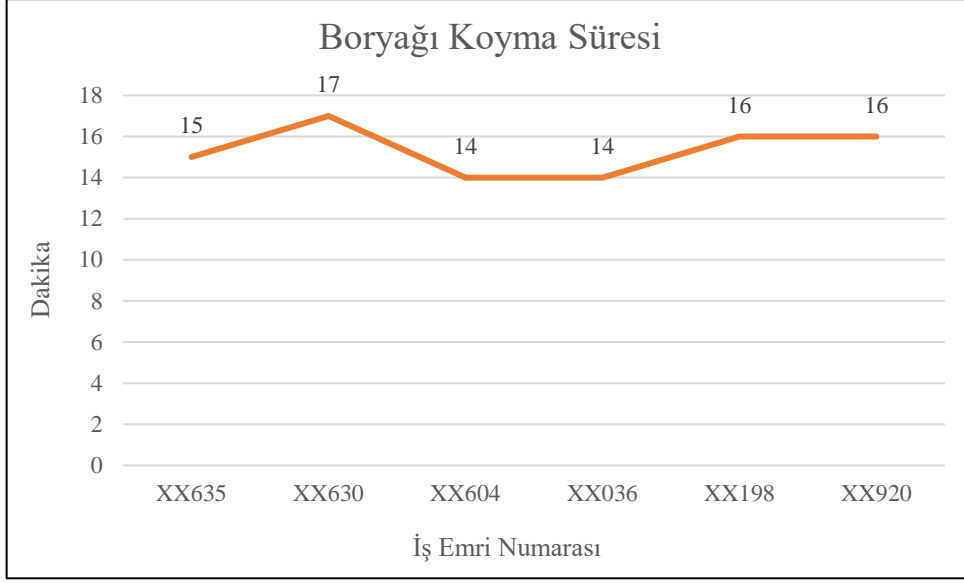
IoT sisteminin kurulması ile sağlanan bir diğer fayda ise duruş sürelerinin operatör inisiyatifinden çıkarılmış olmasıdır. 2022 yılının ilk 4 ayında A733 ürünün 6 farklı iş emri ile gerçekleştirilen üretimlerinde yaşanan duruşların nedenleri ve süreleri Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Önerilen sistemde A733 ürünü 2022 yılı üretim duruşları

İş Emri	Duruş Nedeni	Duruş Süresi (dk)
XX635	Uç yenileme	10
	Boryağı koyma	15
	Setup	11
	Periyodik bakım	9
	Kişisel ihtiyaç	9
XX630	Kalite onayı bekleme	12
	Boryağı koyma	17
	Uç yenileme	11
	Periyodik bakım	8
	Kişisel ihtiyaç	12
XX604	Uç yenileme	11
	Boryağı koyma	14
	Kalite onayı bekleme	7
	Setup	12
	Periyodik bakım	12
XX036	Kişisel ihtiyaç	6
	Uç yenileme	12
	Boryağı koyma	14
	Periyodik bakım	12
XX198	Kişisel ihtiyaç	17
	Boryağı koyma	16
	Setup	14
	Periyodik bakım	11
XX920	Kişisel ihtiyaç	10
	Uç yenileme	13
	Boryağı koyma	16
	Periyodik bakım	10
	Kişisel ihtiyaç	15

Çizelge incelendiğinde mevcut duruma kıyasla her bir iş emrinde yaşanan duruşların toplam sürelerinde bir artış yaşanmış gibi gözükse de bu artışın sebebi; mevcut durumda girilmeyen diğer duruşların da bu sistem ile birlikte girilmeye başlanmasıdır. Duruşların toplam sürelerinde artış gözükse de bu sistem sayesinde duruşların gerçek süreleri hakkında daha sağlıklı veri edinilmektedir.

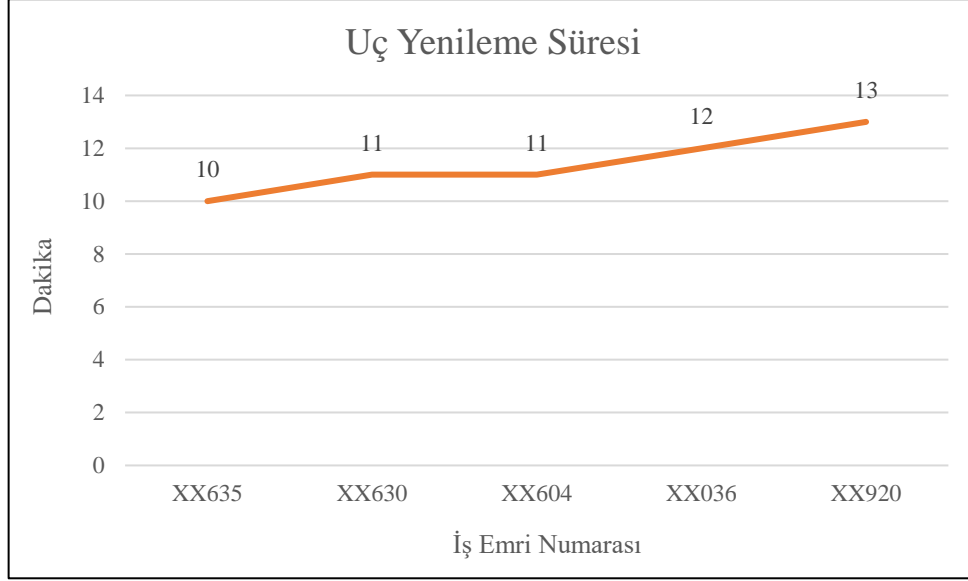
2022 yılında 6 kez üretilen A733 ürünün 5 üretiminde boryağı koyma duruşu ve uç yenileme duruşu yaşanmıştır. Boryağı koyma duruşuna ait süreler Şekil 6.10'da, uç yenileme duruşuna ait veriler Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.10. Önerilen sistem boryağı koyma duruş süreleri

Üretilen 6 iş emri arasında XX630 numaralı iş emri 17 dakika ile en yüksek boryağı koyma duruş süresine sahip iken, XX604 ve XX036 numaralı iş emirleri 14 dakika ile en düşük boryağı koyma duruş sürelerine sahiptir. İş emirleri arasında duruş süreleri bakımından farklılık mevcut durumdaki düzeyde olmasa da mevcuttur. Değişkenlik yaşanmasının sebebi; boryağ depolama alanının tek yerde olması sebebi ile operatörlerin boryağ alma sırasında birbirlerini beklemesi olarak açıklanabilir. Mevcut sistemde değişkenlik değeri 4,75 olan boryağ koyma duruşunun yeni sistemdeki değişkenlik değeri 1,11 olarak hesaplanmıştır.

