

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARINDA
SİMÜLASYON YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tevfikcan COŞKUN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şule İtr SATOĞLU

MART 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARINDA
SİMÜLASYON YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tevfikcan COŞKUN
507161128**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şule İtr SATOĞLU

MART 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507161128 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tevfikcan COŞKUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARINDA SİMÜLASYON YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Şule İtir SATOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Emre ÇEVİKCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selçuk Çebi
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **6 Mart 2020**
Savunma Tarihi : **16 Mart 2020**





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu çalışma üretim sistemlerinde günümüz popüler konularından Endüstri 4.0 teknolojilerinin simülasyon yaklaşımını kullanarak uygulanabilirliğini araştırmakta ve bununla birlikte imalat sektöründe bir uygulamasını göstermeyi amaçlamaktadır.

Başta bu dikkate değer çalışmayı gerçekleştirme fırsatını bana sunduğu ve desteklerini öğrenimim süresince hiç esirgemeyen değerli danışman hocam Pof. Dr. Şule Itr SATOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Bununla birlikte her zaman beni destekleyen ve arkamda olan aileme şükranlarımı sunarım.

Mart 2020

Tevfikcan COŞKUN
Endüstri Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Araştırma Altyapısı ve Araştırma Alanı.....	1
1.2 Araştırma Soruları	3
1.3 Çalışmanın Yapısı	4
2. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ	7
2.1 Endüstri 4.0 Konsepti	7
2.2 Üretim Sistemlerinde Endüstri 4.0 Teknolojileri	10
2.3 Üretim Sistemlerinde Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Uyarlanması ve Zorluklar.....	17
3. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE SİMÜLASYON YAKLAŞIMININ ROLÜ ...	21
3.1 Simülasyon Yaklaşımı.....	21
3.2 Simülasyon Modelleri	23
3.3 Üretim Sistemlerinde Simülasyon Yaklaşımının Etkileri	26
4. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN UYGULANMASINDA SİMÜLASYON YAKLAŞIMININ ROLÜ	29
4.1 Literatür Taraması Metodolojisi.....	29
4.2 Pratik ve Metodolojik Literatür Taraması	31
4.3 İnceleme ve Kalitatif Analiz	33
4.4 Analiz Sonuçları	41
5. BİR ELEKTRONİK CİHAZ ÜRETİCİSİNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ SİMÜLASYONLA ANALİZİ	47
5.1 Mevcut Durum Analizi.....	47
5.2 Gelecek Durum Senaryoları	57
5.2.1 Manuel süreçteki çalışan sayısının artırılması durumu	58
5.2.2 Manuel süreçlerin otomatik işlemlere dönüştürülmesi durumu	59
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	63
6.1 Analiz Sonuçları	63
6.2 Sonuç	71
6.3 Kısıtlar ve Tavsiyeler	72
KAYNAKLAR	74
EKLER.....	79



KISALTMALAR

CPS	: Siber Fiziksel Sistemler (Cyber Physical Systems)
IoT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
IIoT	: Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (Industrial Internet of Things)
PaaS	: Hizmet Olarak Platform (Platform as a Service)
IaaS	: Hizmet Olarak Altyapı (Infrastructure as a Service)
SaaS	: Hizmet Olarak Yazılım (Software as a Service)
WSN	: Kablosuz Sensör Ağı (Wireless Sensor Networks)
IT	: Bilgi Teknolojiler (Information Technology)
IWN	: Endüstriyel Kablosuz Ağ (Industrial Wireless Network)
SME	: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (Smart and Medium Size Enterprise)
M2M	: Makineden Makineye (Machine to Machine)
VR	: Sanal Gerçeklik (Virtual Reality)
RFID	: Radio Frequency Identification Device
ICT	: Bilgi ve İletişim Teknolojileri (Information and Communication Technology)
SMD	: Yüzey Montaj Teknolojisi (Surface Mount Device)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Pratik tarama kriterleri.....	31
Çizelge 4.2 : Pratik ve metodolojik taramadan sonra elde edilen makaleler.....	32
Çizelge 4.3 : İncelenen makalelere genel bir bakış.	34
Çizelge 4.4 : Makalelerde geçen ve üzerinde durulan simülasyon türleri.....	36
Çizelge 4.5 : Makalelerin belirlenen sorulara göre analizi.	37
Çizelge 4.6 : Makalelerde ele alınan problemler.	43
Çizelge 5.1 : Üretim proses verilerinin dağılım sonuçları.....	50
Çizelge 5.2 : Makinelerin proses süreleri.	51
Çizelge 5.3 : Proses Verileri.....	52
Çizelge 5.4 : Simülasyon karar kutuları ve hata olasılıkları.....	55
Çizelge 5.5 : Bekleme Sürelerinin Azaltılmasında Çalışan Sayılarının Etkisi.....	58
Çizelge 5.6 : Yeni simülasyon senaryosu karar kutuları ve hata olasılıkları.....	60
Çizelge 5.7 : Makinelerin proses süreleri ve ortalaması.....	60
Çizelge 6.1 : Endüstri 4.0 teknolojileri.....	64



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Çalışmanın kapsamı.	2
Şekil 1.2	: Çalışmanın yapısı.	5
Şekil 2.1	: Sanayi devrimlerinin gelişimi.	8
Şekil 2.2	: Akıllı fabrikaları oluşturan temel yapılar.	9
Şekil 2.3	: Endüstri 4.0 teknolojileri ve sınıflandırılması.	11
Şekil 2.4	: Wireless sensör network mimarisi.	12
Şekil 2.5	: Büyük verinin 3V'si.	13
Şekil 3.1	: Simülasyon modelleri.	23
Şekil 3.2	: (a) Kesikli (discrete) sistem ve (b) sürekli (continuous) sistem.	24
Şekil 3.3	: Simülasyon modelleri.	25
Şekil 3.4	: Bir sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca simülasyon teknolojisini (digital twin) oluşturan bileşenler.	26
Şekil 4.1	: Yıllara göre makale sayısı.	41
Şekil 4.2	: Literatürde kullanılan simülasyon tipi sayısı.	42
Şekil 5.1	: SMD bölümü yerleşimi.	48
Şekil 5.2	: Simülasyon algoritması.	49
Şekil 5.3	: Manuel dizgi işlemindeki 21 çoklamalı PCB.	51
Şekil 5.4	: Chip Makinesinden çıkmış 21 çoklamalı PCB.	51
Şekil 5.5	: PCB Kesme makinesinde kesilmiş 3 çoklamalı elektronik kart.	54
Şekil 5.6	: Montaj işleminde tekli elektronik devreler.	54
Şekil 5.7	: Tekrarlama parametreleri.	55
Şekil 5.8	: Üretim sisteminin Arena programındaki simülasyon modeli.	56
Şekil 5.9	: Simülasyon sonuçları -1.	57
Şekil 5.10	: Simülasyon sonuçları - 2.	57
Şekil 5.11	: Yeni Simülasyon Sonuçları -1.	61
Şekil 5.12	: Yeni Simülasyon Sonuçları - 2.	61
Şekil A.1	: Manuel Dizgi Prosesi.	80
Şekil A.2	: PCB Kesme Prosesi.	81
Şekil A.3	: Manuel Lehim Prosesi.	82
Şekil A.4	: Kontrol ve Tamir Prosesi.	83
Şekil A.5	: Montaj Prosesi.	84
Şekil A.6	: Test ve Kasalama Prosesi.	85
Şekil B.1	: Simülasyon Çıktısı - 1.	86
Şekil B.2	: Simülasyon Çıktısı - 2.	87
Şekil B.3	: Simülasyon Çıktısı - 3.	88



ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARINDA SİMÜLASYON YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA

ÖZET

Endüstri 4.0 son yıllarda en çok konuşulan ve hakkında pek çok kaynak bulunan yeni paradigmalardan biridir ve dördüncü endüstri devrimi olarak tanımlanmaktadır. Son yıllardaki gelişmeler ve bazı kilit teknolojilerin yükselişi (sensörler, aktuatörler, bulut bilişim, veri madenciliği gibi) Endüstri 4.0'ı ve beraberinde getirdiği yeni imkânları mümkün kılmıştır. Endüstri 4.0 geniş bir konu olmakla birlikte; siber fiziksel sistemler, akıllı fabrikalar, nesnelerin interneti gibi birçok kavramı da beraberinde getirmiştir.

Endüstri 4.0'ın sağladığı birçok faydanın yanı sıra uygulaması ve tasarımı gibi alanlarda birçok zorluk da bulunmaktadır. Bu zorlukları ortadan kaldırmak ve Endüstri 4.0 uygulamasının faydalarını arttırmak için, bir sistemin simülasyonla modellenmesi, karar vermede literatürde kullanılan kilit yaklaşımlardan biridir ve birçok başka olanak sağlar.

Bu çalışma üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 uygulamaları için simülasyon yaklaşımının sağladığı imkan, fayda ve olanakları mevcut literatür taraması ve bir elektronik imalat sektöründe bir uygulama ile ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Simülasyon yaklaşımı üçüncü sanayi devriminden bu yana kullanılmaktadır. Ancak dördüncü sanayi devriminden sonra ürünlerden, işletmelerden, makinelerden ve cihazlardan toplanan büyük miktarda veri nedeniyle sadece tasarım aşamasında değil sonrasında da etkili ve dinamik olmak zorundadır.

Çalışmada ilk olarak anahtar kelimelerle araştırmanın alanı belirlenmiş ve bir temel araştırma sorusu ve ona hizmet edecek altı alt araştırma sorularıyla birlikte detaya ve yukarıda belirtilen amaca ulaşılmaya çalışılmıştır.

Çalışma boyunca bu sorular ve akabinde temel araştırma sorusu cevaplanmaya gayret gösterilmiş ve örnek olması ve pekişmesi açısından elektronik imalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede simülasyon modellenmesi yapılmıştır.



MAKING USE OF SIMULATION FOR PRODUCTION SYSTEMS IN IMPLEMENTATION OF INDUSTRY 4.0 AND AN APPLICATION

SUMMARY

Industry 4.0 is one of the novel paradigms and the most talking topics in the recent years, there are many resources about it in literature for almost all the industry sector. Industry 4.0 is defined as the fourth industrial revolution, because it provides a wide and new range of possibilities to the Industry. Recent advances and trends of some key technologies such as actuators, sensors, cloud computing and big data analytics make Industry 4.0 possible. Industry 4.0 is a broad subject and there are many concepts related to it for example, cyber physical systems, smart factory and Internet of Things, etc.

Industry 4.0 brings many benefits and challenges, together. In order to eliminate these challenges and increase the benefits of Industry 4.0 implementation, simulation modeling of a system is a one of key approaches using in literature for decision making and provides many other possibilities.

This study aims to state possibilities of using simulation approach for implementing Industry 4.0 in production systems by reviewing literature. Simulation have used in industry since the third industry revolution but it has to be effective and dynamic after the forth industrial revolution due to the huge amount of data collected from products, processes, machines and devices.

The current study started with the investigation of Industry 4.0 paradigm, its technologies and challenges. Then, simulation approach and its types are defined. Literature was also reviewed according to defined literature review methodology, Finally, An application was made on production area by using simulation approach.

The results showed that the simulation approach is very useful to eliminate the challenges of the Industry 4.0 implementation. Furthermore, simulation and new technologies (e.g. Virtual Reality), together, can be used to meet visualization requirements of Industry 4.0. Simulation also provides validation of proposed algorithms for Industry 4.0 implementation.

First and foremost, the main purpose of this study was to explore and understand possibilities of simulation approach for implementing Industry 4.0 technologies in production system. In order to address the research gap and objective, in Section 1.2, the overall research question was formulated and it was divided into six smaller research questions that will serve as guidance during the whole research process. In previous section 5.1, these six research questions have been answered by discussing

the previous sections of this report. Finally, thanks to these six research question, it is possible to answer to the overall research question: What kind of possibilities do the different simulations provide for implementing Industry 4.0 technologies in case of internal production systems/processes?

The thesis starts with a literature review about Industry 4.0 paradigm and simulation approach in order to get to know existing literature related to the topic of the research. Industry 4.0 is still a young research area, even though there is more and more research about it. It was found lots of literature related to Industry 4.0 background, challenges and technologies, and also simulation types and usage area.

In the main part of this study, the literature review and analysis, we obtained the papers related to possibilities provided by simulation for implementing Industry 4.0 technologies from three databases according to the screening criteria. As a result, simulation enables to meet the different challenges of Industry 4.0 technologies. Simulation is the one of the key approach to solve problems related to Industry 4.0 implementation and improve the production system implemented Industry 4.0 technologies. Simulation can be used for adoption of employees and new technologies to the new system in Industry 4.0 era. The simulation helps to safely train workers to correctly use and implement new technologies in real system. Furthermore, simulation provides an opportunity to evaluate and analyse proposed algorithms/programs/methods that are developed to solve many problems related to implementation of Industry 4.0 technologies, such as Big Data analytics, scheduling, production planning and control, evaluating manufacturing effectiveness, etc. without changing the real system. Also, simulation can be used to improve human-machine coproduction for implementation of Industry 4.0 in order to meet the challenge related to organizational and production fit.

It can be said this study has successfully answered the overall research question, although this study is limited to certain amount of articles. The next section will explain what kind of limitations this study has and the future research which can be done about the topic.

In order to know more about simulation for implementing Industry 4.0 technologies, it could be interesting do this research for a certain industry such as automotive industry. This study helps company to be aware importance of simulation approach for implementation of Industry 4.0 technologies and possibilities that simulation provides in Industry 4.0 era, and a lot of space have been left by this study for further research.

1. GİRİŞ

Bu bölümde çalışma sırasında izlenecek yöntem ile araştırmanın kapsamı belirlenerek, temel araştırma sorusu ve ona bağlı olarak geliştirilen alt araştırma soruları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1.1 Araştırma Altyapısı ve Araştırma Alanı

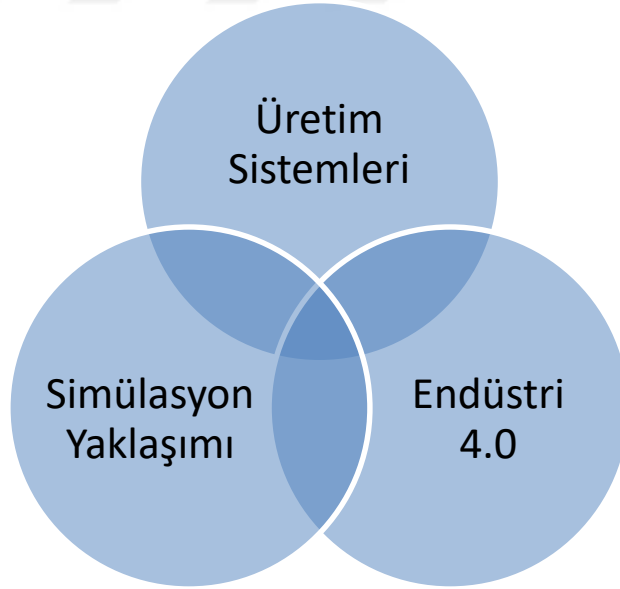
İnternet, bilgisayar ve iletişim dünyasında bir devrimdi. İnternetin benimsenmesi 90'lı yılların ortalarında başladı ve teknolojik ilerleme bu güne kadar çok hızlı bir şekilde devam etti. İnternetin son evrimine yeni bir dünyayı ifade eden Nesnelerin İnterneti (IoT) denir. Nesnelerin İnterneti, neredeyse dünyadaki fiziksel şeylerin (tüm büyük ve küçük şeylerin) birbirine bağlanıp aralarında iletişim kurabileceği anlamına gelir. Ayrıca, internete bağlı bir bilgisayara dönüşebilirler. Günümüzde nesnelerin internet ve bununla birlikte ortaya çıkan yeni teknolojiler (wireless sensor network, big data, cloud computing gibi) üretim çevrelerince Endüstri 4.0 kapsamında uygulanmaya başlamıştır (Wang, Wan, Zhang, Li, & Zhang, 2016).

Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak Alman hükümeti tarafından “Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020 Eylem Planı”nın bir parçası olarak tanıtılmış ve benimsenmiştir. Benzer stratejiler diğer belli başlı sanayi ülkeleri tarafından da farklı isimlerle önerildi, örneğin ABD'de “Endüstriyel İnternet” (2012'de General Electrics tarafından) ve Çin'de “İnternet +” (Wang, Wan, Zhang, Li ve Zhang, 2016). Endüstri 4.0 üretim çevreleri için yeni bir paradigmadır ve yeni imkanlara ve hizmetlere olanak sağlayacak bir dünyanın kapısını açar. Endüstri 4.0'ın özellikleri ve sağladıkları, üretim sistemlerinde verimliliği önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir.

Öte yandan Endüstri 4.0, uygulamada birçok zorluğu da beraberinde getirmektedir. Tüm bu zorluklar başa çıkmak ve bununla birlikte doğru kararlar verebilmek için, büyümeye ve değişmeye devam eden veri yapısına sahip üretim sistemlerinin simülasyonu anahtar yaklaşımlardan biridir.

Üretim sistemlerinde simülasyon yaklaşımını kullanarak Endüstri 4.0 uygulamasının zorluklarını ortadan kaldırmaya çalışan birçok çalışma yapılmıştır, ancak bu çalışmalarla ilgili bir literatür inceleme ve analiz çalışması bulunmamaktadır. (Negahban & Simith, 2013) tarafından üretim sistemlerinin tasarımında simülasyon yaklaşımını üzerine bir literatür çalışması yapılmış ancak bu çalışma sadece kesikli olay simülasyonunu üzerine 2002 - 2013 yılları arasında yayınlanan çalışmaları kapsamakta ve Endüstri 4.0 teknolojileri ve uygulamalarına değinmemektedir. Yine diğer bir çalışmada (Oesterreich & Teuteberg, 2016) tarafından inşaat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulamaları üzerine literatür taraması gerçekleştirilerek ortaya konmuştur. Bu çalışma endüstri 4.0 teknolojilerinden bahsetmesine rağmen simülasyon ana odak noktalarından birini oluşturmamaktadır ve spesifik bir sektöre odaklanmaktadır.

Tüm bu literatür çalışmaları incelendiğinde, üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulaması için simülasyon yaklaşımının sağladığı olanaklar alanında bir araştırma boşluğu olduğu görülmektedir. Bu çalışma ayrıca Endüstri 4.0 ve onunla ilgili konseptlerde (IoT/IIoT, CPS vb.) simülasyon yaklaşımının kullanımına da değinmektedir. Çalışmanın araştırma alanı ve kapsamı Şekil 1.1’de gösterilmiştir



Şekil 1.1 : Çalışmanın kapsamı.

1.2 Araştırma Soruları

Bir önceki bölümde bahsedilen çalışmanın kapsamını (bkz. Şekil 1.1) ele almak için ve tam anlamıyla odaklanmak için aşağıdaki temel araştırma sorusunu ortaya koymak mümkündür;

Simülasyon yaklaşımı üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında ne gibi imkânlar sağlamakta ve hangi alanlarda kullanılmaktadır?

Belirtilen temel araştırma sorusu tüm bu çalışma süresince cevaplanmaya çalışılmış ve araştırma süreci bu soruya odaklanarak yönlendirilmiştir.

Belirlenen bu temel araştırma sorusu çok geniş bir kapsama sahip olduğundan çalışmayı daha disiplinli ve düzenli yürütüp kolaylaştırmak için temel araştırma sorusunu destekleyen bazı spesifik alt araştırma soruları türetilmiştir. Bu alt araştırma soruları bir önceki bölümde belirtilen kapsam ışığında temel araştırma sorusunun cevaplanmasına hizmet edeceklerdir;

- 1) Üretim sistemlerinde kullanılan Endüstri 4.0 teknolojileri nelerdir?
- 2) Üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında ne tür zorluklarla karşılaşmaktadır?
- 3) Simülasyon neden gereklidir ve nerelerde kullanılabilir?
- 4) Simülasyon çeşitleri nelerdir?
- 5) Hangi simülasyon türleri üretim sistemlerinde Endüstri 4.0'ın zorluklarını aşmaya yardımcı olabilir?
- 6) Üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında simülasyon yaklaşımının faydaları nelerdir?

Alt araştırma sorularının belirli bir mantık sırasıyla belirlenmiştir. İlk dört soru mevcut teoriler kullanılarak cevaplanacak, son iki soru literatür taraması ve analizi metodolojisiyle cevaplanacaktır.

Özetle bu çalışma Endüstri 4.0 paradigması ve simülasyon yaklaşımı hakkındadır. İlk olarak Endüstri 4.0 yaklaşımını ve teknolojilerini anlamamız gerekmektedir (Araştırma Soruları-1,2). Bununla birlikte simülasyon yaklaşımının ne olduğunu ve çeşitlerini ortaya koymakta temel araştırma sorusunu cevaplamaya hizmet edecektir (Araştırma Sorusu-3,4). Çalışmanın kapsamıyla ilgili olan temel konuları ele aldıktan

ve irdeledikten sonar simülasyonun üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında ne tür zorlukları gidermeye yardımcı olacağı (Araştırma Sorusu-5) ve akabinde çeşitli, simülasyon yaklaşımlarının ne tür faydalar sağlayabileceği üzerinde durulacaktır (Araştırma Sorusu-6). Tüm bu alt araştırma soruları belirli bir olay örgüsü ve mantık sıralamasında aşağıdaki bölümlerde cevaplanarak temel araştırma sorusunun aydınlatılmasına hizmet edecektir.