Önceki sistemde ortalama 14 dakika olarak gözükken boryağı koyma işleminin yeni sistem ile birlikte ortalama 15 dakika sürdüğü tespit edilmiştir. Yeni sistem ile boryağ koyma duruş süresinde artış sağlanmış gibi gözükse de aslında verilerin doğruluğu, izlenebilirliği ve sürdürülebilirliği sağlanmıştır. Boryağ koyma duruşunun mevcut sistemde daha düşük süreye sahip olmasının sebebinin operatörün veriyi eksik girmesi temeline dayandığı tahmin edilmektedir.



Şekil 6.11. Önerilen sistem uç yenileme duruş süreleri

A733 ürününün 5 iş emrindeki verilerine göre; uç yenileme duruş süresi XX635 numaralı iş emrinde 10 dakika ile en düşük süreye sahip iken, XX920 numaralı iş emrinde 13 dakika ile en yüksek süreye sahiptir. XX630 ve XX604 numaralı iş emirlerindeki duruş süreleri 11 dakika ile birbirlerine eşittir. Uç yenileme duruşuna ait değişkenlik de 2,12 değerinden yeni sistemde 1,02 değerine düşmüştür. Mevcut sistemde iş emirlerindeki duruş süreleri arasındaki değişkenlik durumu, verilerin operatör tarafından hatalı girilmiş olma olasılığını arttırmaktadır. Yeni sistem ile birlikte hem tüm duruşların girilmesi hem de duruş sürelerinin doğru raporlanması sağlanmıştır.

Önceki sistemde ortalama 12 dakika olarak gözüken uç yenileme işleminin yeni sistem ile birlikte ortalama 11 dakika sürdüğü tespit edilmiştir. 5 iş emrine göre uç yenileme duruş süresinin önceki sisteme göre 1 dakika kısa olduğu görülse de duruş süresinin daha doğru tespit edilebilmesi için yapılan üretimlerin sıklığı artırılmalıdır.

6.2.2 Önerilen Sistemin Performans Bazında İncelenmesi

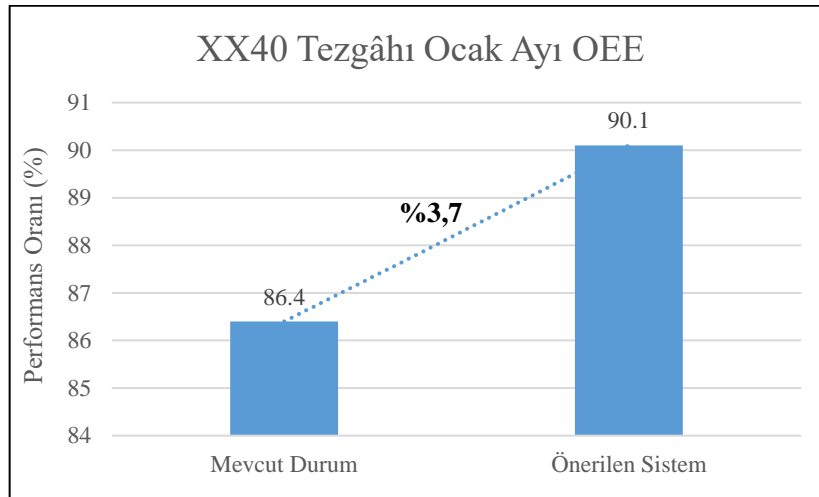
Bu kısımda, önerilen sistemin kurulması sonrası tezgâh performansları ve hücre performansları hesaplanarak önceki durumdaki performanslar ile karşılaştırılmıştır.

Mevcut durumun incelendiği bölümde, RR hücresindeki 10 tezgâh arasından performansının en düşük olması sebebiyle XX40 tezgâhı incelenmek üzere seçilmiştir. IoT sisteminin kurulması sonrasında XX40 tezgâhında ocak ayı boyunca 13 ayrı iş emri üretimi yapılmış olup verileri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Önerilen sistemde XX40 tezgâhı 2022 yılı ocak ayı üretim verileri

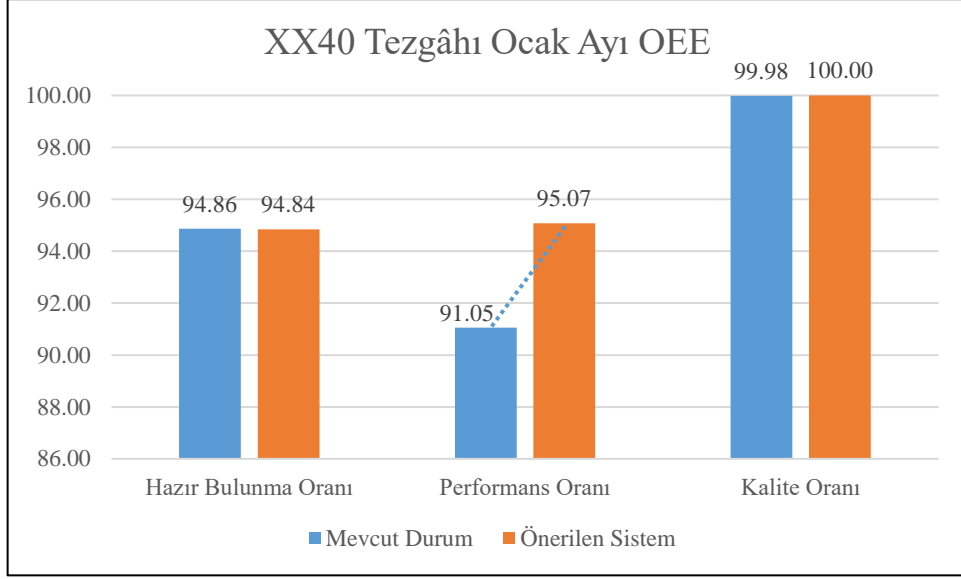
Tarih	Raporlanan Miktar (adet)	Raporlanan Vardiya Süresi (dk)	Std İş Süresi (dk)	Planlanmış Üretim Miktarı (adet)	Hazır Bulunma Süresi (dk)	Kusursuz Üretilen Miktar (adet)	Hurda Miktarı (adet)	Hazır Bulunma Oranı (%)	Performans Oranı (%)	Kalite Oranı (%)	OEE (%)
4.01.2022	427	478	377	440	409	427	0	93	92,1	100	85,6
5.01.2022	427	480	377	440	424	427	0	96,4	88,9	100	85,6
6.01.2022	441	475	399	440	398	441	0	90,5	100,3	100	90,8
10.01.2022	460	475	406	440	440	460	0	100	92,2	100	92,2
12.01.2022	460	475	406	440	421	460	0	95,7	96,4	100	92,2
13.01.2022	460	478	406	440	426	460	0	96,8	95,3	100	92,2
14.01.2022	460	476	406	440	427	460	0	97	95,1	100	92,2
17.01.2022	453	480	400	440	420	453	0	95,5	95,2	100	90,8
19.01.2022	460	476	406	440	428	460	0	97,3	94,8	100	92,2
20.01.2022	460	478	406	440	407	460	0	92,5	99,7	100	92,2
24.01.2022	435	477	384	440	410	435	0	93,2	93,6	100	87,2
25.01.2022	427	480	377	440	404	427	0	91,8	93,3	100	85,6
26.01.2022	460	476	406	440	410	460	0	93,2	99	100	92,2