1.3 Çalışmanın Yapısı

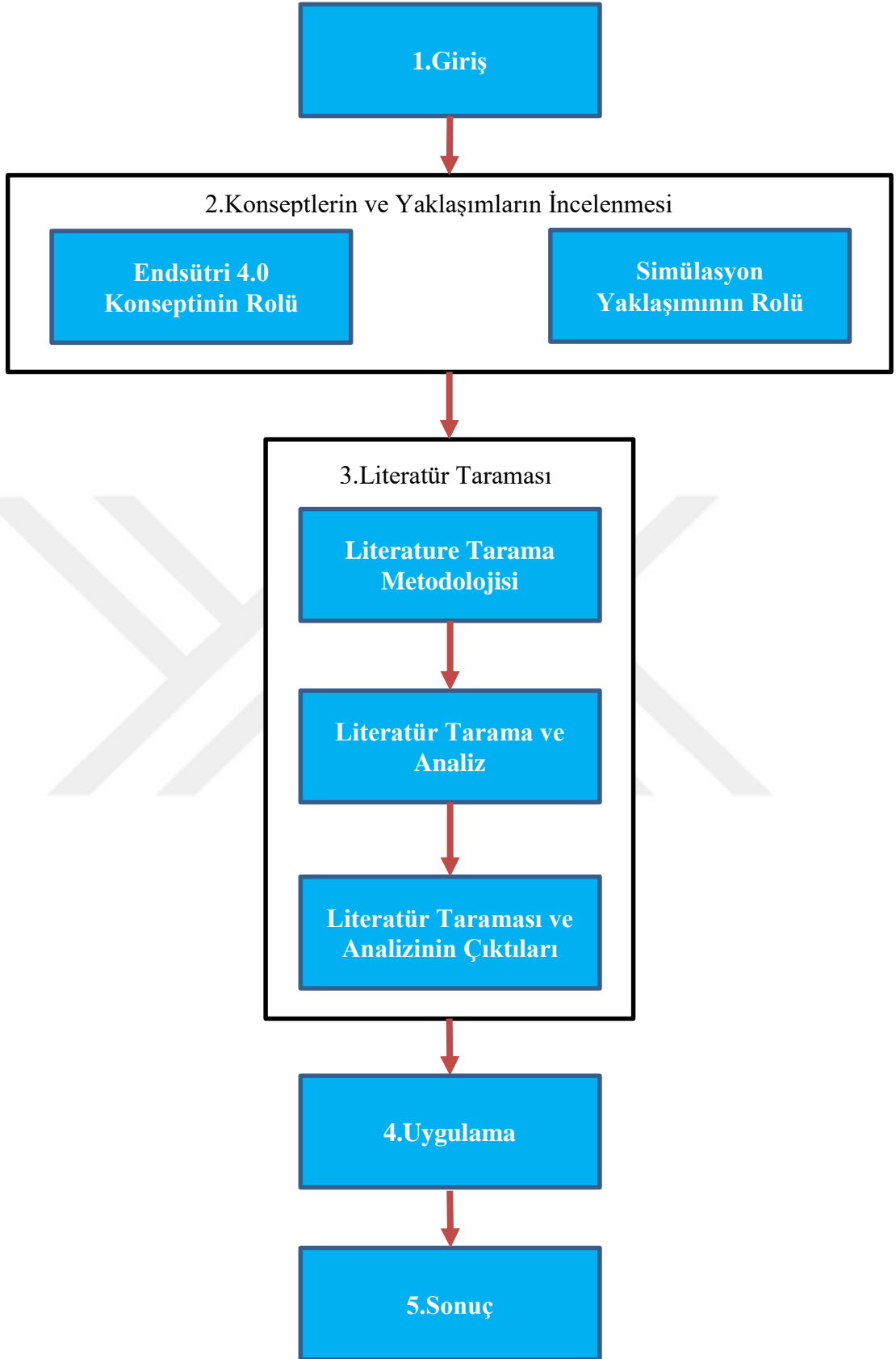
Bu bölümde çalışmanın bütün yapısını ve akışı açıklanmaya çalışacaktır. Genel olarak çalışma dört temel bölüme ayrılabilir; giriş kısmı, konsept ve yaklaşımların incelenmesi, literatür taraması ve analiz, sonuç kısmı ve bir uygulama (Şekil 1.2).

Çalışmanın ilk bölümü giriş bölümüdür. İlk olarak, araştırma geçmişi ve araştırma alanı belirtilmiş ve bu bölümde konuya genel bir bakış sunulmuştur. İkinci olarak, konuyla ilgili araştırma soruları tanımlanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmı iki alt bölüme ayrılabilir. İlk bölüm Endüstri 4.0 kavramını, teknolojilerini ve zorluklarını açıklamaktadır. İkinci bölümde simülasyon yaklaşımı ve genel olarak türleri ve faydaları belirtilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümü literatür taraması bölümüdür, literatür taraması metodolojisi ile analiz bölümü ve sonuçlar bölümü Endüstri 4.0'ın üretim sisteminde uygulanmasına yönelik simülasyon yaklaşımının sağladığı olanakları ve faydaları ortaya koymaktadır.

Son olarak, çalışmanın dördüncü kısmı sonuç ve uygulama kısmıdır. Bu bölüm tüm çalışmanın sonucunu sunar ve önceki bölümleri özetleyerek ve kullanarak tüm araştırma sorularını cevaplamaya çalışır.



Şekil 1.2 : Çalışmanın yapısı.



2. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ

2.1 Endüstri 4.0 Konsepti

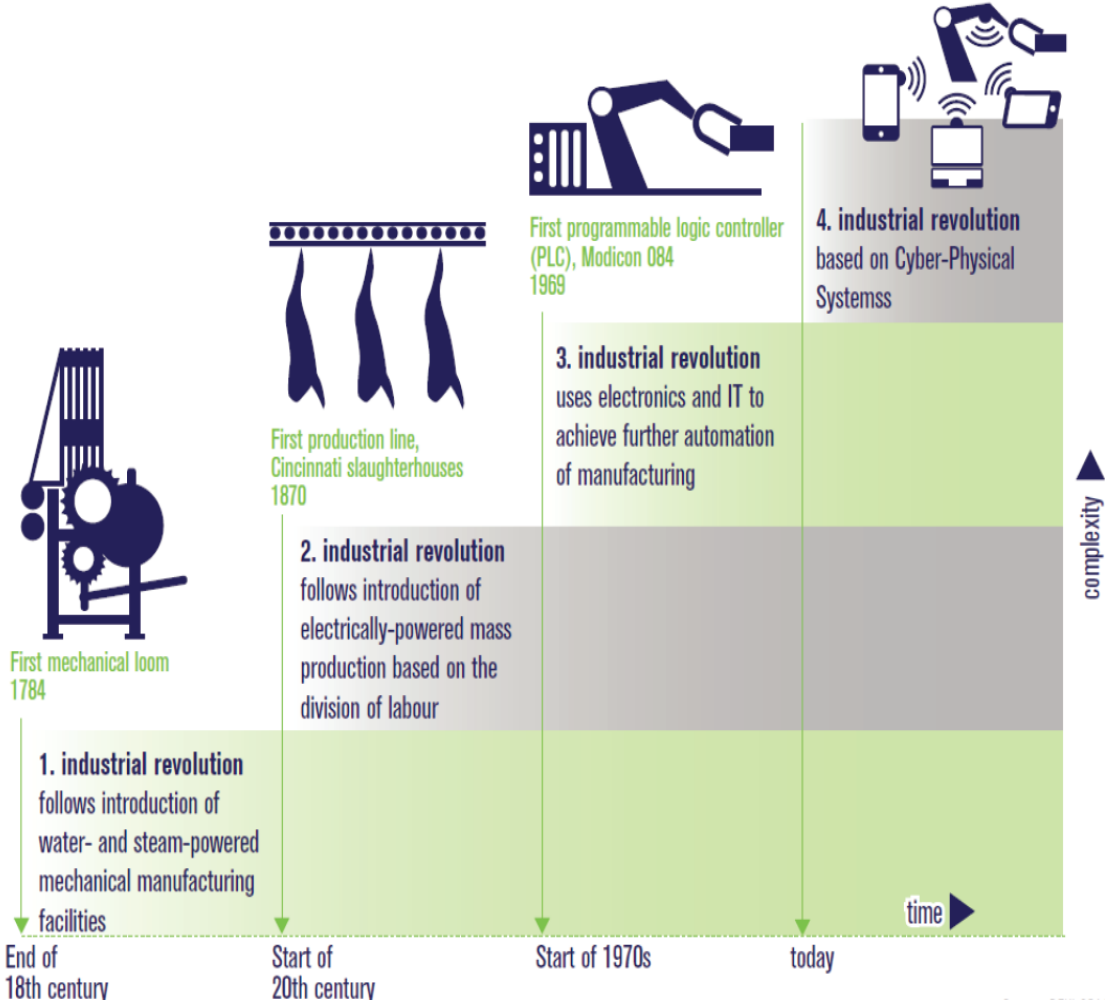
Bu bölümde araştırma sorusu-1 cevaplanmaya çalışılacak ve Endüstri 4.0 paradigması ile onu oluşturan temel bloklar anlatılmaya çalışılacaktır. Aynı zamanda bu bölümde Endüstri 4.0 kavramı tanımlanarak diğer araştırma sorularının cevaplanmasına yardımcı olacak çalışmanın temel kavramlarından biri de açıklanmış ve anlaşılmiş olacaktır.

Endüstri 4.0 (veya Endüstriyel İnternet) terimi dördüncü sanayi devrimi anlamına gelir ve Alman federal hükümeti “Endüstri 4.0” terimini 2011'deki Yüksek Teknoloji stratejisi bağlamında (Rodic, 2017) ortaya atmıştır (Xu ve ark., 2016). Endüstri 4.0 daha ayrıntılı olarak sunulmadan önce, mekanizasyon, elektrik ve Bilgi Teknolojisi (BT) sonucunda ortaya çıkan bundan önceki üç sanayi devrimi kısaca şöyle belirtilebilir (Veza, Mladineo ve Gjeldum, 2016);

- Birinci Sanayi Devrimi; buhar ve su ile çalışan mekanik üretim tesislerinin kullanılmaya başlanması.
- İkinci Sanayi Devrimi; iş bölümüne dayalı elektrikle seri üretimin başlatılması.
- Üçüncü Sanayi Devrimi; üretim otomasyonunu gerçekleştirmek için BT ve elektronik sistemlerin kullanılmaya başlanması.

Dördüncü Sanayi Devrimi, Siber Fiziksel Sistemlerin (CPS) ve Nesnelerin İnternetinin (IoT) üretim ortamına girmesi olarak ifade edilebilir ve bu yeni endüstri türü Akıllı Fabrika modeline dayanmaktadır (Veza, Mladineo ve Gjeldum, 2016). Mekanik / elektrik / dijital yenilikler ilk üç endüstriyel devrimi tetiklerken, İnternet'in ortaya çıkışı ve Siber Fiziksel Sistemlerde (CPS) insanlar ve makineler arasındaki iletişimi kolaylaştırması Endüstri 4.0'ı tetiklemiştir (Xu ve diğerleri, 2016).

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan Dördüncü Sanayi Devrimi ve ondan önce gerçekleşmiş diğer üç sanayi devriminin gelişimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Sanayi devrimlerinin gelişimi.

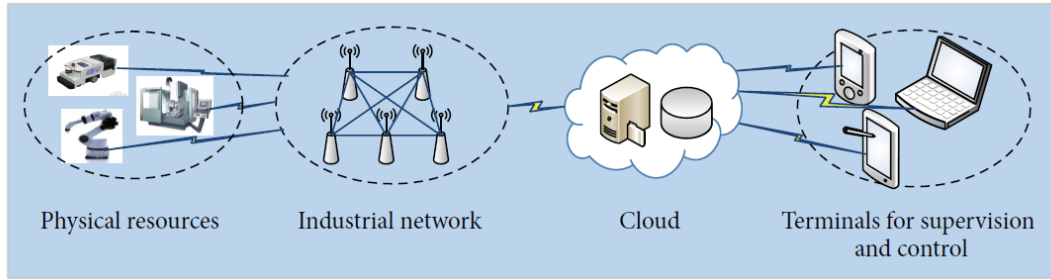
CPS yeni nesil gömülü Bilgi ve İletişim Teknolojisi (ICT) sistemleridir. Network ağ yapısı ve bilgisayar temelli hesaplamaların entegre halidir. Bu sayede değişkenleri ve dinamikleri yönetip kontrol edebilmekte daha güvenli, daha güvenilir, verimli ve uyarlanabilir sistemler sağlamaktadırlar.

Nesnelerin İnterneti, fiziksel nesnelerin birbirine bağlandığı ve akıllı hale geldiği vizyondur. Böylece, yalnızca çevreye ve diğer nesnelere veri göndermez, aynı zamanda çevreden ve diğer nesnelere de veri alabilirler (Atzori, Iera ve Morabite, 2010).

Endüstri 4.0, günümüzde zorlukların üstesinden gelebilmek için, yeni bilgisayar temelli hesaplamalara ve internet temelli teknolojilere (cloud manufacturing, nesnelerin internet, siber fiziksel sistemler, dijital ve sanal gerçeklik vb.)

odaklanmaktadır (Caggiano & Teti, 2018). Ayrıca, (Kolberg ve Zühlke, 2015) 'e göre “Endüstri 4.0, otonom olarak kontrol edilen dinamik bir üretim ortamı sağlayarak değer zincirlerinin optimizasyonunu amaçlamaktadır.”

Endüstri 4.0 uygulamaları, aktüatörler (kontrol elemanları), dijital ve ağ erişimi olan sensörler, makine-insan ara yüzünü oluşturan tabletler, bulut bilişim, simülasyon modellemesi gibi birçok konsept ve teknolojiye ihtiyaç duyar (Rodic, 2017). Bu konseptler ve teknolojiler gerçek zamanlı bilgiye ve iletişim ara yüzüne erişimi sağlamaktadır. Böylece Siper Fiziksel Sistemler otonom bir şekilde işleyebilmekte ve üretim çevresiyle etkileşim halinde olmaktadır. Tüm bunların sonucunda ‘akıllı fabrikalar’(smart factory) oluşmaktadır (Kolberg & Zühlke, 2015). Akıllı fabrikaları oluşturan temel yapılar Şekil 2.2’de belirtilmiştir (Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016).



Şekil 2.2 : Akıllı fabrikaları oluşturan temel yapılar.

KOBİ’ler (Küçük Orta Büyük İşletmeler) için Endüstri 4.0’ın temel faydaları (Gilschrist, 2016) tarafından özetle aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

- *İşletmelerin rekabet edebilme kabiliyetlerinin ve esnekliklerinin artmasıyla işletmeler dinamik bir yapı kazanır (Mrugalska & Wyreicka, 2017).*

Endüstri 4.0 küçük işletmelere büyük şirketlerin getirdiği zorluklara karşı birlikte çalışabilme imkânı sunar.

- *Verimlilik artışı*

Operasyonel maliyetlerin azalması ve verimliliğin artması, karlılığın artmasına yol açar. Bu aynı zamanda üretkenliğin de artması anlamına gelmektedir.

- *Gelir Artışı*

Endüstri 4.0’ın uygulanması önemli bir yatırıma ihtiyaç duysa da, gelir seviyelerinin iyileştirilmesinde ana etkenlerden biridir.

- *Artan istihdam fırsatı ve gelişmiş insan ve bilgi teknolojileri yönetimi*

Veri bilimi, mekanik ve teknik işçilik ve mühendislik alanında yetkin işgücüne ihtiyaç artacağı için istihdam oranı da artacaktır.

- *Üretim süreçlerinin optimizasyonu*

Bilgi Teknolojisi ve Operasyonel Teknoloji sistemlerinin entegrasyonu, endüstriyel süreçlerin geliştirilmesine olanak tanır ve karar vermenin de gerçek zamanlı olmasına olanak tanır.

- *Teknolojideki eksponansiyel gelişmeler*

Endüstri 4.0, gelişen teknolojilerle daha fazla yeniliğe yol açar.

- *Daha iyi bir müşteri hizmetleri deneyimi sunar*

Gerçek zamanlı çalışan endüstriyel yöntemler ve konseptler Endüstri 4.0 için izleme ve geri besleme mekanizması sağlarlar. Bu durum karar vericilerin daha sağlıklı kararlar almalarına, mevcut durumun farkına varmalarına ve müşteri ihtiyaçlarına ve endüstriyel süreçlere daha hızlı yanıt vermelerine olanak tanır.

Ayrıca Endüstri 4.0, iş-yaşam dengesi, düşük kişisel maliyet ve düşük enerji maliyetleri ile yüksek ücret ekonomisi, özel sektöre özgü çözümler, müşterilerin ihtiyaçlarını bireysel olarak anlama, kaynak üretkenliğini ve verimliliğini artırma gibi büyük bir potansiyele sahiptir (Mrugalska & Wyreicka, 2017).

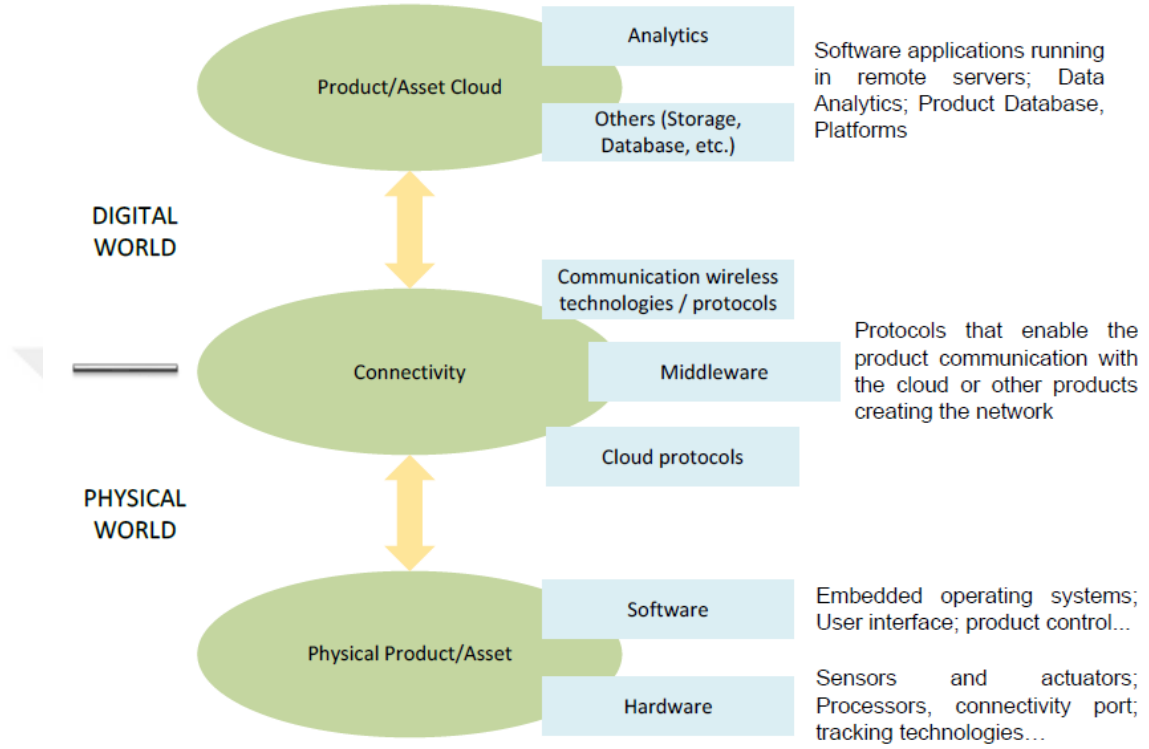
2.2 Üretim Sistemlerinde Endüstri 4.0 Teknolojileri

Bu bölüm önceki bölümde belirtilen birinci alt araştırma sorusunu cevaplamaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 ile ilgili temel teknolojiler hakkında bilgi verilmektedir.

Endüstri 4.0 ile ilgili ya da ona imkân sağlayan teknolojilerle ilgili kesin bir fikir birliği bulunmamaktadır. Şöyle ki, bazı akademik çalışmalar (Kang *et al.*,2016) gibi Siber Fiziksel Sistemleri (CPS) bir teknoloji olarak sunarken, diğer bazı makaleler (Ehret & Wirtz, 2016) gibi onu Endüstri 4.0 ile ilgili temel ve küresel bir kavram olarak

görürler. Konuyla ilgili çoğu makalede belirtildiği gibi bu çalışmada da Siber Fiziksel Sistemler Endüstri 4.0 ile ilgili temel bir konsept olarak kabul edilmiştir.

Montes (2017) tarafından, Endüstri 4.0 teknolojilerinin, mevcut bir çalışmadan uyarlanarak olası bir sınıflandırması yapılmış ve Şekil 2.3'de ifade edilmiştir.



Şekil 2.3 : Endüstri 4.0 teknolojileri ve sınıflandırılması.

Belirtilen çalışmada Endüstri 4.0 teknolojileri üç ana sınıfta toplanmıştır; Ürün/Varlık Bulutu (Product Asset Cloud), Bağlantı ve Fiziksel Ürün/Varlık. Fiziksel ürün / varlık; sensörler, aktüatörler, takip teknolojiler ve gömülü işletim sistemleri gibi teknolojileri içerir. Bağlantı katmanı, bulut network protokolleri gibi iletişim teknolojilerini barındırır. Sonuncusu Ürün/Varlık Bulutu sunucu, veri analitiği, database depolama gibi teknolojileri kapsar.