XX40 tezgâhının 2022 yılı ocak ayı içerisinde yapmış olduğu 13 farklı iş emri verileri incelendiğinde tezgâhın ocak ayı OEE değerinin ortalama 90,1 olduğu görülmüştür. XX40 tezgâhının IoT sisteminin kurulmadan önceki 2021 yılının ocak ayı OEE değeri ortalama 86,4'tü. Ocak ayı baz alındığında yeni sistemin OEE değerinde %3,7 oranında artış sağladığı Şekil 6.12'de görülmektedir.



Şekil 6.12. Mevcut durum ve önerilen sistemin XX40 tezgâhı ocak ayı OEE karşılaştırması

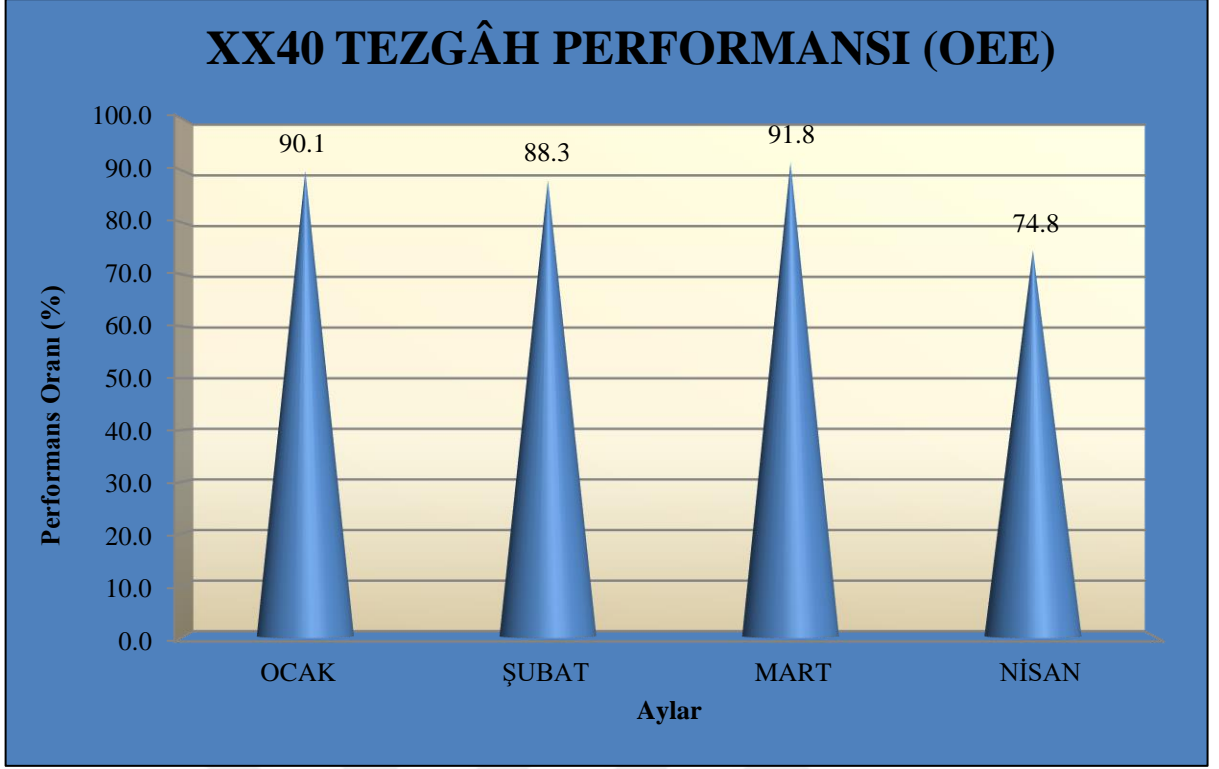
XX40 tezgâhının ocak ayı OEE değerinde yaşanan bu artışın OEE hesabının kırımları bazında incelenmesi Şekil 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.13. XX40 tezgâhı için mevcut durum ve önerilen sistemin ocak ayı OEE kırımları

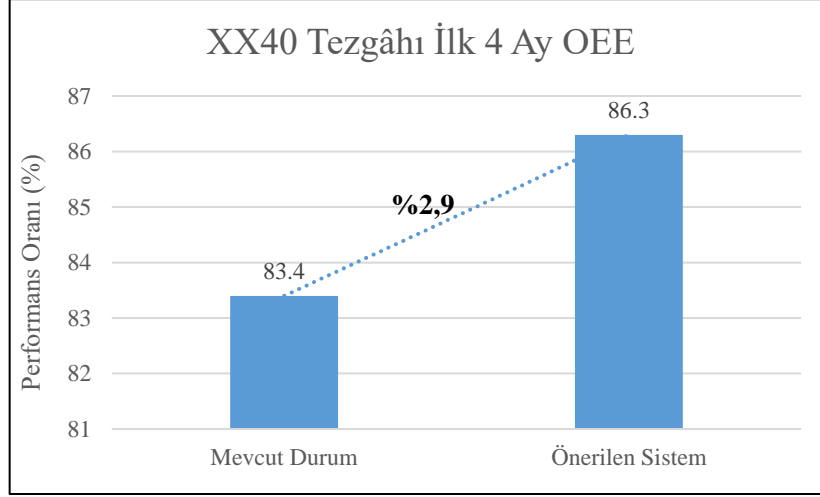
XX40 tezgâhının ocak ayı OEE değerinde yaşanan artış, OEE hesabının performans oranı kırımına dayanmaktadır. Mevcut durumda ocak ayının performans oranı %91,05 iken önerilen sistemde bu değer %95,07'ye ulaşmıştır. Performans oranındaki bu artış, performans oranına ait formül incelendiğinde mevcut duruma kıyasla önerilen sistemde üretim miktarında yaşanan artış ve duruşların girilmesi ile çalışılan gerçek sürenin ortaya çıkması ile açıklanmaktadır.

XX40 tezgâhının 2022 yılının ilk 4 ayı için OEE değerleri Şekil 6.14'te verilmiştir.



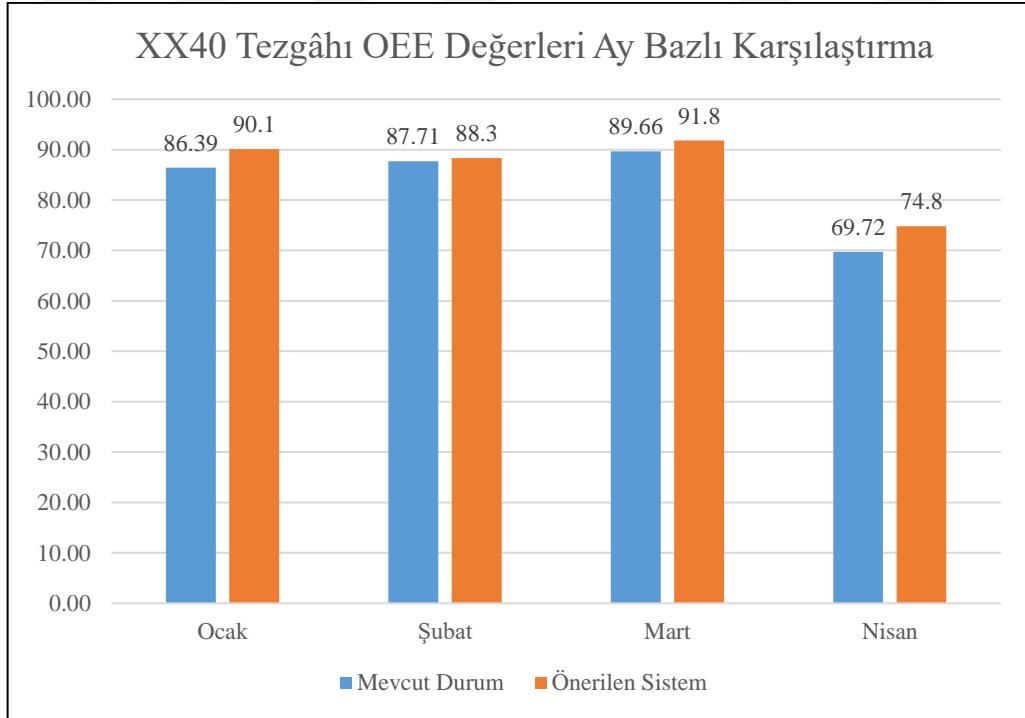
Şekil 6.14. Önerilen sistemde XX40 tezgâhı 2022 yılı ilk 4 ay OEE değerleri

Şekil 6.14 incelendiğinde XX40 tezgâhının 2022 yılı ilk dört ayı için OEE değeri arasından en yüksek OEE değerine sahip ayın mart ve en düşük OEE değerine sahip ayın nisan olduğu görülmektedir. XX40 tezgâhının 2022 yılı ilk dört ayı için OEE değeri ortalama aylık 86,3 gerçekleşmiştir. IoT sistemi kurulmadan önceki mevcut durum incelendiğinde XX40 tezgâhı için OEE değeri yıl bazında 74,7 ve 2021 yılının ilk dört aylık verileri incelendiğinde aylık ortalama 83,4 olduğu görülmüştür. IoT sisteminin kurulması ile XX40 nolu tezgâh için 2022 yılının ilk dört aylık verileri incelendiğinde OEE değerinin 86,3 oranına yükseldiği görülmektedir. XX40 tezgâhı bazında 2021 yılı mevcut durum ve 2022 yılı önerilen sistemin ilk 4 aylarını içeren ortalama OEE değerlerinin karşılaştırması Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15. XX40 tezgâhı mevcut durum ve önerilen sistemin ilk 4 ay OEE karşılaştırması