Yukarıdaki gibi sınıflandırılabilen Endüstri 4.0 teknolojileri daha iyi anlaşılması açısından detaylı olarak wireless sensör network (WSN), aktüatörler, RFID (Radio Frequency Identification,) ara katman (middleware), büyük veri (big data), ileri analitik ve bulut bilişim (cloud computing) sırasıyla aşağıdaki şekilde açıklanabilir;

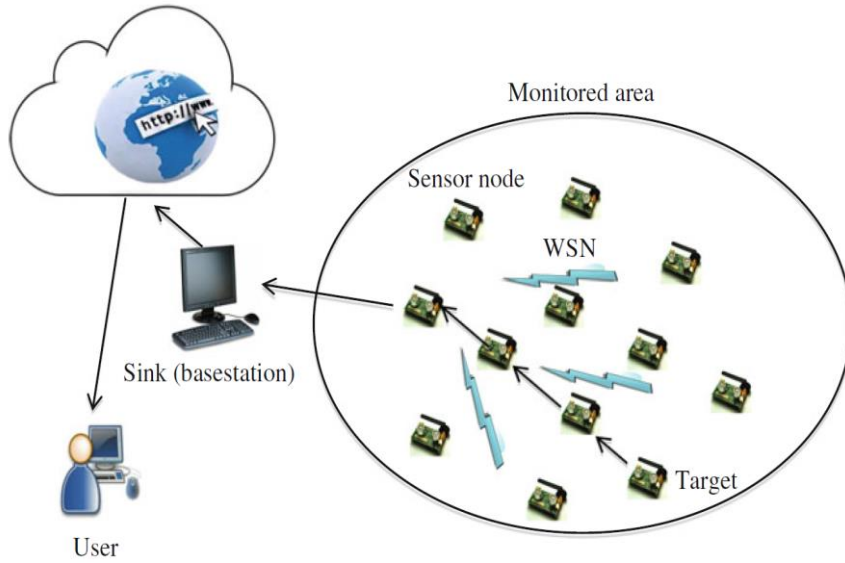
Kablosuz Sensör Ağı (Wireless Sensor Network -WSN);

Sensörler, nem, titreşim, miktar, sıcaklık vb. gibi üretim sisteminin parametrelerini izleyen cihazlardır. Sensörler ayrıca üretim sisteminin durumu ve içeriği hakkında veri oluşturur (Montes, 2017) (Ehret & Wirtz, 2016).

Sensörler, cihazlar (fiziksel dünya) ile dijital dünya (örneğin İnternet) arasında bir bilgi arayüzü oluşturur ve köprü görevi görür (Ehret & Wirtz, 2016).

Son zamanlarda gelişmiş kablosuz iletişim teknolojilerinde, çoklu sensörler (sensör düğümleri) kablosuz olarak birlikte kullanılır ve aralarında iletişim kurarak Wireless Sensör Network'ü (kablosuz sensör ağı - WSN) oluştururlar. Wireless Sensör Network Endüstri 4.0 uygulamaları için önemli ve kilit bir rol oynamaktadır. Ancak Wireless Sensör Networkleriyle ilgili bazı temel zorluklar vardır, bunlar; ölçeklenebilirlik, güvenilirlik, sağlamlık ve enerji verimliliği olarak sıralanabilir (Montes, 2017).

Wireless Sensör Network'ü oluşturan yapıları ve ana mimarisi Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Wireless sensör network mimarisi.

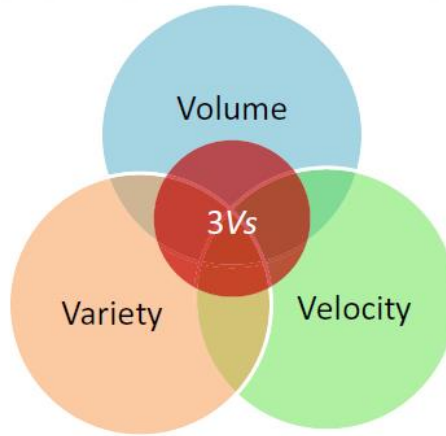
Aktüatörler;

Aktüatörler, hareketi ve değişimi yönlendiren otomatik sistemlerin bileşenleridir (Ehret ve Wirtz, 2016). Aktüatörler çevreyi etkilemek için eylemler gerçekleştirirken sensörler ortamın veya ürünlerin özelliklerini izler. Sensörler genellikle aktüatörlerle birleştirilir. Buna sensör-aktüatör ağları denir (Montes, 2017).

Aktüatörler, komuta sinyallerini fiziksel etkilere dönüştürebilir ve üretim sisteminde değişiklik yapabilir; örneğin, lazer kesim, robot hareketleri... gibi. Aktüatörler (örn. İnternet bağlantılı aktüatörler) operatörlere sadece üretim sistemlerini ve bazı üretim süreçlerini uzaktan kontrol etmekle kalmaz, aynı zamanda uzaktan bakım ve onarım faaliyetlerini yürütme imkânı verir (Ehret ve Wirtz, 2016).

Büyük Veri ve İleri Analitik;

Büyük (terabaytlardan exabyte'a) ve karmaşık (sensörden sosyal medyaya) yapıdaki geleneksel veri tabanları ve işleme araçlarıyla yönetilemeyecek veri “büyük veri” olarak adlandırılmaktadır (Kang vd., 2016). Çok sayıda cihaz, sensör ve kablosuz teknolojilerdeki (düşük maliyet, minyatürleştirme, vb.) gelişmeler nedeniyle Endüstri 4.0 uygulamaları da sürekli veri üretir. Bu veri kümelerinin boyutu geleneksel ölçeklerin ötesindedir. Ayrıca, geleneksel veri tabanı teknolojisi için bu büyük veriyi toplamak, yönetmek, depolamak ve analiz etmek de zordur (Gilschrist, 2016). (Laney, 2001) 'e göre, verilerin büyük veri olabilmesi üç V'ye sahip olması gerekir: Volume (Hacim), Velocity (Hız) ve Variety (Çeşitlilik). (Laney, 2001) 'nin Üç V'si Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Microsoft bu 3V'ye yeni 2 tane daha V eklemiştir; Value (Değer) ve Veracity (doğruluk) (Buyya, Calheiros ve Dastjerdi, 2016).



Şekil 2.5 : Büyük verinin 3V'si.

Temel sorun, potansiyel bilgi ve bilgiye ulaşmak için çevre, ürünler ve makineler tarafından üretilen bu büyük, karmaşık ve yapılandırılmamış verilerin nasıl ele alınacağıdır. Bu sorunu çözmek için analiz, arama, depolama, aktarma, paylaşma, toplama vb. ile ilgili teknik ve özel yöntem ve sistemlere ihtiyaç vardır. Endüstriyel kuruluşlarda modelleme ve tahminleme neticesinde doğru sonuçlar alınabilmesi için üretim proseslerinden elde edilen bu büyük verinin etkili bir şekilde analiz edilmesine

görselleştirilmesine ve verilerin paylaşılmasına ihtiyaç vardır (Kang, ve diğerleri, 2016).

Veri Analitiği bu büyük miktarlardaki verinin barındırdığı potansiyelin analiz edilip bilgiye dönüştürülmesini ve tahminleme yapılarak doğru karar alınmasını mümkün kılar. Örneğin, üretim sistemlerine tahmine dayalı analitik uygulandığında arızaların tahmininin kolaylaştırılması beklenmektedir. Böylelikle arıza kaynaklı beklentilerden oluşabilecek israflar, aşırı üretim, fazla stok, taşıma ve üretim hataları önlenerek maliyetler düşürülebilecektir (Ustundag & Cevikcan, 2018) (Gilschrist, 2016).

Önleyici analitikten sonra, bir sonraki adım, tanımlanan bir soruna çözüm sunan kuralcı analitiktir. Kuralcı analitik uygulamak için gelişmiş veri analizi ve algoritmaları gereklidir (Gilschrist, 2016).

Bulut Bilişim (Cloud Computing);

Üstündağ ve Çevikcan (2018) bulut bilişimi aşağıdaki gibi tanımlar (Ustundag & Cevikcan, 2018);

“Bulut bilişim, hizmet sağlayıcı ve müşteri arasındaki hizmet düzeyi anlaşmalarına dayalı olarak çalışan birbirine bağlı ve sanallaştırılmış bilgisayarlardan oluşan, gelişmekte olan paralel ve dağıtılmış bir sistemdir.”

Bulut bilişim, şirketleri temel donanım ve yazılım altyapılarını kurmak için gerekli olan yatırımdan kurtarır ve şirketlere önemli avantajlar sağlar. Üretim sistemlerinde IoT ve bulut bilişim birlikte, makineden makineye (machine to machine-M2M) akıllı iletişimi ve algıyı sağlayarak kaynakların en etkili şekilde kullanımına olanak tanır. Böylelikle bulut bilişim beklemeden kaynaklı israfları ortadan kaldırmaya, üretim ekipmanlarının verimli kullanımına, gereksiz hareket ve proseslerinde giderilmesine katkı sağlar (Ustundag & Cevikcan, 2018). Üretim endüstrisinde, bulut bilişim (cloud computing) terimi genellikle bulut üretim (cloud manufacturing) olarak adlandırılır (Kang et al., 2016).

Bulut bilişimin dört tip modeli olduğundan söz edilebilir (Mell & Grance, 2011);

- *Özel Bulut (Private Cloud)*

Tek bir kuruluşa özel altyapının kullanıldığı bulut yapısıdır. Kuruluşun kendisi, üçüncü parti ya da bunların kombinasyonu altyapıya sahip olup onu yönetebilir ve işletebilir.

- *Community Cloud*
Bulut altyapısının belirli müşteriler veya ortaklar tarafından paylaşılabilir olduğu durumdur.
- *Public Cloud*
Bulut altyapısının herkes ile paylaşılabilir olduğu durumdur.
- *Hibrit Cloud*
Hibrit bulut yukarıda açıklanan iki ya da daha fazla modelin kombinasyonundan oluşan yapıdır.

Bulut bilişim hizmet olarak üç farklı kategoride ele alınır (Gilschrist, 2016);

- *Hizmet Olarak Altyapı (Infrastructure as a Service - (IaaS))*
IaaS KOBİ'ler için gerçekten ilgin çekici bir modeldir. Çünkü KOBİ, veri merkezi veya sunucu odası kurmak ve donanım satın almak yerine bir sağlayıcıdan depolama, bilgi işlem ve ağ kiralayabilir. Bu yapıda KOBİ sadece kullandıkları kadar ödeme yapar.
- *Hizmet Olarak Platforma (Platform as a Service - (PaaS))*
PaaS sadece altyapı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda yazılım geliştirme dillerine, kütüphanelere vb. erişimi de sağlar.
- *Hizmet Olarak Yazılım (Software as a Service - (SaaS))*
SaaS, yazılıma erişmenin yeni bir yoludur. Kullanıcılar, uygulamanın bir kopyasını barındıran yerel bir özel sunucuya erişmek yerine bir web servis tarafından sağlanan web sunucusu aracılığıyla uygulamaya erişebilir.

Sonuç olarak, bulut bilişim, üretim sistemi tarafından üretilen büyük miktarda veriyi (Büyük Veri) işlemek için sektöre çözüm sunmaktadır. Bu nedenle bulut, Endüstri 4.0 için önemli bir teknolojidir.

Ara Katman (Middleware);

Middleware, aktüatörler, sensörler vb. gibi büyük miktarlarda veri üreten endüstriyel internet donanımını, bu verileri analiz için kullanan uygulamalara bağlayan katmandır. Böylece, farklı uygulamalar ve farklı iletişim protokolleri kullanan nesnelere arasındaki iletişim ara katman yazılımı tarafından kolaylaştırılmış olur (Montes, 2017).

IoT ara katman yazılımı için (Bandyopadhyay, Sengupta, Maiti ve Dutta, 2011) tarafından beş fonksiyonel bileşen tanımlanmıştır;

- Birlikte çalışabilirlik
- Bağlam algılama
- Cihaz keşfi ve yönetimi
- Güvenlik ve gizlilik
- Veri hacmini yönetme

Birlikte çalışabilirlik, bileşenlerin veri alışverişi ve bağımsız olarak geliştirilen bileşenlerin birbirleriyle etkileşim ve işbirliği yapma yeteneğidir.

Bağlam, bir varlığın durumunu karakterize etmekten sorumludur. Varlık, bir uygulama ile kullanıcı arasındaki etkileşimle ilgili nesne, yer veya kişi olabilir. Bağlam algılama, verileri ve yanıtı etkileyen faktörleri toplar.

Cihaz keşfi ve yönetimi, IoT ağındaki cihazların komşu cihazlarını bulmasını sağlar ve daha sonra ağdaki her cihaz birbirini tanır.

Çok miktarda veriyi yönetmek, IoT middleware yazılımının önemli bir parçası ve fonksiyonudur.

RFID (Radio Frequency Identification);

RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisi, bir veya daha fazla okuyucu ve birkaç RFID etiketinden oluşur. RFID etiketleri, modülde bir antene bağlı küçük bir mikroçiptir (Atzori, Iera ve Morabite, 2010). RFID, elektromanyetik alanlar üzerinden kablosuz olarak iletilebilen elektronik bilgileri içerir (Gilschrist, 2016).

Üç farklı RFID etiketi türü vardır:

- *Pasif RFID etiketleri*

Pasif RFID etiketi, bilgilerini iletmek için pil ile beslenmeyen, en yaygın kullanılan türdür. Pasif RFID etiketleri, RFID okuyucudan iletilen sinyalin gücünü kullanır.

- *Yarı pasif RFID etiketleri*

Pil, okuyucudan sinyal alırken mikroçipe güç verir.

- *Aktif RFID etiketleri*

Pil, mikroçip ve sinyale güç sağlar. Aktif RFID etiketlerinin maliyeti diğer etiketlerden daha yüksektir ve bu da uygulanabilirliğini azaltır. Bu nedenle maddi değeri yüksek nesnelere izlemek için uygulanırlar örneğin konteyner gibi (Gilschrist, 2016).

RFID teknolojilerinin birçok avantajı vardır. Barkod teknolojisine kıyasla okuyucu ile doğrudan temas veya okuyucu ile etiket arasında bir görüş hattına ihtiyaç duymazlar. Sinyal gücü ayarlanarak birden çok etiket aynı anda okutulabilir (Gilschrist, 2016).

2.3 Üretim Sistemlerinde Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Uyarlanmasıdaki Zorluklar

Bu bölüm ikinci araştırma sorusunun cevaplanmasına yardımcı olur ve bir önceki bölümde tanımlanan Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim sistemine uygulanmasındaki zorlukları anlatılmaktadır. Bu bölüm aynı zamanda Endüstri 4.0 uygulamasının zorluklarını anlatarak beşinci ve altıncı araştırma sorularının cevaplanmasına yardımcı olur, çünkü simülasyon bu zorlukların bazılarının ortadan kaldırılması için kullanılabilir.

(Müller, Kiel, & Vigt, 2018) Endüstri 4.0'ın getirdiği zorlukları aşağıdaki gibi üç ana başlıkta ifade etmiştir;

- Rekabetçilik ve Sürdürülebilirlik
- Organizasyon ve üretime uygunluk
- Çalışanların nitelikleri ve kabulü

Bu maddeler aşağıda açıklayalım:

Rekabetçilik ve Sürdürülebilirlik;

Endüstri 4.0, oldukça dinamik bir rekabet ortamında gerçekleşmektedir. Ayrıca, Endüstri 4.0 tamamen yeni ve farklı endüstriler yaratır, endüstri sınırlarını yeniden şekillendirir ve mevcut şirketleri yeni rekabet koşullarına maruz bırakır. Örneğin, yeni rakipler iletişim kurabilen ve akıllı ürün çözümlerini veya tamamen yeni iş modellerini piyasaya sürerek kurulu şirketlerin mevcut pazar konumunu tehdit etmektedir.

Yeni rakiplerin pazara girişinin kolaylaştırılması ve gittikçe artan rekabet dinamikleri, Endüstri 4.0 çağının en önemli zorlukları arasında yer almaktadır.

Ayrıca, Endüstri 4.0'daki dijital bağlantı, çevrimiçi platformlar tarafından kolaylaştırılan şeffaf iş ekosistemleri ile sonuçlanır. Bu nedenle, yüksek düzeyde şeffaflık, şirketleri siber saldırılar, veri güvenliği (erişim ve haklar) ve endüstriyel casusluk riskine maruz bırakmaktadır, çünkü Endüstri 4.0 büyük ölçüde internet tabanlı ve çevrimiçi teknolojilere dayanmaktadır.

Organizasyon ve üretime uygunluk;

Endüstri 4.0'ın uygulanması, şirket büyüklüğü veya farklı üretim yapıları gibi değişen üretim ve organizasyon senaryosu için özel olarak planlanmalıdır.

Eğer işletmeler Endüstri 4.0'ı birbirine entegre olmayan, uyumluluk analizi yapılmamış teknolojiler şeklinde uygularsa, mevcut üretim süreçleri ve ekipmanları ile senkronizasyon ve koordinasyon, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler) için yüksek maliyetlere ve karmaşıklık seviyelerine yol açabilecektir.

Çalışanların nitelikleri ve kabulü;

Yeni kavramlara ve Endüstri 4.0 teknolojilerine yaklaşmak için çalışanların kalifiye olması gerekir. Ayrıca, işletmeler şu niteliklere sahip çalışanlara sahip olmalıdır; öğrenme isteği, sosyal ortamlarda yaratıcı problem çözme, web teknolojilerini anlama, veri analizi ve işleme ve pratik çözüm bulma becerisi. Bu nitelikleri geliştirmek işletmeler için aşılması gereken büyük bir zorluktur.

Bu konuda başka bir zorluk, Endüstri 4.0 teknolojilerinin çalışanlar tarafından benimsenmesidir. Çalışanların insan-makine etkileşim sisteminde işyeri güvenliği, veri şeffaflığı ve teknik destek sistemlerine bağımlılık konusundaki düşünceleri, yeni bir teknolojinin uygulanmasında önemli rol oynamaktadır. Endüstri 4.0'a özgü çalışan niteliklerine ulaşmak, Endüstri 4.0 çağında bir başka zorluktur.

Endüstri 4.0'ın uygulanmasındaki teknik zorluklar (Wang, Wan, Li ve Zhang, 2016) tarafından aşağıdaki şekilde belirtilmiştir;

- *Akıllı karar verme ve müzakere mekanizması*

Günümüzde akıllı makineler ek sosyalite ve özerklik yeteneklerine sahip olmalıdır. Dahası, akıllı makineler kendi başlarına kararlar verebilir olmalıdır.

- *Yüksek hızlı endüstriyel kablosuz ağ (Industrial Wireless Network-IWN) protokolleri*

- *Üretim sistemine özgü büyük veri ve onun analitiği*

Geneli kapsayan büyük veri ve bulut bilişim yerine üretim sistemine has özellikleri içeren büyük veriye odaklanılmalıdır. Cevaplanması gereken temel sorular hangi verilerin toplanması gerektiği, bu verilerin nasıl toplanabileceği, verilerin nasıl analiz edileceği ve verilerin ne anlama geldiğidir.

- *Sistem modelleme ve analizi*

Kaos neden olacak beklenmedik durumlardan kaçınmak için üretim sistemini modellemeli ve uygun kontrol yöntemlerini belirleyerek analizi sonuçlandırmalıyız.

- *Siber ve mülkiyet güvenliği*

Ticari stratejiler, tedarikçiler, know-how ve müşteri hakkındaki çeşitli bilgiler, şirketler için büyük zararlara yol açabilecek bilgisayar korsanları gibi tehditlere karşı korumalıdır.

- *Modüler ve esnek yapılar*

Üretim yöntemlerini dinamik olarak yeniden yapılandırabilecek akıllı ve modüler sistemler geliştirmeliyiz. Akıllı kontrolörlere sahip modüler üniteler, yeni makinelerin sisteme kolayca uyarlanmasını sağlayacaktır.

Bu zorlukları ortadan kaldırmak ve Endüstri 4.0 uygulamasının faydalarını arttırmak için, bir sistemin simülasyonla modellenmesi, sonraki bölümlerde ifade edileceği gibi karar vermekte kullanılan temel yaklaşımlardan biridir ve birçok başka iyileşmeye olanak sağlar.



3. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE SİMÜLASYON YAKLAŞIMININ ROLÜ

3.1 Simülasyon Yaklaşımı

Bu bölüm üçüncü araştırma sorusunu cevaplamaya yardımcı olacaktır. Bu bölümde literatürde tanımlanan simülasyon yaklaşımı, uygulama alanı ve uygulama adımları anlatılacaktır.

Literatürde simülasyonun birçok tanımı vardır. Kısaca, simülasyon, gerçek sistem veya sürecin zaman içindeki davranışının temsilidir (Banks, Carson II, Nelson ve Nicol, 1984). Simülasyon yaklaşımı performans ölçümlerini tahmin etmek, “eğer böyle olsaydı ne olurdu?” sorularına cevap vermek için kullanılmıştır. Ayrıca simülasyon, karmaşık sistemleri, özellikle üretim sistemlerini analiz etmek, tasarlamak ve optimize etmek için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır.

Simülasyonun birçok uygulama alanı vardır. Örneğin (Altiok ve Melamed, 2001);

- Üretim süreçlerinde, malzeme elleçleme, nakliye işlemlerinde ve envanter sistemlerinde bir dizi performans ölçüsünün belirlenmesinde
- Boşta kalma süresini azaltmanın yollarını bulmayı amaçlayan sağlık hizmetleri, havaalanı, bankacılık ve finansal işlemler ve lojistik sistemleri gibi işletme ve sistem koşullarının değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi.
- Önerilen askeri operasyonların fizibilitesinin değerlendirilmesi
- Öğrencileri ve uygulayıcıları eğitmek (Singh, 2009)

Simülasyon yaklaşımının kullanım amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Banks, Carson II, Nelson ve Nicol, 1984):

- Karmaşık bir sistemin veya karmaşık sistem içindeki bir alt sistemin iç etkileşimlerinin araştırılması.
- Bilgisel, örgütsel ve çevresel değişikliklerin modelin davranışı üzerindeki etkisini gözlemlemek.

- Simülasyon çalışması sırasında elde edilen bilgilerle analiz edilen sistemin iyileştirilmesine katkıda bulunmak.
- Simülasyon girdilerini değiştirerek ve sonuçları inceleyerek hangi değişkenlerin daha önemli olduğunu ve değişkenlerin birbirini nasıl etkilediğini gözlemlemek.
- Analitik çözümlerin doğrulanması.
- Yeni tasarımların ve stratejilerin gerçek sisteme uygulanmadan önce sistem üzerindeki etkilerinin gözlenmesi.

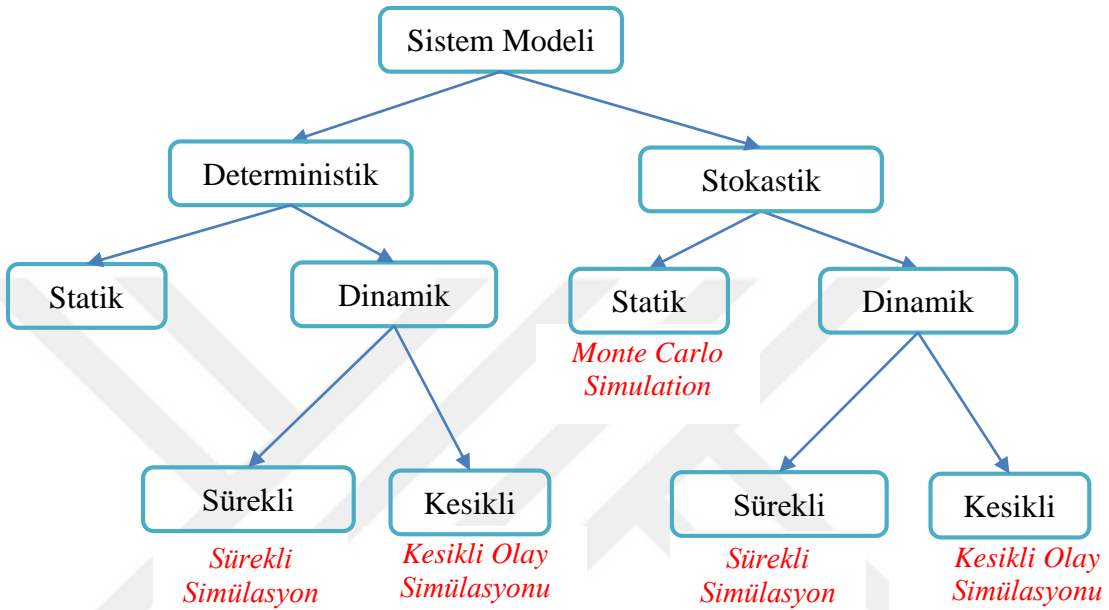
Simülasyon modeli oluşturulurken temelde izlenecek sekiz adım aşağıdaki gibi listelenebilir (Altiok & Melamed, 2001);

- 1) *Problem analizi ve bilgi toplama:* Analist sistemi ve sistemin problemini anlamaya çalışır. Daha sonra bir çözüm haritalandırması gerçekleştirir.
- 2) *Veri toplama:* Analist, model girdi parametrelerini tahmin etmek için sistemle ilgili verileri toplar.
- 3) *Modelin kurgulanması:* Analist bir model oluşturur ve onu bir bilgisayar programında uygular.
- 4) *Model doğrulaması:* Model doğrulamasının amacı, modelin doğru bir şekilde oluşturulduğundan emin olmaktır.
- 5) *Model validasyonu:* Modelin gerçek hayat sisteminin ölçümüne uygunluğu incelenir.
- 6) *Simülasyon deneyleri tasarlama ve yürütme:* Analist, model performansını tahmin etmek ve sistemin sorunlarını çözmek için bir dizi simülasyon deneyleri tasarlar.
- 7) *Çıktı analizi:* Elde edilen performans metrikleri istatistiksel ve mantıksal olarak analiz edilir.
- 8) *Nihai tavsiyeler:* Analist, problemin için çıktı analizini kullanarak nihai sistemi ve çözümü formüle eder.

3.2 Simülasyon Modelleri

Bu bölüm literatürde tanımlanan farklı simülasyon modelleri tanımlanarak dördüncü araştırma sorusunu cevaplamaya yardımcı olacaktır.

Literatürde çeşitli simülasyon modeli sınıflamaları mevcuttur. Bunlardan biri Şekil 3.1'de özetlenmiştir.



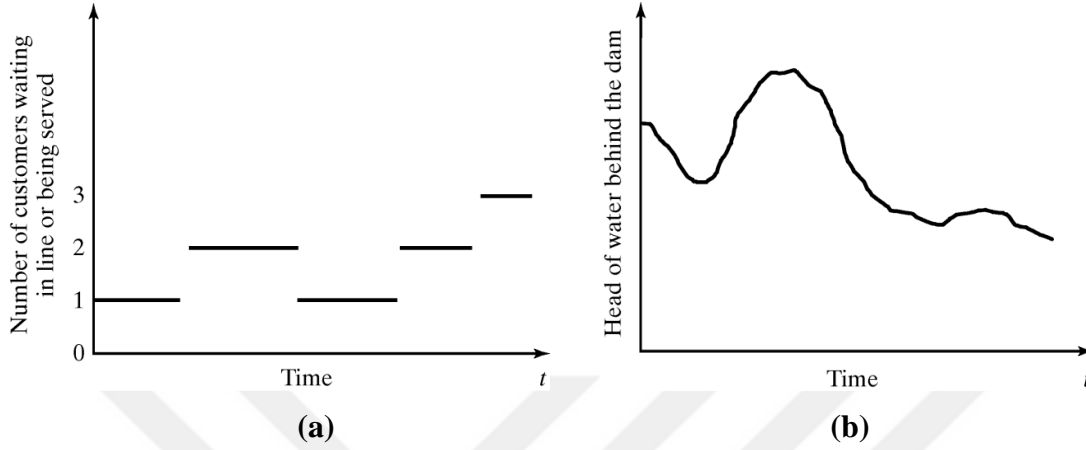
Şekil 3.1 : Simülasyon modelleri.

Bir model, modellenen sistemin belirli davranışsal yönlerini yakalamak için tasarlanmıştır (Altiok & Melamed, 2001). Deterministik simülasyon modeli stokastik parametre içermez. Sağlanan bir girdi seti ile bir çıktı seti sağlar. Stokastik olmadığı için, her zaman aynı sonuçları verir (aynı girdi setini sağlamanız koşuluyla). Stokastik simülasyon modeli, en az bir stokastik parametre içerir, rastgele çıktı sağlar ve sistemin istatistiksel özelliklerini tahmin eder (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 1984).

Statik simülasyon modelleri, sistemin durumunu belirli bir zamanda temsil eder. Monte-Carlo Simülasyon tekniği olarak da adlandırılan statik simülasyon, simülasyonda kullanılacak bir olasılık fonksiyonundan rassal sayılar türetir ve kullanır. Dinamik simülasyon modelleri, bir zaman dilimi veya tüm işlem süresi boyunca sistemin durumunu temsil eder ve zamanla değişir (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 1984).

Kesikli ya da ayrık olay sistemleri olarak adlandırılan kesikli sistemlerde değişken(ler) zamanda sadece belirli bir noktada değişir onun dışında sabittir. Şekil 3.2'de (a)

grafiginde kesikli sistemin zamanla nasıl değiştiği gösterilmiştir. Sürekli sistemlerde değişken(ler) zamanla sürekli bir şekilde değişebilmektedir. şekil 3.2’de (b) grafiginde sürekli sistemde değişken(ler)in zamanla nasıl değişebildiği gösterilmiştir (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 1984).



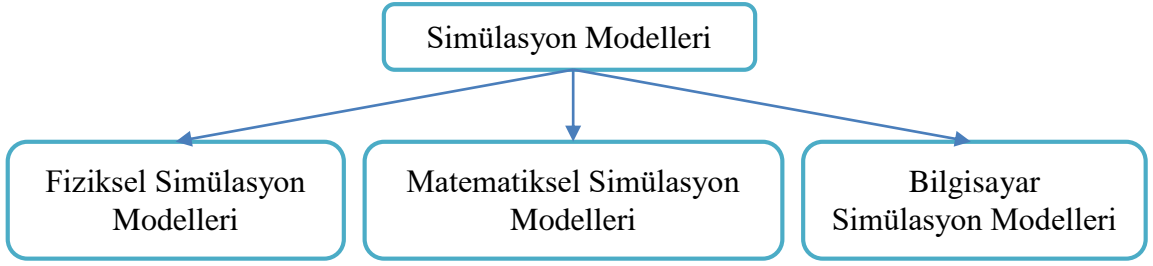
şekil 3.2 : (a) Kesikli (discrete) sistem ve (b) sürekli (continuous) sistem.

Ayrık Olay Sistemi Simülasyonu, modern bilgisayar simülasyon araçlarının (simülatörleri) oğunluğu tarafından uygulanmaktadır. Çoğu simülasyon dili için çok genel ve güçlü bir uygulama erevesi (Ahtiok & Melamed, 2001). Kesikli olay simülasyon modelleri analitik yöntemlerden ziyade nümerik yöntemlerle analiz edilir (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 1984).

Kesikli olay simülasyonu aynı zamanda üretim bağlamında karar almayı desteklemek için farklı sistem konfigürasyonları ve işletme stratejileri alternatiflerinin etkilerini değerlendirmemizi sağlayan oldukça esnek bir araçtır. Dolayısıyla, retim sisteminin dinamiklerini analiz etmek ve anlamak için kullanılan kesikli olay simülasyonu en yaygın tekniklerden biridir (Negahban & Simith, 2013).

Literatürde ayrık olay sistemi simülasyonunun birçok aracı / metodolojisi vardır. Bunlara rnek olarak benzetim metamodellemesi, sinir ağları, genetik algoritmalar, benzetilmiş tavlama, tabu arama, regresyon, kriging yöntemi, tepki yüzeyi ve veri zarflama analizi verilebilir (Negahban & Simith, 2013).

Ahtiok ve Melamed (2001) tarafından belirtilen simülasyon modellerinin bir diğer sınıflandırması şekil 3.3’de gösterilmiştir (Ahtiok & Melamed, 2001).

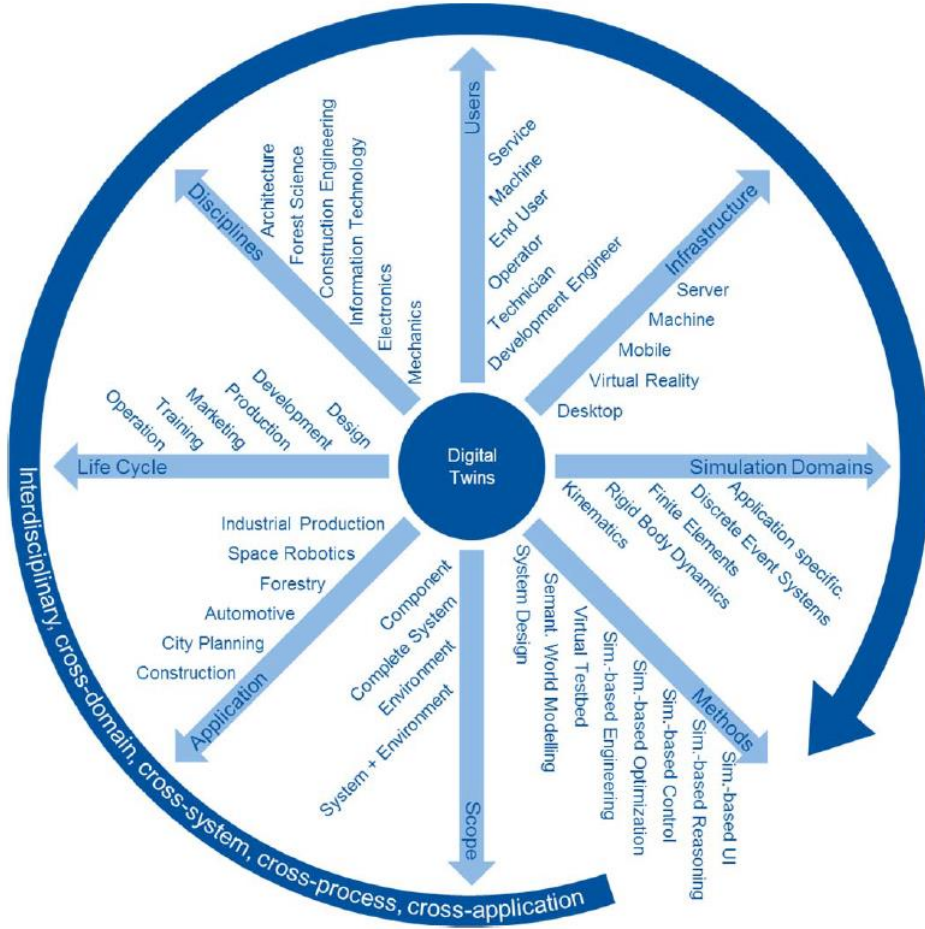


Şekil 3.3 : Simülasyon modelleri.

Fiziksel simülasyon kısaca fiziksel bir nesnenin basitleştirilip küçültülmüş hali olarak tanımlanabilir; örneğin araba maketi. Bir dizi denklem veya matematiksel değişkenler arasındaki ilişki *analitik veya matematiksel bir simülasyon* modelidir; örneğin, üretim hattındaki iş akışını tanımlayan bir denklemler dizisi. *Bilgisayar simülasyonu*, sistemin ya da sürecin bir bilgisayar programına tanımlanması ile elde edilir; örneğin, bir üretim sürecinin belirli bir zaman zarfında işleyişi (Altiok & Melamed, 2001).

Günümüzde simülasyonla ilgili en popüler konulardan biri de dijital ikiz yaklaşımıdır (digital twin). Dijital ikiz konseptinin merkezinde sistemin yaşam döngüsü boyunca operasyon verilerine doğrudan bağlantı kuran, her özelliği ile gerçek sistemi dijital ortamda temsil eden simülasyon yaklaşımı bulunmaktadır (Rodric, 2017).

Yeni simülasyon modelleme paradigması adı verilen dijital ikiz, simülasyon modellemesi kullanımını sistem yaşam döngüsünün tüm aşamalarına genişletir (Rodric, 2017). (Schluse & Rossmann, 2016) Şekil 3.4’de bir sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca simülasyon teknolojisini kullanırken katkı sunan farklı boyutlarını ele almıştır.



Şekil 3.4 : Bir sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca simülasyon teknolojisini (digital twin) oluşturan bileşenler.

3.3 Üretim Sistemlerinde Simülasyon Yaklaşımının Etkileri

Simülasyonun beraberinde getirdiği birçok avantajın yanında bazı dezavantajları da vardır. Simülasyonun avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 1984);

- Simülasyon, alternatif tasarımların birbirleriyle karşılaştırılmasını mümkün kılar.
- Yeni sistem veya süreçler, gerçek sistemin devam eden operasyonlarını bozmadan test edilebilir ve analiz edilebilir.
- Karmaşık gerçek sistemler simülasyonla analitik olarak araştırılabilir.
- Üretim sistemindeki yerel değişikliklerin tüm üretim sistemlerini nasıl etkilediğini gözlemleyebiliriz.

Bazı dezavantajları da aşağıdaki şekilde listelenebilir (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 1984);

- *Simülasyon modellemesi ve analizi zaman alıcıdır.*

Özellikle, yeterli veri toplamak ve buna istatistiksel bir dağılım uydurabilmek, simülasyon yaklaşımının zaman alan adımlarıdır.

- *Simülasyon modellemesi ve analizi özel eğitim ve deneyim gerektirir.*

Bir simülasyon yapmak özel eğitim ve deneyime ihtiyaç duyar, çünkü hangi verilerin toplanması ve kullanılması gerektiği, simülasyon modellerinin nasıl oluşturulacağı ve hangi çıktıların önemli olduğu gibi birçok kriter hakkında karar vermek, özel eğitime ve tecrübeye sahip kişiler tarafından gerçekleştirilebilir.

- *Simülasyon modelleri, en iyi çözümü bulmak yerine alternatif çözümleri karşılaştırır.*

Simülasyon, farklı çözümleri farklı senaryolar altında karşılaştırır. En iyi çözümü bulmayı garanti etmez.

- *Simülasyon modellemesi ve analizi özel bir yazılıma ihtiyaç duyar.*

Karmaşık üretim sistemlerini analiz etmek, tasarlamak ve optimize etmek için simülasyon yaklaşımının kullanılması oldukça yaygındır. Buna ek olarak, üretim sistemlerinde simülasyon yaklaşımının yaygın olarak kullanılmasının çeşitli nedenleri vardır (Altiok & Melamed, 2001), bunlar;

- *Hızlı ve kaliteli üretim gereksinimlerini karşılamak için karmaşık otomasyon sistemlerinin kullanılması*

Karmaşık sistemlerin matematiksel yöntemlerle gösterilmesi çok zordur, bazen imkânsızdır. Bu nedenle, simülasyon, sistemdeki değişikliklerin etkisini tahmin etmek için karmaşık sistemlerin temsilini sağlar.

- *Yüksek ekipman ve tesis maliyeti*

Özellikle Endüstri 4.0 teknolojilerinin (veya ekipmanlarının) uygulanması çok pahalı olabilir, bu nedenle bu teknolojilerin üretim sistemlerine etkilerini

gerçek sisteme uygulamadan önce tahmin etmek için simülasyon çok önemlidir.

- *Üretim sistemlerinin değişkenliği: insan faktörü*

Üretim sistemleri birçok değişkenden oluşur. Bu değişkenler nedeniyle sistem performansının tahmin edilmesi ve değerlendirilmesi çok zordur. Simülasyon bunu istatistiksel olarak yapmaya izin verir.

- *Gelişen simülasyon yazılımları ve daha hızlı bilgisayarlar*



4. ÜRETİM SİSTEMLERİNE ENDSÜTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN UYGULANMASINDA SİMÜLASYON YAKLAŞIMININ ROLÜ

Çalışmanın bu bölümünde sistematik bir literatür taraması metodolojisi uygulanarak beşinci ve altıncı araştırma soruları cevaplanmaya çalışılacaktır.

4.1 Literatür Taraması Metodolojisi

Bu bölümde sistematik literatür inceleme metodolojisiyle birlikte derlemede kullanılan veri tabanları, anahtar kelimeler ve pratik tarama kriterleri anlatılacaktır. Sistematik literatür taraması için Fink (2014)'in tarama metodolojisi uygulanmıştır; bu tarama modeli yedi adımdan oluşmaktadır (Fink, 2014);

- 1) Araştırma sorularının seçilmesi,
- 2) Bibliyografik veya makale veri tabanını, web sitelerini ve diğer kaynakları seçme,
- 3) Arama terimlerini seçme,
- 4) Pratik tarama kriterlerini uygulamak,
- 5) Metodolojik tarama kriterlerini uygulamak,
- 6) İnceleme yapmak,
- 7) Sonuçların sentezlenmesi.

Araştırma soruları literatür taramasına rehberlik etmek için çalışmanın önceki bölümlerinde ifade edilmiştir. Daha sonra, uygun veri tabanları seçildi. Veri tabanları belirlenirken, çalışmamızla ilgili verileri kapsayan literatür örneklerini sağlamak için büyük, disiplinlerarası ve popüler olan aşağıdaki üç veri tabanı kullanılmıştır;

- Web of Science,
- Scopus,
- Science Direct.

Bu veri tabanlarının simülasyon, Endüstri 4.0 ve üretim sistemleri ile ilgili farklı türde temel yayınları kapsadığı düşünülmektedir.

Araştırma alanımızla ilgili konularda en uygun makaleleri elde etmek için üç arama terimi grubu tanımlanmıştır. Bu üç arama terimi grubu:

- “simulation” ve “industry 4.0”
- “simulation” ve “industrial internet”
- “simulation” ve “smart factory”

Bu arama terimlerini gruplarını oluştururken kullanılacak olan anahtar kelimeler “simülasyon”, “endüstri 4.0”, “endüstriyel internet” ve “akıllı fabrika” olarak tanımlanmıştır.

Literatürün taranması ve ilgili makalelerin elde edilmesi amacıyla incelemeye dahil edilmek veya derlenmeden çıkarılmak için pratik tarama kriterleri belirlenmiştir. Bu pratik tarama kriterleri; makalenin dili, makale türü (dergi yayını, konferans bildirisi...) gibi faktörlerden oluşur. Çalışmaya yalnızca pratik tarama kriterlerine uyan makaleler dahil edilmiştir.

Fiziksel simülasyon modeline odaklanan çalışmalar taramanın dışında bırakılmıştır (Simülasyon Türleri bölümünde Fiziksel simülasyon modeli tanımlanmıştır). Ayrıca aynı olan veya tam erişime açık olmayan makaleler de çalışmanın dışında tutulmuştur. Çalışmaya yalnızca İngilizce olan ve bir dergide yayınlanan makaleler dahil edilmiştir.

Belirlenen tüm pratik tarama kriterlerinin tamamı Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çalışmanın sonraki bölümlerinde sistematik literatür tarama metodolojisinin kalan kısmı uygulanacak (pratik tarama kriterlerini ve metodolojik tarama kriterlerini uygulamak, incelemeyi yapmak ve sonuçları sentezlemek) ve anlatılacaktır.