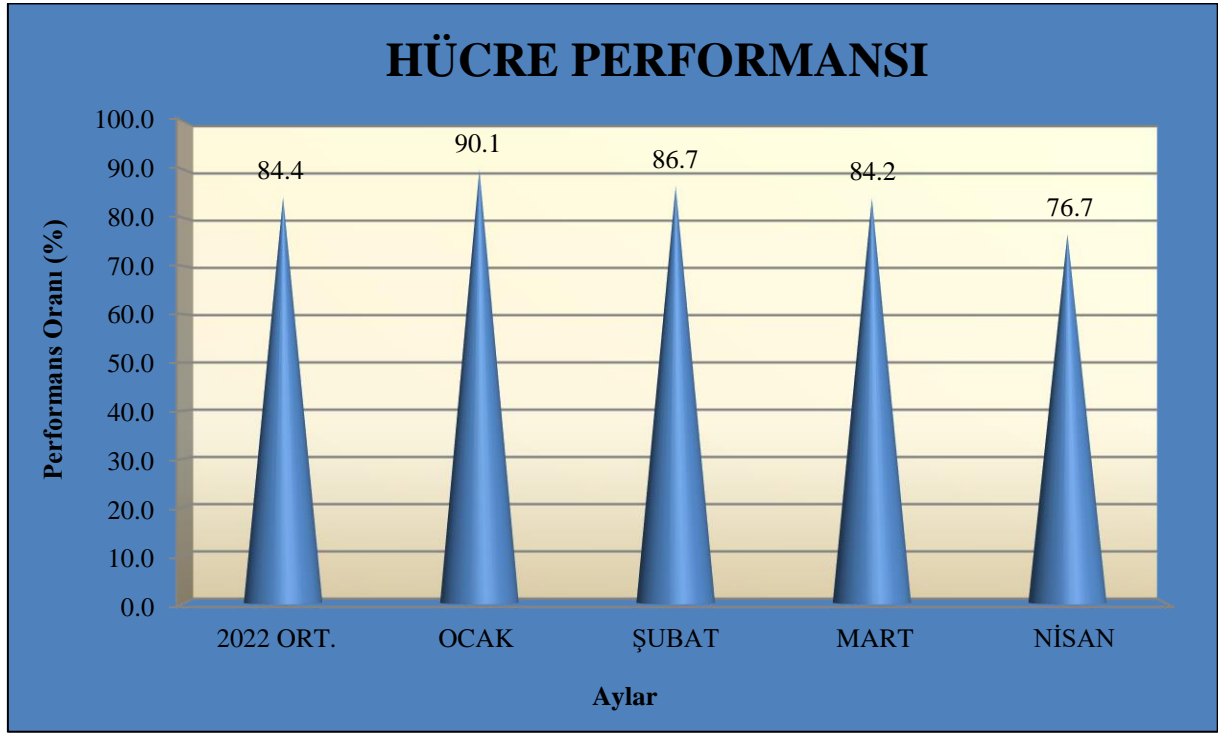
Edinilen 4 aylık veriler bir önceki senenin 4 aylık verileri ile karşılaştırıldığında yeni sistemin, CNC 40 tezgâhının OEE performansında %2,9 oranında artışa sebep olduğu söylenebilir; fakat IoT sisteminin OEE performans değerine etkisinin kesin bir şekilde ifade edilebilmesi için sistemin daha uzun bir süre takip edilmesi gerekmektedir. XX40 tezgâhının mevcut durum ve önerilen sistem OEE değerlerinin ay bazında karşılaştırması Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



Şekil 6.16. XX40 tezgâhı mevcut durum ve önerilen sistemin ay bazlı karşılaştırması

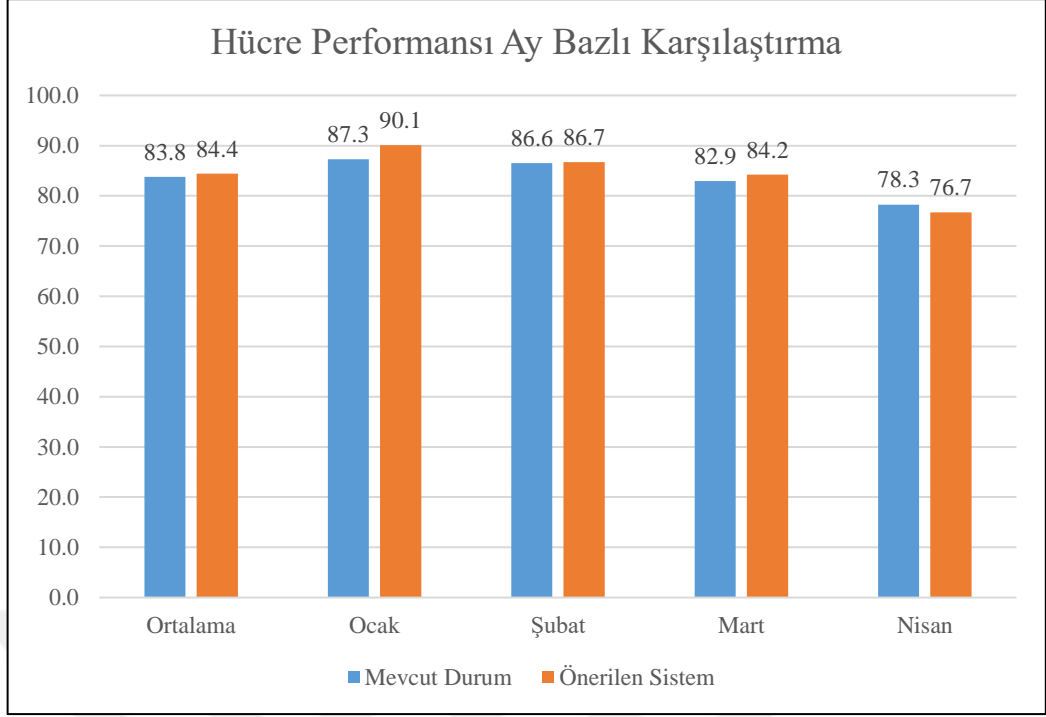
IoT entegrasyonu sonrası XX40 tezgâhında yapılan 4 aylık üretimlerin oluşturduğu OEE değerleri incelenmiştir. İnceleme yapılan tüm aylarda mevcut durumdaki OEE değerlerine kıyasla artış sağlandığı görülmektedir.

2021 yılının aralık ayının sonunda RR hücresinde bulunan 10 adet tezgâha da IoT sistemi entegre edilmiştir. Yeni sistem ile birlikte 10 tezgâhın oluşturduğu hücrenin performans verileri Şekil 6.17’de verilmiştir.



Şekil 6.17. Önerilen sistemde RR hücresi 2022 yılı ilk 4 ay OEE değerleri

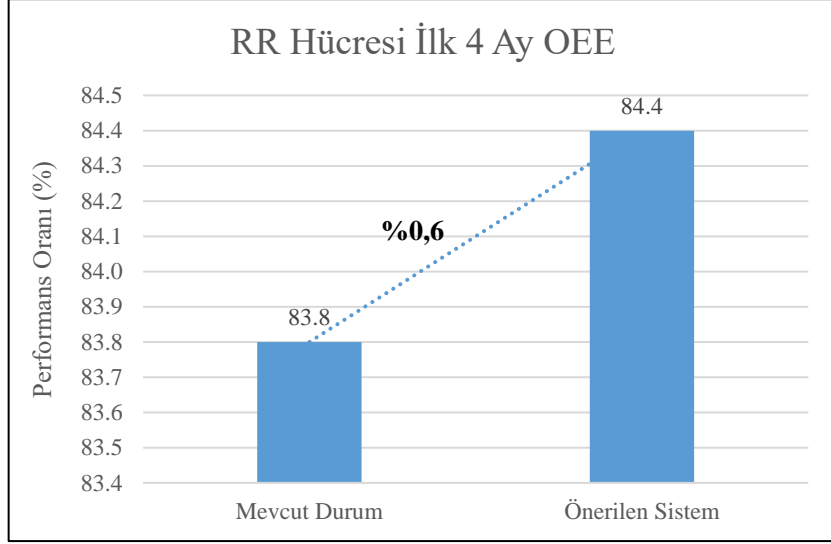
IoT sistemi 2022 yılı ile birlikte devreye alınmıştır. Hücre performansının 2022 yılı ilk dört ayı incelendiğinde aylık ortalama OEE değerinin 84,4 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Hücre performansı ay bazında incelendiğinde; en yüksek OEE değerinin ocak ayında %90,1 olarak gerçekleştiği, en düşük OEE değerinin ise %76,7 oranında nisan ayında gerçekleştiği görülmektedir. Mevcut durumun ve önerilen sistemin hücre performanslarının ay bazında karşılaştırması Şekil 6.18’de verilmiştir.



Şekil 6.18. Hücre performansı mevcut durum ve önerilen sistemin ay bazlı karşılaştırması

Hücre performansı parametresinin ay bazlı karşılaştırması incelendiğinde mevcut durum olan 2021 yılının ilk 4 aylık OEE değeri 83,8 iken IoT sistemi entegrasyonu sonrası 2022 yılının ilk 4 aylık OEE değeri %84,4'tür. Ocak, şubat ve mart aylarında mevcut duruma kıyasla önerilen sistemin OEE değerlerinde artış sağlandığı görülmekte; fakat nisan ayında mevcut duruma kıyasla önerilen sistemin OEE değerinde azalış tespit edilmektedir. Mevcut durum ve önerilen sistemin kıyaslamalarında tespit edilen nisan ayı OEE değerindeki bu azalış durumu işletme bünyesindeki toplu işe alımlar ile açıklanmaktadır. İşletme genelinde üretim hacminde artış yaşanması ile nisan ayında toplu işe alım yapılmıştır. İşe yeni başlayan operatörlerin bir kısmı pilot bölgede görev almaktadır ve işe adapte olma, tecrübe kazanma dönemlerine bağlı olarak OEE değerlerinde düşüş yaşanmıştır.

2021 yılındaki mevcut durum ve 2022 yılındaki önerilen sistemin ilk 4 aylarını içeren ortalama OEE değerlerinin karşılaştırması Şekil 6.19'da verilmiştir.



Şekil 6.19. Mevcut durum ve önerilen sistemin RR hücresi ilk 4 ay OEE karşılaştırması

2021 yılının ilk 4 ayını içeren mevcut durumun hücre performansı %83,8 iken 2022 yılının ilk 4 ayını içeren önerilen sistemin hücre performansının %84,4 olduğu görülmektedir. 2022 yılı ile birlikte devreye alınan IoT sisteminin, 10 tezgâhtan oluşan pilot bölgenin hücre performansında %0,6 oranında artış sağladığı sonucuna varılmıştır. Sistemin daha uzun vadede izlenmesi ve takip edilmesi IoT sisteminin sağladığı iyileşmenin daha net bir şekilde ifade edilmesi bakımından faydalı olacaktır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren süspansiyon ve yönlendirme ürünleri üreten bir işletmeye endüstri 4.0 teknolojilerinden IoT teknolojisinin entegre edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. İşletmede yapılan incelemeler ve tespitler ile üretim verilerinin operatörün inisiyatifinde olması ve raporlamalar sırasında yaşanan zaman kayıplarının işletme için öncelikli problemler olduğu tespit edilmiştir. Öncelikli olarak belirlenen problemlere ilişkin bu çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışma ile üretim verilerinin doğru ve güvenilir şekilde toplanması, raporlamalar sırasında yaşanan zaman kayıplarının minimize edilmesi ve bu sayede işletmenin performansının artırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın bir diğer amacı ise üretim verilerinin doğruluğunun kontrol edilmesi ile gerçek verilere erişim sağlamaktır. IoT sisteminin işletmeye sağladığı iyileştirmenin ifade edilebilmesi amacıyla işletme tecrübeleri ve literatürden yararlanılarak performans parametreleri belirlenmiştir. Parametreler ürün bazlı ve performans bazlı olarak iki başlık altında incelenmiştir. Ürün bazında incelenen parametreler çevrim süresi ve ürün miktarı, performans bazında incelenen parametreler ise tezgâh performansı ve hücre performansıdır. Performans bazlı parametreler olan tezgâh ve hücre performansları toplam ekipman etkinliği (OEE) ile hesaplanmıştır. Çalışma içerisinde değinilen OEE ve tüm parametreler için direkt olarak işletmenin üretim verilerinden yararlanılmıştır.

İşletmede 3000 çeşitten fazla ürün olması sebebiyle ürün çeşitliliğinin fazla olmasının üretim miktarı ve çevrim süresi parametrelerinde yapılan mevcut durum ve önerilen sistem kıyaslamaları için bir kısıt oluşturacağı öngörülmüştür. Öngörülen kısıt doğrultusunda ürün bazında kıyaslama, işletmede en sık ve en fazla miktarda üretilen ürünler arasından seçilen A733 kodlu ürün ile yapılmıştır. Çalışmanın gerçekleştirilmesi için ilk olarak işletme ile birlikte pilot bölge belirlenmiştir. Pilot bölge olarak diğer hücrelere kıyasla sistem entegrasyonunun kolaylığı göz önünde bulundurularak RR hücresi seçilmiştir. Tezgâh performansı parametresinin değerlendirilmesi için pilot bölgedeki tezgâhlar arasında en düşük OEE değerine sahip XX40 tezgâhı seçilmiştir. XX40 tezgâhı, IoT entegrasyonu sonrası performans iyileştirmesinin daha çok görünür kılınması amacıyla seçilmiştir.