Çizelge 4.1 : Pratik tarama kriterleri.

Dahil Etme Kriterleri	Türü
Dili İngilizce olan çalışmalar.	Yayın Dili
Simülasyon, Endüstri 4.0, Endüstriyel İnternet ve Akıllı Fabrikalara odaklanan çalışmalar.	Kapsam
Üretim, İmalat veya yönetim perspektifine odaklanan çalışmaları dahil et.	Kapsam
Yalnızca dergide yayınlanan çalışmalar.	Ayar
Tamamı erişime açık olan çalışmalar.	Ayar
Kesikli olay simülasyonu ve simülasyon oyunu üzerine yapılan çalışmalar.	Kapsam

Eleme Kriterleri	Türü
Fiziksel Simülasyon çalışmaları (mukavemet analizi vb.).	Kapsam
Tamamına erişim sağlanamayan çalışmalar.	Ayar
Tekrarı olan çalışmalar.	Kapsam

4.2 Pratik ve Metodolojik Literatür Taraması

Bu bölümde, üç veri tabanından elde edilen makalelere Çizelge 4.1’de özetlenen pratik tarama kriterleri ve metodolojik tarama uygulanmış ve sonuçları belirtilmiştir.

Üç veri tabanından (Web of Science, Scopus, Science Direct), makalelerin başlıkları, özeti ve anahtar sözcükleri üzerinden önceki bölümde belirtilen arama terimleri ve anahtar kelimelerden yararlanılarak toplam 95 makale elde edilmiştir. Daha sonra sadece dahil etme kriterlerine uyan çalışmalar çalışmaya dahil edildi. Alınan 95 makaleden 65’i dahil etme kriterlerine uygun olmadığı için çalışmadan çıkarılmıştır. Geriye kalan 30 makale bir sonraki adım olan metodolojik tarama adımına geçmiştir.

Metodolojik tarama kriterleri aşağıdaki gibi uygulanmıştır;

- Örnek bir sistemde simülasyonu tanımlayan ve uygulayan makaleler (Sadece kavramsal veya teorik kısmı değil ampirik kısmı da içeren yazılar) araştırma sorularına cevap vermek için çalışmaya dahil edilmiştir.
- Endüstri 4.0 ve teknolojilerinin ana nokta ve merkez olduğu makaleler çalışmaya alınmıştır.

Makalelerin metodolojik tarama kriterlerine göre taranmasından sonra toplam 9 makale (Kavramsal makaleler (iki) ve araştırma hedeflerimize uygun olmayan makaleler (yedi)) hariç tutulmuştur. Sonuç olarak, çalışmanın bir sonraki adımlarına geçmek için 21 makale uygun bulunmuş ve bu makaleler Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Pratik ve metodolojik taramadan sonra elde edilen makaleler.

Başlık	Dergi	Yıl
Digital factory technologies for robotic automation and enhanced manufacturing cell design	Cogent Engineering	2018
Innovative production scheduling with customer satisfaction based measurement for the sustainability of manufacturing firms	Sustainability — Open Access Journal	2017
Industrial big data-based scheduling modeling framework for complex manufacturing system	Advances in Mechanical Engineering (AIME) - Open Access Journal	2017
Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm	Organizacija - Journal of Management, Informatics and Human Resources	2017
Equipment utilization enhancement in photolithography area through a dynamic system control using multi-fidelity simulation optimization with big data technique	IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing	2017
Potential connections of unique manufacturing and industry 4.0	Logforum-Scientific Journal of Logistics	2017
A digital twin-based approach for designing and multi-objective optimization of hollow glass production line	IEEE Access® - Open Access (OA), Applications-Oriented, All-Electronic Archival Journal	2017
Simulation model study for manufacturing effectiveness evaluation in crowdsourced manufacturing	Cirp Annals - Manufacturing Technology – Elsevier	2017
A new method for autonomous control of complex job shops - Integrating order release, sequencing and capacity control to meet due dates	Journal of Manufacturing Systems	2016

Çizelge 4.2(devam) : Pratik ve metodolojik taramadan sonra elde edilen makaleler

Başlık	Dergi	Yıl
Discrete event simulation and virtual reality use in industry: new opportunities and future trends	IEEE Transactions on Human-Machine Systems	2016
Simulation optimization in the era of Industrial 4.0 and the Industrial Internet	Journal of Simulation	2016
Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination	Computer Networks	2016
Future modeling and simulation of cps-based factories: an example from the automotive industry	IFAC Papersonline Elsevier	- 2016
Smart solution for smart factory	IFAC Papersonline Elsevier	- 2016
Two-objective stochastic flow-shop scheduling with deteriorating and learning effect in Industry 4.0-based manufacturing system	Applied Soft Computing	2017
Simulation based validation of supply chain effects through ICT enabled real-time-capability in ETO production planning	Procedia Manufacturing Elsevier	- 2017
Interactive design of reconfigurable logistics systems	Procedia Engineering Elsevier	- 2017
Portable rapid visual workflow simulation tool for human robot coproduction	Procedia Manufacturing Elsevier	- 2017
Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment	International Journal of Production Research	2016
Simulation game for intelligent production logistics – The PuLL® Learning Factory	Procedia CIRP 54 – Elsevier	2016
Bayesian inference for mining semiconductor manufacturing big data for yield enhancement and smart production to empower industry 4.0	Applied Soft Computing	2017

4.3 İnceleme ve Kalitatif Analiz

Bu bölümde, (Fink, 2014)'in literatür tarama modelinin, inceleme ve nitel analiz adımı gerçekleştirilmiştir. İnceleme ve nitel analiz sonucunda, incelenen makalelere genel bir bakış Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : İncelenen makalelere genel bir bakış.

Yazar(lar)	Makalenin Temel Amacı
(Caggiano & Teti, 2018)	Geliştirilen üretim hücresinin kullanılabilirliğini ve üretim süresi açısından performansını arttırmak.
(Shim, Park, & Choi, 2017)	Büyük veri, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, bulut bilişim, mobil ağ vb. teknolojileri kullanarak yenilikçi üretim planlaması yaklaşımı geliştirmek.
(Zhu, Qiao, & Cao, 2017)	Karmaşık imalat sistemleri için endüstriyel büyük veri tabanlı programlama modeli geliştirmek ve çerçevesini tanımlayarak değerlendirmek.
(Rodic, 2017)	Endüstri 4.0 paradigmasını tanıtmak, geçmişini, mevcut gelişim durumunu sunmak ve simülasyon modelleme paradigmasının gelişimi üzerindeki etkisini belirtmektedir.
(Hsieh, 2017)	Endüstri 4.0 çağında, büyük veri teknikleriyle verimli çok modelli simülasyon optimizasyon yaklaşımı ile ekipman kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkarmak.
(Kocsi & Olah, 2017)	Akıllı iletişim sistemleri ile birbirine bağlı makinelerle üretim süreçlerini optimize etmek ve daha kısa üretim süresi ve daha düşük üretim maliyetleri ile daha güvenilir süreçler elde etmek.
(Zhang, Liu, Chen, Zhang, & Leng, 2017)	Üretim hattının hızlı tepki veren tasarımı için dijital ikiz tabanlı bir yaklaşım sunmak.
(Kaihara, Katsumura, Suginishi, & Kadar, 2017)	Bir üretim simülasyon modelini geliştirmek ve teslimat ve makine kullanımına göre üretim etkinliğini değerlendirmek
(Grundstein, Freitag, & Scholz-Riter, 2016)	Termin tarihlerini karşılamak için tüm kontrol görevlerini (sıralama, serbest bırakma ve kapasite kontrolü) entegre eden üretim kontrol yöntemi geliştirmek
(Tuner, Hutabarat, Oyekan, & Tiwari, 2016)	Dijital üretimin Endüstri 4.0 ve Endüstriyel İnternet vizyonlarının görselleştirme gereksinimlerini tam olarak karşılamak için kesikli olay simülasyonu (DES) ve sanal gerçeklik (VR) kullanımını endüstride birleştirmek.
(Xu <i>et al.</i> , 2016)	Simülasyon optimizasyon potansiyelini araştırmak ve simülasyon optimizasyonunu karar verme aracı olarak kullanmak
(Wang, Wan, Zhang, Li, & Zhang, 2016)	Sistem performansını optimize etmek için, karar verme ve akıllı müzakere mekanizmaları tasarlamak.
(Weyer, Meyer, Ohmer, Gorecky, & Zühlke, 2016)	Akıllı Fabrikalarda yaklaşmakta olan zorluklarla başa çıkmak için modelleme ve simülasyonun tüm potansiyelinden yararlanmak

Çizelge 4.3 (devam) : İncelenen makalelere genel bir bakış.

Yazar(lar)	Makalenin Temel Amacı
(Hajrizi, 2016)	Karmaşık sistemlere akıllı bir çözüm oluşturmak üzere modelleme, simülasyon, kontrol ve optimizasyon için bütünleştirici bir yaklaşım sunmak
(Fu, Ding, Wang, & Wang, 2017)	Bir atölye çizelgeleme problemini çoklu hedefler, belirsizlik ve zamana bağlı işlem süresi dikkate alınarak incelemek
(Dallasega, Rojas, Raunch, & Matt, 2017)	Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) destekli neredeyse gerçek zamanlı yetenekli üretim planlama yaklaşımını sunmak.
(Furmann, Furmannova, & Wiecek, 2017)	Lojistik elemanlarının etkileşimi ile planlama ve süreç simülasyonu ile bir lojistik sistemi tasarımının taleplerini karşılamak.
(Dukalski, Çençen, Aschenbrenner, & Verlinden, 2017)	Halen geliştirilmekte olan İnsan-Robot İşbirliği Metodolojisinin bir parçası olan İş Akışı Simülasyon Aracını tanımlamak.
(Hwang, Lee, Park, & Chang, 2016)	Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı bir üretim performans ölçüm sistemi geliştirmek ve IoT'nin Genel Ekipman Verimliliği (OEE) üzerindeki etkisini araştırmak.
(Blöchl & Schneider, 2016)	İç malzeme akışında Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasını öğretmek için yeni bir simülasyon oyunu geliştirmek.
(Khakifirooz, Chien, & Chen, 2017)	Akıllı üretimi geliştirmek amacıyla hata tespiti için imalat verilerini incelemek üzere bir yaklaşım geliştirmek.

Çizelge 4.3, bildirilerin üretim sistemi ile ilişkisini anlamak için faydalıdır ve bildirilerin amacı hakkında genel bir fikir vermektedir. Gözden geçirme sürecinde makalelerde kullanılan simülasyon türü de makalelerin simülasyonla ilişkisini ortaya koymak amacıyla incelenmiştir. Çizelge 4.4'te makalelerde geçen ve üzerinde durulan simülasyon türleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 ayrıca Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması için kullanılan simülasyon türleri hakkında farkındalık sağlar ve makalelerin simülasyonla ilişkisini belirtir.

Çizelge 4.4: Makalelerde geçen ve üzerinde durulan simülasyon türleri.

Yazar(lar)	Simülasyon Tipi
(Caggiano & Teti, 2018)	3D Hareket Simülasyonu ve Kesikli Olay Simülasyonu birlikte kullanıldı.
(Shim, Park, & Choi, 2017)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Zhu, Qiao, & Cao, 2017)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Rodic, 2017)	Dijital İkiz Tabanlı Simülasyon
(Hsieh, 2017)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Kocsi & Olah, 2017)	Monte Carlo Tabanlı Süreç Simülasyonu
(Zhang, Liu, Chen, Zhang, & Leng, 2017)	Dijital İkiz ve Yarı Fiziksel Simülasyon
(Kaihara, Katsumura, Suginishi, & Kadar, 2017)	Denetlenen Ajan Tabanlı Simülasyon
(Grundstein, Freitag, & Scholz-Riter, 2016)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Tuner, Hutabarat, Oyekan, & Tiwari, 2016)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Xu <i>et al.</i> , 2016)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Wang, Wan, Zhang, Li, & Zhang, 2016)	Ajan Tabanlı Simülasyon
(Weyer, Meyer, Ohmer, Gorecky, & Zühlke, 2016)	Dijital ikiz ve Çok disiplinli simülasyon (Kesikli Olay Simülasyonu, Tedarik zinciri simülasyonu, Üretim planlama simülasyonu...)
(Hajrizi, 2016)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Fu, Ding, Wang, & Wang, 2017)	Monte Carlo Simülasyonu
(Dallasega, Rojas, Raunch, & Matt, 2017)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Furmann, Furmannova, & Wiecek, 2017)	Genetik algoritmalı dijital ikiz ve dinamik simülasyon
(Dukalski, Çençen, Aschenbrenner, & Verlinden, 2017)	Kesikli Olay Simülasyonu
(Hwang, Lee, Park, & Chang, 2016)	Sanal Fabrika Simülasyonu
(Blöchl & Schneider, 2016)	Simülasyon Oyunu
(Khakifirooz, Chien, & Chen, 2017)	Yeni Simülasyon Modeli

Makaleleri daha detaylı analiz etmek için üç soru tanımlanmıştır ve bu soruları cevaplamak için Çizelge 4.5 oluşturulmuştur. İlk soruda, makalelerde tartışılan ve Endüstri 4.0 uygulamasına ilişkin sorunları belirlemeye çalışmıştır. İkinci soruda, simülasyonun makalelerde sorunu çözmek için nasıl yardımcı olduğu belirtmeye çalışılmıştır. Son olarak, üçüncü soruda, makalelerden elde edilen, simülasyonun

faydaları belirtmeye çalışılmıştır. Belirlenen makalelerde cevapları aranan üç analiz sorusu;

- 1) Endüstri 4.0 uygulamasına ilişkin hangi problemlere simülasyonda odaklanılmıştır?
- 2) Simülasyon ile problemler nasıl ele alınmıştır?
- 3) Simülasyonun ne tür faydalar ortaya konulmuştur?

Çizelge 4.5: Makalelerin belirlenen sorulara göre analizi.

Yazar(lar)	(1)	(2)	(3)
(Caggiano & Teti, 2018)	Geliştirilmiş üretim hücresinin kullanılabilirliğini ve üretim süresi açısından performansının artırılması	Simülasyon, uygun yerleşim konfigürasyonu, güvenli hareket planlaması ve kaynak kullanımının iyileştirilmesi için farklı hücre ayarlarının modellenmesi ve benzetimi için kullanılmıştır.	Simülasyon, gerçek üretim sistemi için en iyi stratejinin tanımlanmasına ve etkili bir şekilde karar vermenin sağlanmasına yardımcı olur.
(Shim, Park, & Choi, 2017)	Çizelgeleme Problemi	Simülasyon, önerilen programlama algoritmasının validasyonu ve performans değerlendirmesi için kullanılmıştır.	Simülasyon, karar vermeye ve önerilen algoritmaların değerlendirilmesine yardımcı olur.
(Zhu, Qiao, & Cao, 2017)	Çizelgeleme Problemi	Simülasyon, gerçek zamanlı sistemi temsil ederek önerilen çizelgeleme stratejisi performansını analiz eder.	Simülasyon performans değerlendirmesine yardımcı olur, en iyi planı karşılaştırır ve seçer.
(Rodic, 2017)	Yeni teknolojilerin adaptasyonu	Yeni simülasyon çerçevesi ve yaklaşımının benimseme ve alışma sorunlarını çözdüğü ifade edilmiştir.	Simülasyon, dijital ortamda yeni sistemi temsil ederek benimseme ve alışma sorunlarını çözmeye yardımcı olur.

Çizelge 4.6 (devam) : Makalelerin belirlenen sorulara göre analizi.

Yazar(lar)	(1)	(2)	(3)
(Hsieh, 2017)	Ekipman kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkarma	Büyük veri tekniği ile simülasyon optimizasyonu yaklaşımı, (gerçek zamanlı) verileri kullanarak ekipman kullanımını en üst düzeye çıkarır.	Simülasyon ve simülasyon optimizasyonu yaklaşımları ekipman kullanımını geliştirmeye yardımcı olur.
(Kocsi & Olah, 2017)	Üretim süreçlerini optimize etmek ve daha kısa üretim süresi ve daha düşük üretim maliyetleri ile daha güvenilir süreçler elde etmek.	Proseslerin maliyetini ve toplam üretim süresini analiz etmek için proses simülasyonu kullanıldı.	Simülasyon, gerçek sistemi değiştirmeden önerilen sistemin bazı performans metriklerini tahmin etmeye yardımcı olur.
(Zhang, Liu, Chen, Zhang, & Leng, 2017)	Üretim hattının tasarımı	Simülasyon ve fiziksel tabanlı sistem modellemesi birleştirilerek üretim öncesi aşamada sistemin dijital tasarımı oluşturulur.	Simülasyon, analizi yetenekleri sağlar ve çözüm değerlendirmesi ve sistem tasarımı üzerinde karar vermeyi destekler.
(Kaihara, Katsumura, Suginishi, & Kadar, 2017)	Üretim etkinliğinin değerlendirilmesi	Üretimin etkinliğini tahmin etmek için gelecekteki üretim planlarına sahip ajan bazlı üretim simülasyon modeli sunulmuştur	Simülasyon önerilen algoritmalarda, üretim sistemlerinin mevcut etkinliğini değerlendirmek için kullanılabilir.
(Grundstein, Freitag, & Scholz-Riter, 2016)	Termin tarihlerini karşılamak için tüm kontrol görevlerini (sıralama, serbest bırakma ve kapasite kontrolü) entegre eden üretim kontrol yöntemi.	Belirtilen üretim kontrol yöntemi, simülasyon kullanılarak belirlenmiş yöntem kombinasyonları ile karşılaştırılmıştır.	Simülasyon, önerilen sistemleri / yöntemleri gerçek sistemde uygulamadan kanıtlamaya yardımcı olur.
(Tuner, Hutabarat, Oyekan, & Tiwari, 2016)	Dijital üretimde Endüstri 4.0 ve Endüstriyel İnternet vizyonlarının görselleştirme gereksinimleri.	Makale, simülasyon ve sanal gerçekliği (VR tabanlı simülasyon sistemi) birleştirerek görselleştirme gereksinimlerini tam olarak karşılamaya çalışmaktadır.	Simülasyon ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonu, fabrika tasarımı ve yerleşimine, ürün ve hizmet geliştirmeye ve karar verme ve endüstriyel tesis kontrolüne yardımcı olur.

Çizelge 4.7 (devam) : Makalelerin belirlenen sorulara göre analizi

Yazar(lar)	(1)	(2)	(3)
(Xu <i>et al.</i> , 2016)	Karar verme aracı	Simülasyon optimizasyonu karar verme aracı ve akıllı beyin olarak ifade edildi.	Simülasyon optimizasyonu, endüstriyel sistemlerin verimliliğini önemli ölçüde iyileştirir.
(Wang, Wan, Zhang, Li, & Zhang, 2016)	Sistem performansının optimizasyonu	Simülasyon, önerilen optimizasyon mekanizması ve stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek ve geliştirmek için kullanıldı.	Simülasyon, önerilen algoritmanın, mekanizmasını ve stratejilerini doğrulamak ve önerilen çerçevenin geliştirilmesine yardımcı olmak için kullanılır.
(Weyer, Meyer, Ohmer, Gorecky, & Zühlke, 2016)	Üretim yaşam döngüsünün tüm aşamalarının optimizasyonu hızlandırılması Dış ve iç değişikliklerin etkisinin değerlendirilmesi	Sorunları ortadan kaldırmak için multidisipliner simülasyon konseptli bir çerçeve belirtilmiştir.	Simülasyon, gerçek sistemi değiştirmeden değişikliklerin etkisini değerlendirme şansı verir.
(Hajrizi, 2016)	Üretim sistemlerinin optimizasyonu, planlaması ve kontrolü	İncelenen üretim sistemlerinin çıktı, girdi, analiz ve iletişim modüllerinden oluşan bir simülasyonu önerildi.	Akıllı modüllerden oluşan simülasyon, yüksek kaliteli bir programlama, sistem kontrolü ve dinamik planlama sağlayabilir.
(Fu, Ding, Wang, & Wang, 2017)	Çizelgeleme problemi	Önerilen algoritmayı değerlendirmek için bir dizi test problemi üzerinde simülasyon deneyleri tasarlanmıştır.	Simülasyon, sorunları ortadan kaldırmak için önerilen algoritmanın performans değerlendirmesine yardımcı olur.
(Dallasega, Rojas, Raunch, & Matt, 2017)	Üretim planlama	Önerilen neredeyse gerçek zamanlı üretim planlama yaklaşımının etkilerini doğrulamak için simülasyon kullanılmıştır.	Simülasyon, gerçek sistemde uygulamadan önce önerilen yaklaşımların doğrulanmasına yardımcı olur.