Pilot bölge olarak belirlenen 10 adet tezgâhtan oluşan hücreye 2021 yılı aralık ayının sonunda IoT sistemi entegre edilmiştir. Kurulan IoT sistemi ile tezgâhta 3 dakikadan fazla bir sürede hiçbir işlem yapılmamış ise sistem, duruş sebebi girilmeden tezgâhın çalışmasına izin vermemektedir. Sistemin bu özelliği sayesinde operatörler tarafından kayıt altına alınmadan yapılan duruşlar engellenmiştir. Ayrıca yapılan çalışma sırasında her tezgâh için kurulan PLC

ekranlarından operatörler üretim verilerini hiçbir bekleme yapmaksızın zaman kaybı yaşamadan girebilmektedir. IoT sisteminin entegre edilmesi sonrasında işletmenin performansı 2022 yılının ilk 4 ayı boyunca izlenmiş ve edinilen çıktılar, mevcut durum olan 2021 yılının ilk 4 ayı ile kıyaslanmıştır. Mevcut durum ve önerilen sistem karşılaştırması Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Mevcut durum ve önerilen sistem karşılaştırması

	Ürün Miktarı (adet)	Çevrim Süresi (saniye)	Tezgâh Performansı (%)	Hücre Performansı (%)
Mevcut Durum	459	48	83,4	83,8
Önerilen Sistem	539	44	86,3	84,4
İyileştirme (%)	%17,4	%8,3	%2,9	%0,6

Ürün bazlı parametrelerden ürün miktarı için 2021 yılı üretim ortalaması 459 adettir. IoT sisteminin kurulumu sonrası 2022 yılında üretim miktarı 80 adet daha artarak 539 adete ulaşmıştır. IoT sonrası üretim adetlerinde yaklaşık %17,4 artış sağlandığı görülmüştür. Yeni ürün devreye alma sürecinde A733 ürününün çevrim süresi 48 saniye olarak belirlenmiş ve mevcut durumda üretim ve planlama bu süreye göre yapılmıştır. IoT sisteminin devreye alınması ile birlikte her ürünün tezgâha bağlanma ve tezgâhın ürünü işleme süresi hesaplanmaya başlanmıştır. IoT sistemi ile ürünün çevrim süresi için doğru ve güvenilir bir veri toplanmış ve sonucunda ürünün çevrim süresi 44 saniye olarak belirlenmiştir. Ürünün üretimi arttıkça ve daha fazla veri toplandıkça çevrim süresi ile ilgili daha net bir değere ulaşılabilir; fakat 2022 yılının ilk 4 aylık üretimlerinden elde edilen verilere göre ürünün çevrim süresi 44 saniye olarak güncellenir ise her bir ürünün üretiminden 4 saniye kazanç elde edilecektir. Bu sayede çevrim süresinde %8,3 oranında bir iyileştirme sağlanmış olacaktır. Sistem performans bazında incelendiğinde; 2021 yılında ilk 4 ay için ortalama aylık %83,4 OEE değerine sahip olan XX40 tezgâhı 2022 yılında %2,9 artarak %86,3 OEE değerine ulaşmıştır. XX40 tezgâhının 2021 ve 2022 yılları ocak ayı OEE değerleri karşılaştırıldığında %3,71 oranında artış sağlandığı görülmektedir. Yaşanan artış, OEE hesabındaki performans oranı kırılımındaki oransal artışa dayanmaktadır. Performans oranındaki artış, çevrim süresinde sağlanan iyileşme ve üretim miktarında yaşanan artış ile açıklanmaktadır. RR hücresinde bulunan 10 tezgâhın oluşturduğu hücre performansı incelendiğinde; 2021 yılında %83,8 olan hücrenin OEE değeri IoT

sisteminin entegrasyonu ile birlikte 2022 yılında %0,6 oranında artış sağlayarak %84,4 oranına ulaşmıştır.

Yapılan çalışma ile işletmenin üretim miktarında ve OEE değerinde artış elde edilirken ürünün çevrim süresinde de azalış sağlanmıştır. Bu sayede işletmede hem zaman açısından hem verimlilik açısından hem de üretim miktarının arttırılması ile dolaylı yoldan maddi açıdan katma değer sağlanmıştır. IoT sisteminin işletme için sağladığı faydalar 4 ay boyunca izlenen veriler üzerinden ifade edilmiştir. Sistemin daha uzun vadede izlenmesi, kazanılan katma değer için daha net bir şekilde ifade edilebilmesi için faydalı olacaktır. Ayrıca, çalışma işletmenin sadece pilot bölge olarak seçilen RR hücresi için uygulanmıştır. Yapılan çalışmanın diğer hücreler, tezgâhlar için yaygınlaştırılması ile sağlanan fayda maksimum düzeyde elde edilmiş olacaktır.

Bu çalışmanın yapılacak olan diğer çalışmalara yol gösterici nitelikte olması amaçlanmıştır. Yapılacak benzer çalışmalarda daha uzun vadede veri alınması işletmeye sağlanan faydaların tespit edilmesinde fayda sağlayacaktır. Performans ölçümü yöntemi olarak OEE kullanılır ise; performans ölçümü yapılırken OEE hesabındaki kalite oranı, performans oranı ve kullanılabilirlik oranı kırılımları açısından da değerlendirilmesi ile daha detaylı bir veri analizi mümkün olabilecektir. Benzer çalışmaların otomotiv sektörü veya diğer sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler için de yaygınlaştırılması, hem işletmelerin performanslarında ve endüstri 4.0 olgunluk seviyesinde artış sağlayacak hem de ülke genelinde büyük ölçekli fayda sağlanmasına imkân verecektir.

KAYNAKLAR

- Abdulle, M. M. (2021). *The effect of industry 4.0 on organizational performance in Mogadishu* (Master's Thesis), İstanbul Commerce University Graduate School of Foreign Trade, İstanbul.
- Ak, U. (2018). *Endüstri 4.0 uygulamalarının makine verimliliğine etkisi ve beyaz eşya üretim sektöründe bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkuş, Ö. (2021). *Endüstri 4.0'ın verimliliğe etkisi: kamu hastanelerinde e-sağlık uygulaması olan MHRS sisteminin etkililiğinin veri zarflama analizi yoluyla ölçülmesi* (Yüksek Lisans Tezi), İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Akyol Kılıç S. ve Düzdar Argun, İ. (2020). Otomotiv sektöründe dijitalleşme sonucu iş gücü verim analizi. *International Marmara Sciences Congress Imascon 2020 - Autumn*, 624-632.
- Aksoy, S. (2017). Değişen teknolojiler ve endüstri 4.0: endüstri 4.0'ı anlamaya dair bir giriş. *SAV Katkı*, 4, 34-44.
- Barut, B., Ünver, M., Kayım, C. T., Toprak, E. ve Uysal, E. (2020). Otomotiv endüstrisinde akıllı fabrika uygulamaları ve Türkiye'de adaptasyon süreci. *Karabük Üniversitesi İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 28-38.
- Barutçu, Y. (2013). *Etkinlik ve verimlilik ölçüm yöntemleri üzerine bir yazılım uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Baysal, K. (2010). *İşletmelerde etkinlik ve verimlilik ölçüm yöntemleri: bir yazılım önerisi* (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Berksun, E. (2018). *Sanayide endüstri 4.0 süreçleri: Çorum sanayisinde bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi), Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çorum.
- Cloud computing*. (t.y.). Erişim adresi <https://www.supraits.com/infrastructure/managed-cloud/hybrid-cloud-3/cloud-computing/>
- Coşkun, T. (2020). *Üretim sistemleri için endüstri 4.0 uygulamalarında simülasyon yaklaşımı ve bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çark, Ö. (2020). İşletmelerin dijital dönüşüm sürecinde “nesnelerin interneti” teknolojisinin etkisi. *Turkish Studies - Economy*, 15(3), 1247-1266.
- Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 ve simülasyon. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 9-26.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. ve Frank, A. G. (2018). The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.

- Davutoğlu, N. A., Akgül, B. ve Yıldız E. (2017). İşletme yönetiminde sanayi 4.0 kavramı ile farkındalık oluşturarak etkin bir şekilde değişimi sağlamak. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(52), 544-567.
- Duman, A. (2019). *Endüstri 4.0 ile akıllı üretimin işletme performansı üzerine etkisi: Vestel Buzdolabı Fabrikası'nda bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi), Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Manisa.
- Endüstri tarihine kısa bir yolculuk. (t.y.)*. <https://www.endustri40.com/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk>
- Esmer, A. H. (2019). *Dış ticaret firmalarının endüstri 4.0 uygulama ve süreçlerine dair nitel bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Gabaçlı, N. ve Uzunöz, M. (2017). IV. sanayi devrimi: endüstri 4.0 ve otomotiv sektörü. *3rd International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS)*.
- Gerekli, İ. (2020). *Endüstri 4.0 teknolojilerinin iş gücü verimliliği ve işletme performansına etkileri tekstil sektöründe bir uygulama* (Doktora Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Gökrem, L. ve Bozuklu M. (2016). Nesnelerin interneti: yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki mevcut durum. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (13), 47-68.
- Gürsoy, Ö. (2020). *Yalın üretim sisteminde dijitalleşme ve endüstri 4.0 uygulamaları ile süreç iyileştirme analizi: bir imalat işletmesinde uygulama* (Doktora Tezi), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- Karaman, R. (2009). İşletmelerde performans ölçümünün önemi ve modern bir performans ölçme aracı olarak balanced scorecard. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 8(16), 410-427.
- Köksal, M. (2022). *Endüstri 4.0 teknolojileri ve döngüsel ekonominin sürdürülebilir işletme performansına etkisi asansör sektöründe uygulama* (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara.
- Mutlu, M. (2019). *Endüstri 4.0 uygulamalarına ilişkin algılar: otomotiv ve tekstil sektörü üzerinde bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Oláh, J., Novotna, A., Sarihasan, İ., Erdei, E. ve Popp, J. (2022). Examination of the relationship between sustainable industry 4.0 and business performance. *Journal of Competitiveness*, 14(4), 25-43.
- Özdemir, A. ve Özgüner, M. (2018). Endüstri 4.0 ve lojistik sektörüne etkileri: lojistik 4.0. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 6(4), 39-47.
- Özkaya, A., Gür, Ş. ve Eren, T. (2019). Endüstri 4.0'a geçiş sürecinin analitik ağ süreci ile değerlendirilmesi. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(2), 59-74.

- Öztürk, Ş. (2019). *Bir işletmecilik tecrübesi çerçevesinde dijital dönüşüm modeli önerisi: enerji sektöründe uygulama ve danışmanlık hizmeti veren bir kobi örneği* (Yüksek Lisans Tezi), Altınbaş Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Pak, E. (2022). *Stok yönetim sistemlerinde endüstri 4.0 uygulamalarının gerçekleştirilmesi: bir otomotiv firmasında komisyonlama (parça toplama-montaj hatlarına parça besleme) yönteminin dijitalleştirilmesi* (Doktora Tezi), Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray.
- Pamuk, N. S. ve Soysal, M. (2018). Yeni sanayi devrimi endüstri 4.0 üzerine bir inceleme. *Verimlilik Dergisi*, (1), 41-66.
- Polat, İ. (2014). *İşletmelerde toplam ekipman etkinliği (OEE) kullanımı ile elektrik enerji tasarrufu* (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Schumacher, A., Nemeth, T. ve Sihn, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 79, 409-414.
- Sürmen, Y. E. (2019). *Endüstri 4.0 ve otomotiv endüstrisi: Bursa ili swot analizi ile değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Şahin, C. (2019). *Otomotiv sektörünün endüstri 4.0 ile gelecek beklentisi* (Yüksek Lisans Tezi), Bahçeşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Şeker, S. E. (2015). Büyük veri ve büyük veri yaşam döngüleri. *YBS Ansiklopedi*, 2(3).
- Türkcan, H. (2022). *Endüstri 4.0 bileşenlerinin firma performansı ve rekabet avantajı ile ilişkisi* (Doktora Tezi), Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze.
- Ulusoy, E. (2019). *Türkiye’de endüstri 4.0’ın otomotiv sektörüne yansımaları üzerine bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tekirdağ.
- Unhelkar, B., Joshi, S., Sharma, M., Prakash, S., Mani, A. K. ve Prasad, M. (2022). Enhancing supply chain performance using RFID technology and decision support systems in the industry 4.0-a systematic literature review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(2).
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0 - innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, 182, 763-769.
- Woschank, M. ve Dallasega, P. (2021). The impact of logistics 4.0 on performance in manufacturing companies: a pilot study. *Procedia Manufacturing*, 55, 487-491.
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 546-556.