Çizelge 4.8 (devam) : Makalelerin belirlenen sorulara göre analizi

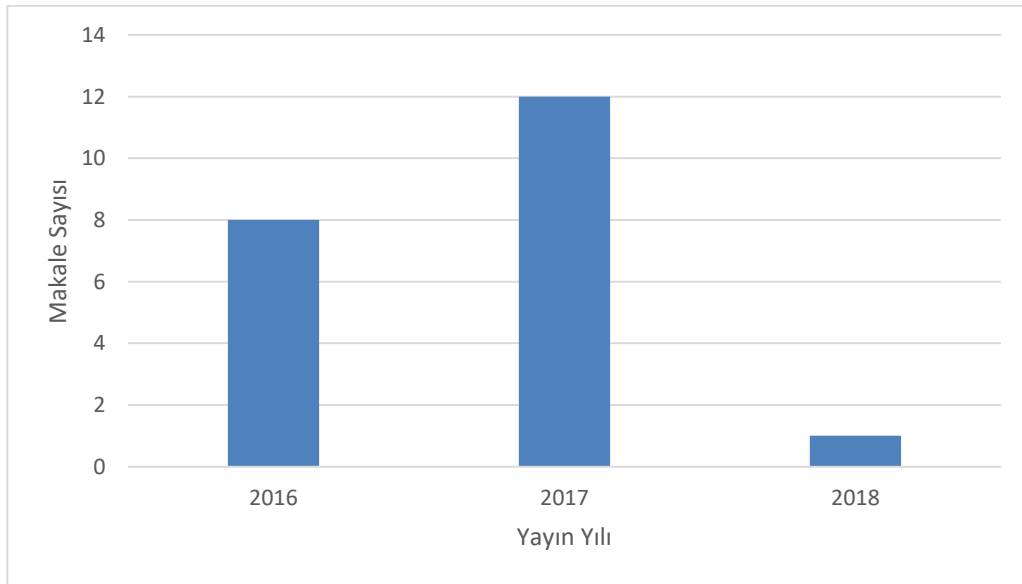
Yazar(lar)	(1)	(2)	(3)
(Furmann, Furmannova, & Wiecek, 2017)	Gerçek lojistik elemanların birbirine bağlanması ve lojistik planlama sistemleri	Gerçek lojistik elemanları birbirine sensör gibi teknolojiler ile bağlanarak oluşturulan lojistik planlama sistemi simülasyonla modellendi.	Simülasyon, gerçek sistemin sensörler aracılığıyla dijital dünya ile senkronize olarak gösterilmesini sağlar. Bu, yeni çözümü daha efektif değerlendirmeyi sağlar.
(Dukalski, Çençen, Aschenbrenner, & Verlinden, 2017)	İnsan-robot işbirliği	İnsan Robot Ortak Üretim Metodolojisinin bir parçası olan simülasyon aracı geliştirildi. Bu çözüm, portatif taşınabilir komponent içindeki görsel bileşenleri ve sensörleri birleştirir.	Simülasyon, uygun ve hızlı modelleme çözümü ile insan-robot işbirliğinin verimliliğini artırmaya yardımcı olur.
(Hwang, Lee, Park, & Chang, 2016)	Nesnelerin interneti ve akıllı fabrika ortamı için performans ölçümü	Simülasyon, performans ölçüm sistemini geliştirmek için önerilen modelin validasyonu için kullanılmıştır.	Simülasyon, önerilen modeli gerçek sistemde uygulamadan önce doğrulamaya yardımcı olur.
(Blöchl & Schneider, 2016)	İşçilerin eğitimi	Simülasyon oyunu, üretim lojistiği planlayıcılarına üretim lojistiği bağlamında Yalın ve Endüstri 4.0'ın ne anlama geldiğini ve Endüstri 4.0 teknolojilerini nasıl kullanabileceğini öğretmek için geliştirildi.	Simülasyon, çalışanların gerçek sistemde yeni teknolojileri doğru bir şekilde kullanmaları ve uygulamaları için eğitilmesine yardımcı olur.
(Khakifirooz, Chien, & Chen, 2017)	Büyük veri analizi	Büyük verilerin analizi için önerilen yaklaşımı doğrulamak için simülasyon kullanıldı.	Simülasyon, önerilen büyük veri analizi yaklaşımlarının doğrulanmasına yardımcı olur.

Çizelge 4.5, Endüstri 4.0 uygulaması için simülasyon olanaklarını, simülasyonun problemleri nasıl ele aldığını anlamak ve beşinci ve altıncı araştırma sorularını cevaplamak için yararlıdır.

4.4 Analiz Sonuçları

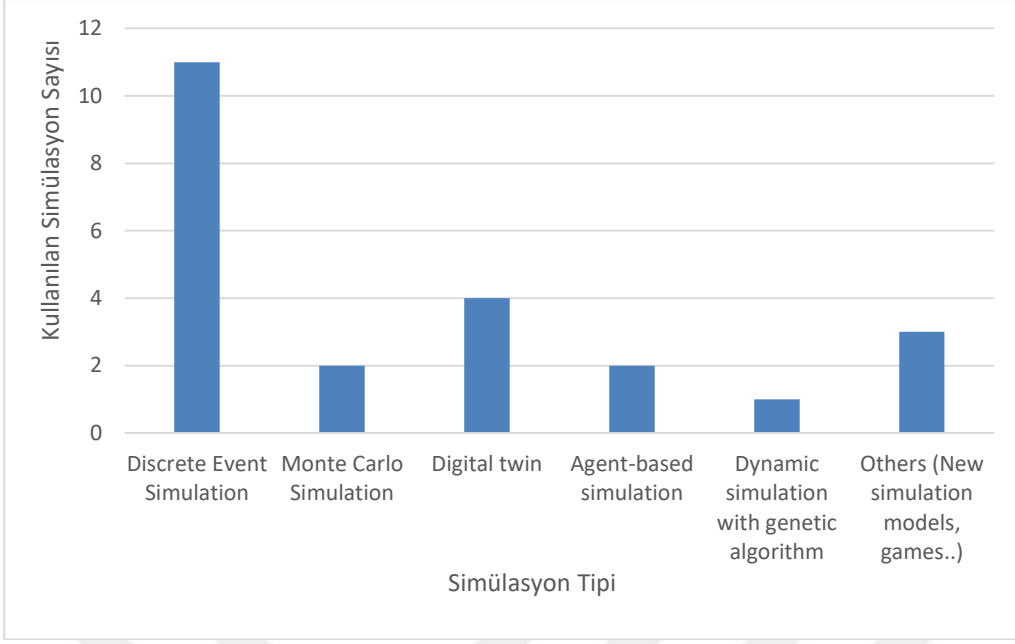
Bu bölümde literatür taraması ve kalitatif analiz bölümünden elde edilen sonuçlar irdelenecektir. Yıllara göre makale sayısı ve literatürde kullanılan simülasyon türlerinin sayısı iki farklı grafikte sunulmuştur. Ayrıca makalelerde kullanılan simülasyon yaklaşımının faydaları ve literatür taraması çıktısı ile nitel analiz bölümünü kullanarak simülasyonların ne tür olanaklar sağladığı da yine bu bölümde belirtilmektedir.

Pratik ve metodolojik taramadan sonra elde edilen tüm makaleler 2016, 2017 ve 2018'de yayınlanmıştır. Yıllara göre makale sayısı Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Şekil 4.1 dikkate alındığında Endüstri 4.0'ın uygulanmasında üretim sistemleri simülasyonunun hala genç bir araştırma konusu olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bu nedenle, bu araştırma alanı gelecekteki araştırmalar için birçok fırsat barındırıyor olabilir.



Şekil 4.1 : Yıllara göre makale sayısı.

Makalelerde kullanılan simülasyon tipi sayısı, (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.4'ten elde edilen) Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Görülebileceği gibi, Kesikli Olay Simülasyonu yazarlar tarafından daha çok tercih edilmiştir.



Şekil 4.2 : Literatürde kullanılan simülasyon tipi sayısı.

Rodic (2017) tarafından dijital ikiz, Endüstri 4.0 döneminde yeni simülasyon modelleme paradigması olarak sunulmuştur (Rodic, 2017). Şekil 4.2'de dijital ikizin, hala yeni bir paradigma ve araştırma alanı olmasına rağmen, literatürde en çok kullanılan ikinci simülasyon modelleme yaklaşımı olduğunu görülebilmektedir.

Çizelge 4.5'ten yararlanılarak, Endüstri 4.0 uygulamalarıyla ilgili sorunlar Çizelge 4.9'da özetlenmiştir. Aynı sorunlara değinen referansların sayısını yine bu çizelgede belirtilmiştir. Görüldüğü gibi üretim sürecinin veya ekipman kullanımının performansının artırılması / optimize edilmesi, makalelerde tartışılan en yaygın sorunlardan biridir. Bu sorun aynı zamanda Endüstri 4.0 teknolojilerinin organizasyonel ve üretime uyum sorununun da bir yansımasıdır.

Çizelge 4.9'ya göre, ikinci en yaygın problem çizelgeleme problemidir. Bu problem yine Endüstri 4.0 teknolojilerinin organizasyonel ve üretime uyumu sorunlarına da dahil edilebilir.

Çizelge 4.9 : Makalelerde ele alınan problemler.

Problem	Ele alan makale sayısı	Ele alan makaleler
Üretim prosesi / ekipman kullanım performansının artırılması / optimize edilmesi	6	(Caggiano & Teti, 2018) (Hsieh, 2017) (Kocsi & Olah, 2017) (Wang, Wan, Zhang, Li, & Zhang, 2016) (Weyer, Meyer, Ohmer, Gorecky, & Zühlke, 2016) (Hajrizi, 2016)
Çizelgeleme	3	(Shim, Park, & Choi, 2017) (Zhu, Qiao, & Cao, 2017) (Fu, Ding, Wang, & Wang, 2017)
Teknolojilerin benimsenmesi	1	(Rodic, 2017)
Üretim hattının tasarımı	1	(Zhang, Liu, Chen, Zhang, & Leng, 2017)
Akıllı fabrika için üretim etkinliğinin değerlendirilmesi / Performans ölçümü	2	(Kaihara, Katsumura, Suginishi, & Kadar, 2017) (Hwang, Lee, Park, & Chang, 2016)
Üretim kontrolü / planlaması	2	(Grundstein, Freitag, & Scholz-Riter, 2016) (Dallasega, Rojas, Raunch, & Matt, 2017)
Görselleştirme gereksinimleri	1	(Tuner, Hutabarat, Oyekan, & Tiwari, 2016)
Karar verme aracı	1	(Xu <i>et al.</i> , 2016)
Lojistik sistemleri planlama	1	(Furmann, Furmannova, & Wiecek, 2017)
İnsan - robot ortak üretimi	1	(Dukalski, Çençen, Aschenbrenner, & Verlinden, 2017)
İşçilerin eğitimi	1	(Blöchl & Schneider, 2016)
Büyük Veri Analizi	1	(Khakifirooz, Chien, & Chen, 2017)

Makalelerde, simülasyon Endüstri 4.0 uygulamasına ilişkin birçok sorunun (bkz. Çizelge 4.9) ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır.

Sorunlardan biri, üretim sürecinin veya ekipman kullanım performansını arttırmak / optimize etmektir. Simülasyon, bir üretim sistemi için en iyi stratejinin tanımlanmasına ve üretim sürecinin veya ekipman kullanımının performansını arttırmak / optimize etmek için farklı hücre / makine ayarlarının modellenmesi ve simüle edilmesi yoluyla etkili bir şekilde karar vermenin gerçekleştirilmesine yardımcı olur.

Çizelgeleme, makalelerde ele alınan ikinci en yaygın problemdir. Simülasyon, çizelgeleme problemini çözmek için önerilen algoritmaların seçilmesine ve değerlendirilmesine yardımcı olur. Buradan simülasyonun ayrıca algoritma ve program performanslarının değerlendirilmesine yardımcı olduğu söylenebilir, örneğin çizelgeleme için en iyi planı karşılaştırarak seçmesi gibi.

Makalelerde Endüstri 4.0'ın uygulanması için yeni teknolojilerin benimsenmesi de bir başka sorundur. Simülasyon, dijital ortamda yeni sistemi temsil ederek benimseme sorunlarını çözmeye yardımcı olur. Benimseme sorunlarını çözmek için bazı yeni simülasyon yaklaşımları geliştirilmiştir (Rodric, 2017).

Simülasyon, mühendislik analizi yetenekleri sağlar ve çözüm değerlendirmesi ve sistem tasarımı üzerinde karar vermeyi destekler. Simülasyonun bu yararı, Endüstri 4.0'ı uygulayan üretim hattı tasarımıyla ilgili sorunların ortadan kaldırılmasına yardımcı olur.

Simülasyon, önerilen algoritmaları gerçek sistemde uygulamadan önce önerilen modeli doğrular ve akıllı fabrika için üretim verimliliğini ve performans ölçüm problemini çözmeye yardımcı olur.

Ayrıca simülasyon, gerçek sistemde uygulamadan önce önerilen üretim planlama ve kontrol yaklaşımının etkilerini neredeyse gerçek zamanlı doğrularak Endüstri 4.0'ı uygulayan üretim sistemlerinde başka bir probleme (üretim planlamasına ve kontrolüne) yardımcı olur. Böylece üretim verimliliğini ve üretim planlarını değerlendirmek için simülasyon kullanarak ekstra maliyetlerden kaçınılabılır.

Endüstri 4.0'ın uygulanması için üretim sistemindeki görselleştirme gereksinimleri makalelerde bir başka sorundur. Simülasyon ve bazı teknolojilerin (örn. Sanal gerçeklik) entegrasyonu, görselleştirme gereksinimlerini karşılar ve Endüstri 4.0'ın

uygulanması için fabrika tasarımı ve düzenine, ürün ve hizmet geliştirme ve endüstriyel karar verme ve tesis kontrolüne yardımcı olur.

Endüstri 4.0 uygulamasındaki bir diğer konu da insan-robot etkileşiminin iyileştirilmesidir. Simülasyon, uygun ve hızlı modelleme çözümleriyle insan-robot etkileşiminin verimliliğini artırmaya yardımcı olur. Bu, üretim sisteminde Endüstri 4.0'ı uygulamak için simülasyon yaklaşımını kullanmanın bir diğer yararlıdır.

Çalışanların eğitimi Endüstri 4.0'ın uygulanması için diğer bir sorundur. Sorun simülasyon oyunu ile giderilebilir. Simülasyon oyunu, simülasyon yaklaşımı ve oyun uygulamasının birleşiminden oluşur. Çalışanlara yeni kavram ve teknolojileri öğretmek için geliştirilmiştir. Simülasyon oyunu, işçileri gerçek sistemde yeni teknolojileri doğru bir şekilde kullanmaları ve uygulamaları için eğitmeye yardımcı olur. Böylece simülasyon, Endüstri 4.0 konseptini uygulamak adına çalışanların eğitimi için bir fırsat sunmaktadır.

Büyük Veri analizi, Endüstri 4.0'ın uygulanmasına ilişkin makalelerde belirtilen bir diğer sorundur. Üretim sisteminde Endüstri 4.0 teknolojileri (örn. Sensörler, wirelessler...) tarafından toplanan veriler, sistem verimliliğini artırmak için analiz edilmelidir. Simülasyon, büyük veri analizi yaklaşımını geliştirmeye ve önerilen büyük veri analizi yaklaşımlarını doğrulamaya yardımcı olur.

Sonuç olarak literatüre göre üretim sistemindeki Endüstri 4.0 uygulama problemlerini çözmek için simülasyon yararlı bir yaklaşımdır. Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamak için birçok olanak sağlar.



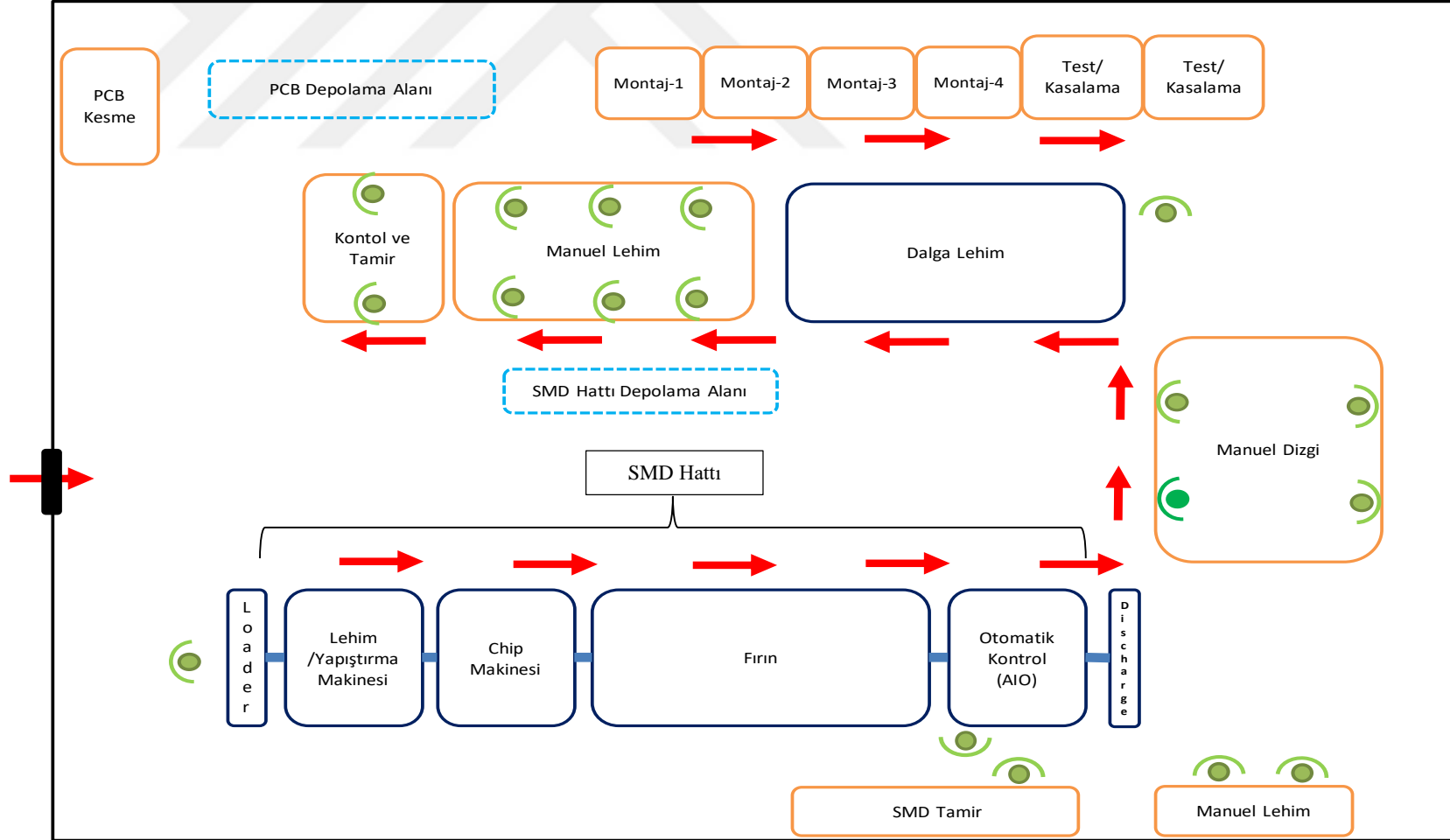
5. BİR ELEKTRONİK CİHAZ ÜRETİCİSİNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ SİMÜLASYONLA ANALİZİ

Bu bölümde buraya kadar anlatılanlara örnek olması açısından elektronik cihazlar üreten (ses sistemi, cep telefonu, sensörler...) dünyanın önde gelen firmalarının birinin SMD (Surface Mount Device) bölümünde bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma literatüre taramasına benzer şekilde Endüstri 4.0 teknolojilerinin sağlayacağı imkanlar simülasyon tekniği kullanılarak incelenip, mevcut durum ile karşılaştırılmaya konulmaya çalışılmıştır.

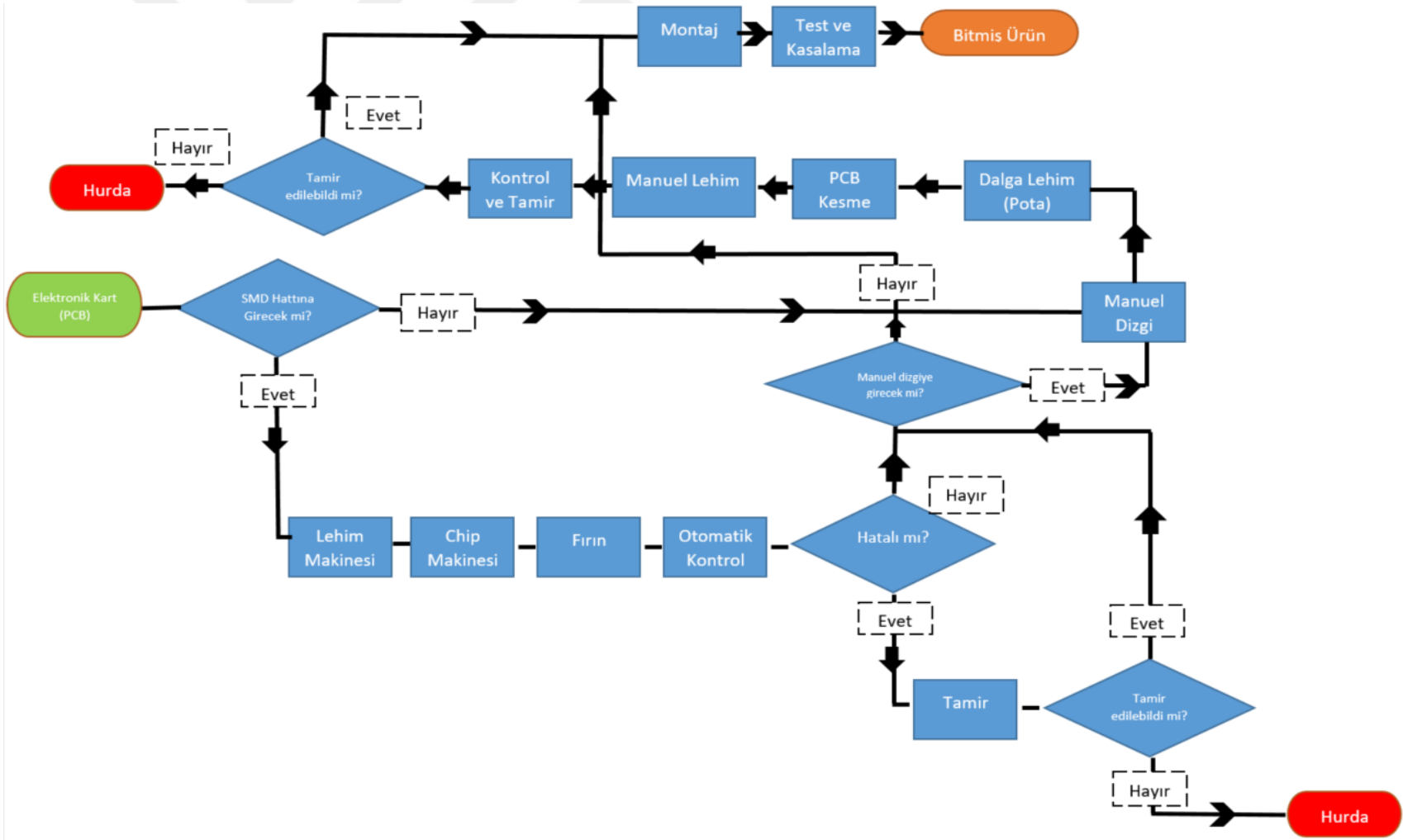
5.1 Mevcut Durum Analizi

SMD Bölümünde, SMD komponentleri (dirençler, kapasitörler, led, diyotlar, transistörler, indüktörler, mikrodenetleyiciler...) baskılı devre kartları (PCB) ile birlikte çeşitli işlemlerden geçirilmekte ve cihazların elektronik kartlarının nihai hali oluşturulmaktadır.

Simülasyonu gerçekleştirilecek olan SMD Bölümünün yerleşimi ve malzeme akışı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Ayrıca simülasyon algoritması Şekil 5.2’deki gibi çıkarılmıştır. Baskılı devre kartları (PCB) öncelikle SMD Hattına girecekse Lehim/Yapıştırma Makinesine (Solder Paste / Glue Machine) yüklenmektedir. SMD Hattı SMD Bölümünde; Lehim/Yapıştırma makinesi, Chip Makinesi Fırın ve Otomatik Kontrol Makinesinden oluşan hattır. Hattın sonunda Otomatik Kontrol Makinesinde tespit edilen arızalar ve hatalar makinenin yan tarafında bulunan tamir bölümünde düzeltilmeye çalışılmakta ya da hurda olarak ayrılmaktadır. Burada PCB’ler istenildiği zamanda ve adette temin edilebildiğinden kaynak kısıtı yoktur ve sonsuz kaynak olarak düşünülmüştür. Daha sonra SMD Hattından çıkan çipli ve SMD Hattına girmeyecek olan baskılı devre kartları Manuel Dizgi’ye (manual composition) geçer. Manuel dizgi işlemi biten tüm kartlar Dalga Lehim Makinesine (Wave Soldering Machine) ilerler. Eğer fiziki yapısından dolayı Manuel Dizgide takılamayan elektronik komponentler mevcut ise bu komponentler manuel lehim (manual soldering)



Şekil 5.1 : SMD bölümü yerleşimi



Şekil 5.2 : Simülasyon algoritması

kısmında elle çalışanlar tarafından takılıp lehimlenmektedir. Ardından tüm lehimlerin ve komponentlerin eksiksiz takıldığı kontrolü Lehim Kontrol masasından manuel olarak gerçekleştirilir. Manuel Lehime girmeden önce PCB kesme makinesinde PCB'ler ek yerlerinden belirli parçalara ayrılır. Daha sonra montaj işleminde el ile kırma yapılarak her bir elektronik cihaza montajı tek tek gerçekleştirilip test edildikten sonra kasalanır.

Simülasyon uygulamasının ilk adımı olarak süreçler incelendikten sonra tüm üretim proseslerinden veriler toplanmıştır. Toplanan bu veriler ve yapılan ölçümler Çizelge 5.3'de gösterilmiştir. Her bir proses değişkeni için en az 30 ölçüm yapılmıştır. Daha sonra bu üretim verileri Input Analyzer programı yardımıyla prosesi temsil edecek dağılımlara uydurulmuştur. Çalışmanın ek kısmında programın analiz sonuçlarının ekran görüntülerine ulaşabilirsiniz. Proses verilerini temsil eden dağılımlar Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Üretim proses verilerinin dağılım sonuçları.

Proses Adı	Dağılım
Manuel Dizgi	TRIA(375, 459, 482)
PCB Kesme	NORM(24,6, 2,83)
Manuel Lehim	56 + 101xBETA(1,15, 1,56)
Kontrol ve Tamir	13 + GAMM(9,27, 1,1)
Montaj	NORM(47,3, 4,39)
Test ve Kasalama	NORM(7,52, 0,742)

Dağılıma uydurulan bu veriler (Manuel Dizgi, PCB Kesme, Manuel Lehim, Kontrol ve Tamir, Montaj, Test ve Kasalama) emek yoğun işlerden toplandığından değişkenlikleri fazla olmasından dolayı bir dağılımla temsil edilme gereği duyulmuştur. Makinelerin (Lehim Makinesi, Chip Makinesi, Fırın, Otomatik Kontrol Makinesi, Dalga Lehim Makinesi) gerçekleştirdiği proseslerin süreleri hemen hemen aynı olduğundan sabit alınmıştır. Bu makine yoğun işler ve ölçülen Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Burada Çizelge 5.3'ün ilk satırında makine isimlerinin altında parantez içinde yazan sayılar baskılı devre kartının (PCB) çoklama adetini ifade etmektedir ve belirtilen o adedi işlemek için gerekli olan süre çizelgede ifade edilmiştir. Bir kart ilk işleme başladığında 21 adet çoklamadan oluşmaktadır (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4) .

Çizelge 5.2 : Makinelerin proses süreleri.

Makine Adı	İşlem Süresi (sn)
Lehim Makinesi	31
Chip Machine	34
Fırın	32
Otomatik Kontrol Makinesi	33
Dalga Lehim	33



Şekil 5.3 : Manuel dizgi işlemindeki 21 çoklamalı PCB.



Şekil 5.4 : Chip Makinesinden çıkmış 21 çoklamalı PCB.

PCB kesme işleminde kartlar 3'lü gruplara ayrılmakta ve 1 karttan 7 set oluşmaktadır (Şekil 5.5), Montaj işleminde ise 3'lü setlere ayrılan parçalar, tekli parçalara ayrılmakta, her bir ürün için montajı gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.6).

Çizelge 5.3 : Proses Verileri.

Ölçüm No	Lehim Makinesi (21)	Chip Machine (21)	Fırın (21)	Otomatik Kontrol (21)	Manuel Dizgi (21)	Dalga Lehim (21)	PCB Kesme (21)	Manuel Lehim (3)	Kontrol ve Tamir (3)	Montaj (1)	Test ve Kasalama (1)
1	29,1	32,5	34,5	33,0	375	33,6	26,3	80,3	47,0	50,9	8,0
2	28,5	36,0	33,2	29,7	425,8	27,6	22,2	123,8	46,4	45,4	8,8
3	33,4	32,3	33,4	36,5	451,1	28,0	32,6	60,2	38,3	52,1	7,8
4	28,2	34,1	28,4	31,7	456,5	25,9	19,3	110,9	41,1	49,1	8,9
5	28,8	32,5	32,2	30,9	476,3	34,3	23,7	111,3	36,8	49,1	8,1
6	33,6	31,2	31,2	32,2	417	39,2	24,8	86,9	39,6	51,9	7,8
7	30,1	32,5	32,6	32,6	457,8	34,2	27,5	82,9	14,6	47,5	7,4
8	30,4	32,7	28,6	29,9	474,7	34,7	22,5	85,2	26,3	46,8	6,5
9	32,5	32,5	30,6	32,5	481,3	35,5	22,0	83,7	13,7	46,5	6,3
10	33,7	34,2	31,6	33,8	444,7	30,9	20,6	114,1	19,5	47,7	6,7
11	30,0	34,2	34,4	35,9	423,5	32,4	21,3	120,6	14,1	44,8	7,6
12	31,6	32,3	31,9	33,7	455,7	39,1	19,7	71,5	16	48,4	6,4
13	30,1	35,9	30,1	34,9	391,5	27,8	29,6	112,3	14,4	54,8	7,6
14	32,8	31,9	33,9	29,8	446,8	35,4	22,2	86,5	14	57,1	7,9
15	32,3	33,8	30,1	29,8	464,2	38,6	25,2	67,2	15,1	47,1	7,4
16	31,9	34,8	29,5	31,1	444,7	38,6	24,9	68,7	24,2	48,4	7
17	31,5	34,0	29,0	30,9	424,2	36,5	24,9	56,9	13,6	44,8	9,4
18	29,2	35,9	33,0	36,1	477,9	35,1	22,6	77,1	15,8	46,8	8,2
19	31,0	34,3	33,2	32,9	456,9	26,5	25,5	112	14,5	48,6	7,6
20	32,3	35,3	33,4	33,0	401,0	26,6	23,7	118,7	19	46,4	6,5
21	29,4	33,9	29,0	33,8	459,8	30,6	25,2	134,9	21,3	40,2	8,1
22	32,2	33,2	32,2	35,8	424,3	37,4	25,8	156,1	21,1	55,4	6,3
23	29,7	31,7	33,1	31,4	434,4	31,3	27,1	135	19	48,4	7,2
24	33,2	32,8	31,8	29,7	391,0	29,0	24,7	129,6	33,3	47,5	8,5
25	33,4	33,6	31,6	31,7	423,2	32,1	23,5	76,7	17,6	45,7	7,6

Çizelge 5.3 (devam): Proses Verileri.

Ölçüm No	Lehim Makinesi (21)	Chip Machine (21)	Fırın (21)	Otomatik Kontrol (21)	Manuel Dizgi (21)	Dalga Lehim (21)	PCB Kesme (21)	Manuel Lehim (3)	Kontrol ve Tamir (3)	Montaj (1)	Test ve Kasalama (1)
26	28,9	35,3	31,4	35,2	418,1	31,8	22,8	109,3	24,1	46,4	8,6
27	29,0	33,8	33,1	32,3	377,8	35,3	27,6	106,7	25,6	44,0	7,3
28	33,4	32,0	33,2	30,5	459,4	29,5	25,4	128,1	20,9	52,7	8
29	32,9	35,5	34,1	31,9	460,3	38,5	27,1	66,4	21,9	52,5	7,4
30	30,2	33,8	31,7	34,3	462,3	32,9	26,4	92,8	20,9	44,3	6,8
31									24,4	51,4	6,6
32									14,2	43,9	7,6
33									14,6	54,6	7
34									18,1	52,6	7,8
35									22,7	50,0	6,8
36									22	43,7	7,9
37									27,5	43,4	7,7
38									26,9	48,6	6,9
39										47,7	7,2
40										50,7	
41										44,2	
42										47,1	
43										40,3	
44										47,0	
45										46,4	
46										38,3	
47										41,1	
48										36,8	



Şekil 5.5 : PCB Kesme makinesinde kesilmiş 3 çoklamalı elektronik kart.



Şekil 5.6 : Montaj işleminde tekli elektronik devreler.

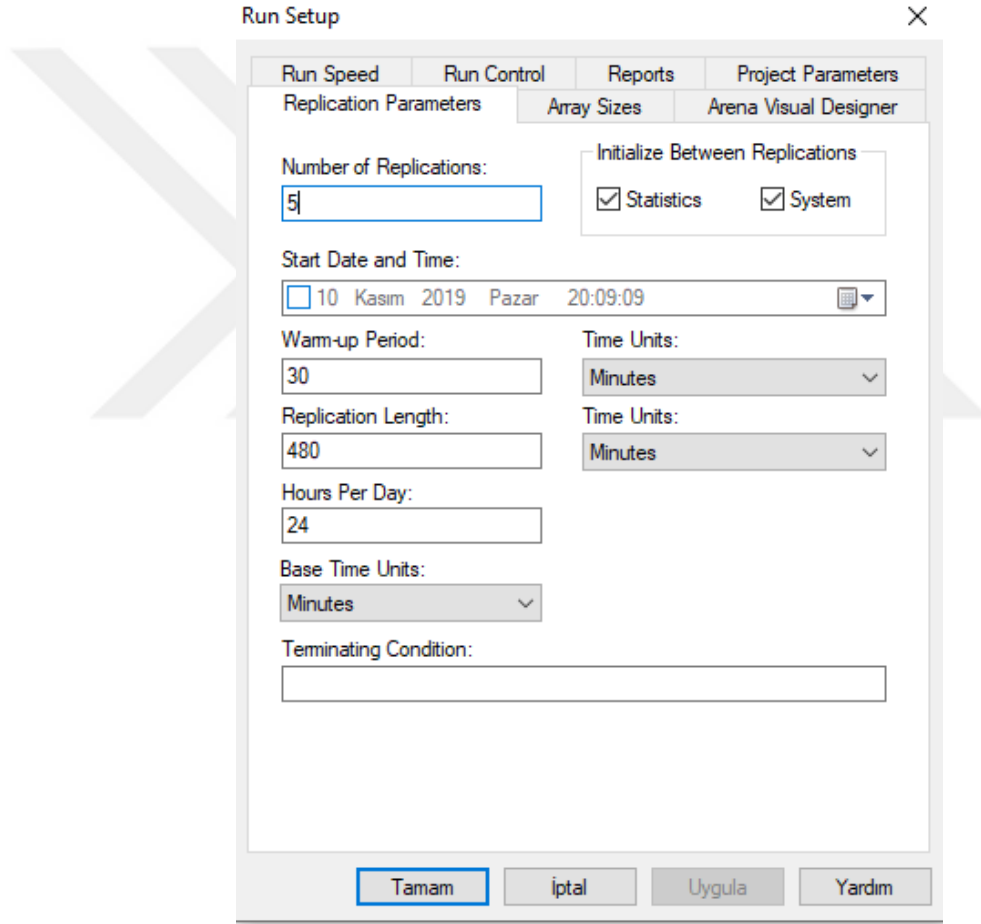
Tamir prosesinin süresi SMD Mühendisliğinin verileri neticesinde sabit 30dk olarak kabul edilmiştir. Yine SMD Mühendisliğinden elde ettiği 2018 verilerinin ışığında simülasyon karar kutularında kullanılacak, belirlenen hata olasılıkları Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

2018 yılında SMD Bölümünde 301.143 adetlik üretim gerçekleşmiştir. Bu üretimin 38.707 adetlik kısmı SMD hattına girmeden direkt manuel dizgi prosesinden işlem görmeye başlamıştır. Yani 2018 yılında gerçekleşen üretimin %87'lik bölümü SMD hattına girmiş, geri kalan %13'lük kısım ise SMD hattına girmeden manuel dizgi prosesine devam etmiştir. SMD hattından geçen 262.436 adet üründen 7.058 adedi (%3'ü) direkt montaj adımına devam ederken, geri kalan %97'lik kısım manuel dizgi işlemine geçmiştir. Bu verilerin ışığında Çizelge 5.4 simülasyon çalışmasında kullanılmak üzere elde edilmiştir.

Çizelge 5.4 : Simülasyon karar kutuları ve hata olasılıkları.

Karar Kutuları	Evet	Hayır
SMD hattına girecek mi?	0,87	0,13
Hatalı mı? (Otomatik Kontrol)	0,039	0,961
Tamir edilebildi mi? (SMD Hattı Sonu)	0,10	0,90
Manuel dizgiye girecek mi?	0,97	0,03
Tamir edilebildi mi? (Kontrol ve Tamir Sonucu)	0,88	0,12

Simülasyon modeli yukarıdaki bilgiler ışığında Şekil 5.7'deki gibi, yaygın olarak simülasyon yaklaşımlarında kullanılan Arena Simülasyon Programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Simülasyonun Tekrarlama Parametreleri (Replication Parameters) Şekil 5.8'deki gibi tanımlanmıştır.

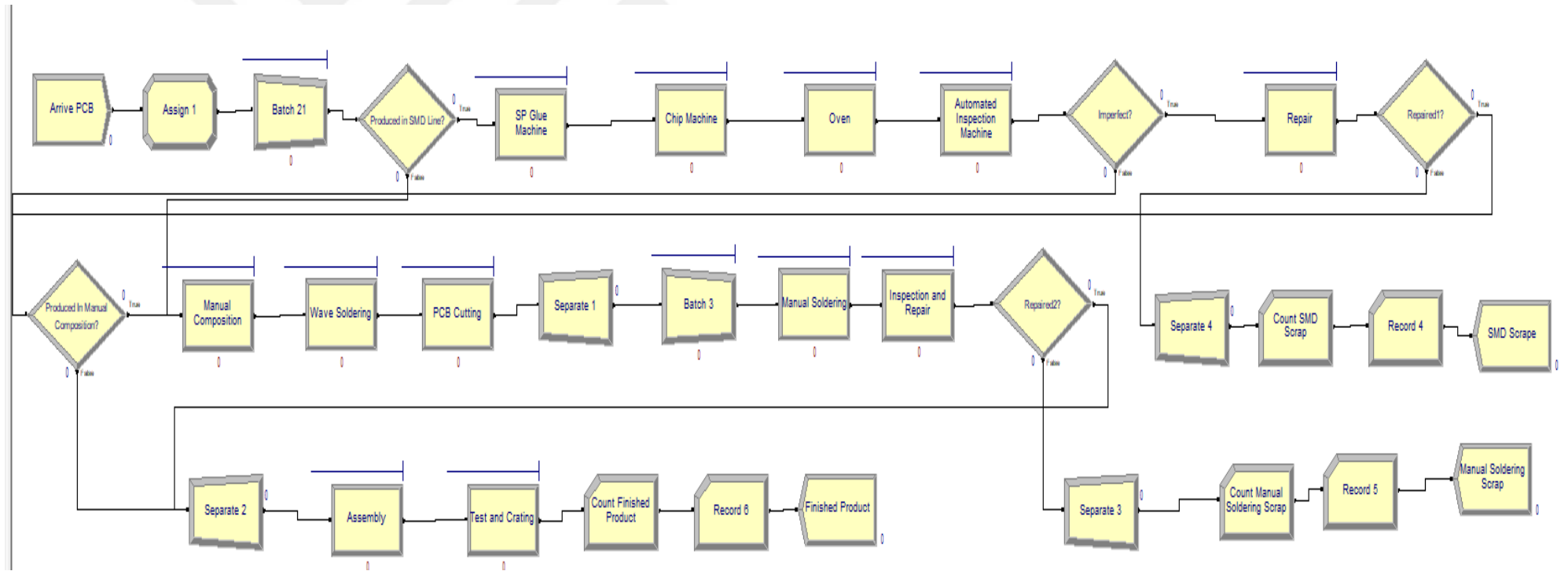


The image shows a screenshot of the 'Run Setup' dialog box in Arena simulation software. The dialog box has a title bar with 'Run Setup' and a close button. It contains several tabs: 'Run Speed', 'Run Control', 'Reports', 'Project Parameters', 'Replication Parameters', 'Array Sizes', and 'Arena Visual Designer'. The 'Replication Parameters' tab is active. The dialog box contains the following fields and controls:

- Number of Replications:** A text box containing the value '5'.
- Initialize Between Replications:** A group box containing two checked checkboxes: 'Statistics' and 'System'.
- Start Date and Time:** A date and time picker showing '10 Kasım 2019 Pazar 20:09:09'.
- Warm-up Period:** A text box containing the value '30'.
- Time Units:** A dropdown menu set to 'Minutes'.
- Replication Length:** A text box containing the value '480'.
- Time Units:** A dropdown menu set to 'Minutes'.
- Hours Per Day:** A text box containing the value '24'.
- Base Time Units:** A dropdown menu set to 'Minutes'.
- Terminating Condition:** An empty text box.

At the bottom of the dialog box, there are four buttons: 'Tamam' (highlighted), 'İptal', 'Uygula', and 'Yardım'.

Şekil 5.7 : Tekrarlama parametreleri.



Şekil 5.8 : Üretim sisteminin Arena programındaki simülasyon modeli

Simülasyon modeli belirtildiği gibi çalıştırıldıktan sonra Şekil 5.9'un ışığında ilk olarak göze çarpan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

- Manuel prosesler (Manuel Lehimleme ve Manuel Dizgi ve Montaj) bizim darboğaz istasyonlarımızdır, çünkü kuyruktaki bekleme süresi diğer işlemlerden çok daha yüksektir.
- Üretim miktarının yaklaşık %40'ı hurdadır, bu oran bir üretim sistemi için Kabul edilemeyecek kadar yüksektir (Şekil 5.10).

Replications: 5 Time Units : Minutes

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Assembly.Queue	126.73	12,27	109.42	133.82	3.5221	284.01
Automated Inspection Machine.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Batch 21.Queue	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.00	0.3333
Batch 3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chip Machine.Queue	22.3733	0,07	22.2833	22.4250	2.4333	42.2500
Inspection and Repair.Queue	0.00015332	0,00	0.00	0.00076658	0.00	0.2039
Manual Composition.Queue	233.23	1,62	231.68	234.92	26.2031	441.62
Manual Soldering.Queue	94.0058	6,20	87.9644	100.16	4.5365	185.09
Oven.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
PCB Cutting.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Repair.Queue	136.03	38,43	96.5911	182.54	0.00	336.67
SP Glue Machine.Queue	58.6801	3,92	53.4945	62.0753	6.5167	112.87
Test and Crating.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wave Soldering.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Şekil 5.9 : Simülasyon sonuçları -1.

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Count Finished Product	571.40	3,35	567.00	574.00
Manual Soldering Scrap	103.20	12,52	90.0000	114.00
SMD Scrap	281.40	14,28	273.00	294.00

Şekil 5.10 : Simülasyon sonuçları – 2.

5.2 Gelecek Durum Senaryoları

İlk olarak, bekleme problemini, önceki bölümlerde belirtilen Endüstri 4.0 teknolojileri ile çözebiliriz. Örneğin, manuel prosesler (Manuel Lehimleme ve Manuel Dizgi ve Montaj) aktüatör, sensör ve wireless teknolojilerinin kullanıldığı otomatik işlemlere dönüştürülebilir. Bu teknolojilerin uygulanmasından önce, sistemi bu şekilde simüle edilebilir ve sistemi maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırabiliriz.

5.2.1 Manuel prostedeki çalışan sayısının arttırılması durumu

Proses Analyzer programı yardımıyla mevcut durumdaki simülasyon parametrelerinde ilk olarak manuel proseslerdeki bekleme sürelerini azaltmak için çalışan sayısını attırma durumu izelge 5.6’da incelenmiştir. Daha sonra bu prosesler uygulanacak Endüstri 4.0 teknolojileri ile iyileştirildiği simülasyon modeli ile karşılaştırılmıştır. Ücret bilgileri ve teknoloji maliyetleri elde edildiği takdirde bu iki sistem arasında kıyaslama sistemler gerçek hayatta kurulmadan basit bir şekilde yapılabilir olacaktır.

Çizelge 5.5 : Bekleme Sürelerinin Azaltılmasında alışan Sayılarının Etkisi

	Scenario Properties			Controls			Responses			
	S	Name	Program File	Reps	Montaj İşçi Sayısı	Manuel Dizgi İşçi Sayısı	Manuel Lehim İşçi Sayısı	Manual Soldering.Queue.WaitingTime	Manual Composition.Queue.WaitingTime	Assembly.Queue.WaitingTime
1		Scenario 1	1 : Model1 -	5	1.0000	1.0000	1.0000	94.006	233.231	126.735
2		Scenario 2	1 : Model1 -	5	8.0000	16.0000	21.0000	0.404	0.333	0.789

Senaryo 1’de mevcutta her bir manuel prostedeki 1 çalışan olduğu durumdaki oluşacak ortalama bekleme süreleri; Manuel Lehim Prosesi (Manual Soldering) için 94 dk, Manuel Dizgi Prosesi (Manual Composition) için 233,2 dk, Montaj Prosesi (Assembly) için 126.7 dk olacaktır. Senaryo 2’de bekleme sürelerini (bu üç manuel proses için) 1 dk’nın altına çekmek istediğimizde bu prosesler için belirlenen minimum çalışan sayısı; Montaj için 8, Manuel Dizgi için 16, Manuel Lehim için 21 kişi olmaktadır. Ortalama bekleme sürelerdeki bu azalışın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına bakmak için Z testi 0,95 güven aralığı için hipotezler ile birlikte aşağıdaki gibi yapılmıştır;

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (5.1)$$

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - 0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (5.2)$$

Fark çok fazla ve standart sapmalar küçük olduğundan belirtilen güven aralığının dışında kalacağı aşıkârdır. Dolayısıyla H_0 hipotezi reddedilir ve H_1 hipotezi kabul edilir; tüm ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Özetle mevcut sürece ek olarak ldk'nın altında bekleme süresi hedeflendiği durumda 42 kişilik fazladan işgücüne ihtiyaç olacaktır. Bu kadar kişinin çalışacağı ortamı yaratmak da fazladan katlanması gerekecek diğer maliyet kalemini oluşturacaktır. İşletmenin 3 vardiya çalıştığı düşünülürse fazladan 126 kişinin istihdam edilmesi gerekmektedir. Bu kadar kişinin doğuracağı maliyet ile yapılacak Endüstri 4.0 teknolojisi yatırımının maliyeti kolaylıkla kıyaslanabileceği gibi, Endüstri 4.0 teknolojilerinin özelliklerinin sağlayacağı avantajlar simülasyon üzerinde benzer şekilde simüle edilerek karar vermek için destek sağlanabilecektir. Ayrıca makine ve teknoloji kullanımına geçilmesi diğer bir sorun olan kalitesizlik probleminin giderilmesine ve hurda oranlarının düşürülmesine yardımcı olacaktır.

Diğer bir tespit edilen sorun olan kalite sorununu çözmek için başka bir Endüstri 4.0 teknolojisi olarak görüntü incelemede kullanılan kamera araçlarını ve teknolojilerini uygulayarak kaliteyi artırabiliriz. Yine belirlenen bu teknolojilerin sağlayacağı avantajları mevcut simülasyonda karar kutularındaki oranları değiştirerek sonuca etkilerini inceleyebilir ve yorumlayabiliriz.

Tüm bu anlatılan Endüstri 4.0 teknolojileri bir bütün olarak ele alındığında, yukarıdaki örnek gibi simülasyon yaklaşımı kullanılarak farklı senaryolar altında maliyet ve fayda açısından analiz edilebilir.

5.2.2 Manuel proseslerin otomatik işlemlere dönüştürülmesi durumu

Bu bölümde yukarıda bahsedilen Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması durumunda kalite ve bekleme sürelerindeki öngörülen iyileşme simülasyon ile analiz edilmeye çalışılmıştır.

Manuel dizgiden sonra kullanılacak görüntü işleme teknolojisi ile otomatik kontrol sağlanarak dizgiden kaynaklı hatalı ürünler daha lehimlenmeden tespit edilip ayrılacak, bu sayede yarı mamül dalga lehim makinesine girmeden dizgisi kolaylıkla düzeltilebilecek, kalitenin artması ve hurdanın azalmasıyla birlikte, aynı zamanda Kontrol ve Tamir prosesinin sürelerinde iyileşme sağlanabilecektir.

Bununla birlikte bir önceki bölümde çalışan sayılarının arttırılması ile azalması sağlanabilecek manuel proseslerdeki bekleme süreleri, diğer Endüstri 4.0 teknolojilerinden olan sensör ve aktüatörleri barındıracak bir makineleşme ile otomatikleştirilmesi sağlanabilir. Bu teknolojilerin uygulanması çalışan sayısının

arttırılarak bekleme süresinin azaltılmasına benzer faydanın yanı sıra insan hatası kaynaklı kalite problemlerinin de çok büyük ölçüde azalmasını sağlayacaktır.

Aktüatör ve sensör teknolojilerini barındıran bu makinelerin birbiriyle haberleşmesi de diğer bir Endüstri 4.0 teknolojisi olan wireless network / wireless sensor network ile sağlandığı durumda süreç içi stokların önüne geçilip makinelerin birbiriyle koordinesi sağlanabilecek ve stok maliyetleri de azaltılabilecektir. Bu sensör ve wireless teknolojisi ile üretimin anlık izlenmesi ve adet takibinin de sağlanması beklenmektedir. Üretim adetlerinin ve performansının anlık takibi ile müşteri terminlere ve üretim programına daha fazla uyum sağlanabileceği gibi karar vermeye de destek oluşturabilecektir.

Simülasyon çalışmasında, yukarıdaki anlatılan teknoloji uyarlamaları ve iyileştirme çalışmaları sonucunda kontrol ve tamir prosesi neticesinde hurdaya ayrılan miktarın neredeyse tamamında iyileşme olacağı varsayımında bulunularak yeni simülasyon senaryosu kurgulanmıştır (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.6 : Yeni simülasyon senaryosu karar kutuları ve hata olasılıkları

Karar Kutuları	Mevcut Durum		Yeni Senaryo	
	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Tamir edilebildi mi? (Kontrol ve Tamir Sonucu)	0,88	0,12	0,99	0,01

Endüstri 4.0'ın getirdiği aktüatör ve sensör teknolojileri ile otomatikleştirilen Manuel Dizgi, Manuel Lehim ve Montaj proseslerinin süreleri, mevcut makinelerin sürelerine benzer olacağı varsayılarak mevcut makinelerin işlem sürelerinin ortalaması sabit 32 saniye olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.8).

Aynı tekrarlama parametreleri altında koşum, yeni simülasyon senaryosunun parametreleri ile gerçekleştirildiğinde Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'deki sonuç değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.7 : Makinelerin proses süreleri ve ortalaması

Makine Adı	İşlem Süresi (sn)
Lehim Makinesi	31
Chip Machine	34
Fırın	32
Otomatik Kontrol Makinesi	33
Dalga Lehim	33
Ortalama	32

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value
Assembly.Queue	179.50	5,44	172.40	183.53	17.1291
Automated Inspection Machine.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00
Batch 21.Queue	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.00
Batch 3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00
Chip Machine.Queue	22.3550	0,10	22.2250	22.4250	2.4000
Inspection and Repair.Queue	0.04301789	0,01	0.03634667	0.05773224	0.00
Manual Composition.Queue	20.9607	5,67	16.2261	26.2844	0.8667
Manual Soldering.Queue	214.49	0,53	214.20	215.21	22.2646
Oven.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00
PCB Cutting.Queue	0.00001009	0,00	0.00	0.00002699	0.00
Repair.Queue	116.89	60,18	64.7489	180.76	0.00
SP Glue Machine.Queue	54.9608	3,15	52.1157	57.3803	6.1667
Test and Crating.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00
Wave Soldering.Queue	7.5783	0,10	7.4583	7.6417	0.6500

Şekil 5.11 : Yeni Simülasyon Sonuçları -1

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Count Finished Product	844.00	0,00	844.00	844.00
Manual Soldering Scrap	28.8000	9,35	18.0000	39.0000
SMD Scrap	302.40	23,32	273.00	315.00

Şekil 5.12 : Yeni Simülasyon Sonuçları – 2

Simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde hurda miktarı beklenen şekilde teknoloji uygulamaları sonucu azalmıştır. Mevcut durumda çıktının %15'ini ıskartalar oluştururken yeni senaryoda bu oran % 3 olarak gerçekleşmiştir.

Yine aktuatör ve sensör teknolojilerinin de birlikte kullanıldığı makineleşen proseslerden Manuel Dizgide (Manual Composition) bekleme süresi yaklaşık %91 oranında azalmıştır. Çıktı miktarı mevcut durumda 956 olarak gerçekleşmişken, yeni senaryoda 1175 olmuş ve %23'lük bir artış göstermiştir.

Ancak teknolojilerin uygulandığı diğer proseslerde, çıktı miktarı artmasına rağmen bekleme sürelerinde iyileşme beklenirken simülasyon sonucunda artış gözlemlenmiştir. Manuel Lehim (Manual Soldering) prosesinde mevcut durumdaki bekleme süresi 94 dk iken, yeni senaryoda bu süre 214 dk'ya çıkmıştır. Montaj (Assembly) prosesinde bekleme süresi mevcut durumda analiz sonucunda 126 dk olarak elde edilmişken, yeni senaryoda 179 dk olarak gözlemlenmiştir. Sistem bir bütün olarak ele alındığında manuel dizgi prosesinde teknoloji uygulaması ile azalan

işlem süresi diğer proseslerde darboğaz oluşturmaya devam etmiştir. Bekleme sürelerini azaltmak ve yalın bir akış oluşturulabilmesi için manuel dizgi sürelerinin arttırılacağı daha uygun maliyetli bir makine yatırımı düşünülebileceği gibi, manuel lehim (manual soldering) ve montaj (assembly) proseslerini daha hızlı gerçekleştirecek bir teknoloji yatırımı da gerçekleştirilebilir.

Görüldüğü gibi simülasyon çalışması görünmeyeni görünür kılıp senaryolar üzerinde hızlıca değişiklik yapma imkânı sunar. Bu sayede elde edilen sonuçlar karar vermeyi kolaylaştırır ve yanlış yatırım kararlarının önüne geçer.

Mevcut çalışma ışığında çeşitli senaryolar türetilmeye karşılaştırılmaya devam edilebilir, bununla birlikte fayda maliyet analizi ile karşılaştırma daha detaylı bir şekilde yapıp analiz başa baş grafikleriyle geliştirilebilir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Literatür analiz edildikten ve literatür incelemesinin sonuçları sunulduktan ve bir uygulama yapıldıktan sonra bu bölümde, ilk bölümde hâlihazırda sunulan her bir araştırma sorusu ayrı olarak tartışılmakta ve genel araştırma sorusunun bir yanıtı bu raporun tüm içeriğinin bir özeti olarak ifade edilecektir. Sonuç olarak bu çalışmanın ve gelecekteki araştırma alanlarının sınırlandırılması kısaca tartışılacaktır.

6.1 Analiz Sonuçları

Tezin ilk bölümünde, araştırmanın kapsamının yanı sıra genel araştırma sorusu ve alt araştırma soruları sunulmuştur. Bu bölümde araştırma soruları yapılan çalışmanın ışığında tek tek cevaplanacaktır.

1) *Üretim sistemlerinde kullanılan Endüstri 4.0 teknolojileri nelerdir?*

Bu soru konuyla ilgili en temel kavramlardan biri olan Endüstri 4.0 teknolojileriyle ilgiliydi. İlk olarak bölüm 2.1'de, bir sonraki bölümü anlamak için Endüstri 4.0 konsept tanımı, arka planı ve faydaları ve Endüstri 4.0'ın yapı taşları sunuldu. Almanca Endüstri 4.0 terimi dördüncü sanayi devrimini anlamına gelir. Endüstri 4.0 ve diğer üç endüstriyel devrimin değerlendirilmesi Şekil 3'te gösterilmiştir.

Endüstri 4.0 sadece bir kavramdır, arkasındaki şey üretim sistemlerinde bunu mümkün kılan ilgili teknolojilerdir. Bu bilgiler, üretim sisteminde Endüstri 4.0 ile ilgili temel teknoloji tanımını içeren bölüm 2.2'de sunulmuştur. Endüstri 4.0, Akıllı Fabrika için önemli olan bu teknolojilerin uygulanmasını içerir. Bu bölüme göre, temel Endüstri 4.0 teknolojileri kısaca Çizelge 6.1'de belirtilmiştir.

Belirtilen Endüstri 4.0 teknolojileri pek çok fayda sağlamakla kalmaz, aynı zamanda birçok zorluğu da beraberinde getirir. Bir sonraki araştırma sorusunda bu zorlukların neler olduğunu sunmaya çalıştık.

Çizelge 6.1 : Endüstri 4.0 teknolojileri.

Teknoloji	Tanım
Wireless sensor network (WSN)	Çoklu sensörler (sensör düğümleri) kablosuz olarak birlikte kullanılır ve aralarında iletişim kurarak etkileşime girer, buna Wireless sensor networks (WSN) denir.
Aktüatörler	Aktüatörler, hareketi ve değişimi yönlendiren otomatik sistemlerin bileşenleridir.
Radio Frequency Identification (RFID)	RFID, elektromanyetik alanlar üzerinden kablosuz olarak iletilebilen elektronik bilgiler içerir.
Middleware	Middleware; aktüatörler, sensörler vb. gibi büyük miktarlarda veri üreten Endüstriyel İnternet donanımlarını, bu verileri daha çok analiz için kullanan uygulamalara bağlar.
Big data and ileri analitik	Büyük (terabaytlardan exabaytlara), karmaşık (sensörden sosyal medyaya) geleneksel veritabanlarının ve işleme araçlarının yönetemediği yapılandırılmış veri miktarlarına büyük veri denir.
Cloud computing	Bulut hizmeti, üretim sistemleri için büyük miktarda verinin depolanmasını ve işlenmesini sağlar.
Arttırılmış Gerçeklik	Arttırılmış gerçeklik (AR), gerçek dünyada bulunan nesnelere, bazen görsel, işitsel, dokunsal hatta koku alma da dahil olmak üzere birden fazla duyuşsal yöntemle bilgisayar tarafından üretilen algısal bilgilerle geliştirildiği gerçek dünya ortamının bir deneyimidir.
Simülasyon ve sanallaştırma	Simülasyon modellemesi ve test için kullanılan dijital ikizler oluşturmak için Endüstri 4.0 sanallaştırmayı kullanır.
Katmanlı üretim (3-D Yazdırma)	Additive manufacturing (örn. 3D yazdırma) müşteri beklentilerine göre ürün tasarımı geliştirmeyi kolaylaştırır.

2) *Üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında ne tür zorluklarla karşılaşılmaktadır?*

Endüstri 4.0 kavramı ve teknolojileri sunulduktan sonra, bölüm 2.3'te Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamalarında literatürde ele alınan zorlukları belirtmeye çalışılmıştır. Bu zorlukları bölüm 2.3'teki ana başlıklar altında detaylı olarak anlatılmıştır. Bunlar;

- Rekabetçilik ve gelecekteki sürdürülebilirlik
- Organizasyon ve üretime uygunluk
- Çalışanların nitelikleri ve yetkinlikleri
- Teknik zorluklar;
 - Akıllı karar verme ve müzakere mekanizması,
 - Yüksek hızlı endüstriyel kablosuz ağ (IWN) protokolleri,
 - Spesifik büyük verilerin ve analitiklerinin üretilmesi,
 - Sistem modelleme ve analizi,
 - Siber ve mülkiyet güvenliği,
 - Modüler ve esnek ürünler.

Endüstri 4.0, oldukça dinamik bir rekabet ortamında gerçekleşmektedir. Ayrıca, Endüstri 4.0 tamamen yeni ve farklı endüstriler yaratır, endüstri sınırlarını yeniden şekillendirir ve oturmuş üretim düzenlerini yeni rekabet zorluklarına maruz bırakır. Yeni rakiplerin pazara girişinin kolaylaşması ve gittikçe artan rekabet dinamikleri, Endüstri 4.0 çağının en önemli zorlukları arasında yer alıyor.

Endüstri 4.0'ın uygulanmasında üretim ve organizasyon yapısının da değişebileceği göz önünde bulundurularak, şirket büyüklüğüne veya farklı üretim yapılarına göre özel olarak planlanmalıdır.

Yeni kavramların ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin hayata geçirilebilmesi için çalışanların kalifiye olması gerekir. Ayrıca, işletmeler şu niteliklere sahip çalışanlara sahip olmalıdır; öğrenme isteği, sosyal ortamlarda yaratıcı problem

çözme, ağ teknolojilerini anlama, veri analizi ve işleme ve pratik çözüm bulma becerisi. Bu nitelikleri geliştirmek işletmeler için bir zorluktur.

Endüstri 4.0 uygulaması teknik altyapıya ihtiyaç duyar, ancak bu altyapı diğer birçok zorluğu da beraberinde getirir. Örneğin, büyük miktarda veri kablosuz sensör ağ teknolojisi tarafından toplanır, ancak cevaplanması gereken temel sorular hangi verilerin toplanması gerektiği, bu verilerin nasıl toplanabileceği, verilerin nasıl analiz edileceğidir.

Bu zorlukları ortadan kaldırmak ve Endüstri 4.0 uygulamasının avantajlarını arttırmak için, bir sistemin simülasyonla modellenmesi, literatürde kullanılan temel yaklaşımlardan biridir ve diğer birçok faydayı beraberinde getirir.

3) Simülasyon neden gereklidir ve nerelerde kullanılabilir?

Bu soru, çalışmanın odaklandığı bir diğer temel kavramlardan biri olan simülasyon ile ilgiliydi. Temel araştırma sorusunu cevaplamak için simülasyon yaklaşımını, uygulama alanlarını ve üretim sistemindeki etkilerini anlayabilmeye yardımcı olması amaçlanmıştır. Simülasyon yaklaşımı, uygulama alanları ve üretim sistemindeki etkileri bölüm 3.1 ve bölüm 3.3'te anlatılmıştır.

Simülasyon, Endüstri 4.0'ın yapı taşları olan teknolojik trendlerden biridir. Üretim sistemlerinin optimizasyonunda büyük rol oynar. Simülasyon sadece üretim sistemlerinin optimizasyonunda kullanılmaz, aynı zamanda yeni teknolojilerin, algoritmaların, yöntemlerin ve tasarımların iyileştirilmesine ve değerlendirilmesine izin verir.

Yeni teknolojilerin / algoritmaların / yöntemlerin / tasarımların deneme yanılma yoluyla sisteme etkisini anlamak çok maliyetli olabilir. Simülasyon bunu gerçek sistemi değiştirmeden sağlar. Örneğin (Khakifirooz, Chien, & Chen, 2017), Endüstri 4.0'ın büyük veri analizi sorununu çözmek için önerilen büyük veri analizi tezini değerlendirmek ve geliştirmek için çalışmalarında simülasyon yaklaşımını kullanmışlardır.

Simülasyon yeni teknolojilerin benimsenmesine yardımcı olur. Yeni teknolojilerin benimsenmesi üretim sistemlerindeki bir diğer sorundur. Rodic (2017) işletmelerdeki benimseme problemini ortadan kaldırmak için yeni bir simülasyon modellemesi yaklaşımını kullanmaktadır.

Simülasyon, çalışanları eğitmek için de kullanılabilir. İşçiler için uygun maliyetli ve güvenli uygulama ve eğitim alanı sağlayabilir. Örneğin Blöchl ve Schneider (2016) geliştirdiği oyun uygulamasında çalışanları eğitmek için simülasyonu kullandı (Blöchl ve Schneider, 2016).

4) Simülasyon çeşitleri nelerdir?

Literatürde ve araştırmalarda kullanılan birçok simülasyon türü vardır. Literatürde kullanılan simülasyon yaklaşımını daha ayrıntılı olarak anlamak için simülasyon türleri bölüm 3.2'de sunulmuştur. Simülasyon modellerinin sınıflandırılmasından biri Şekil 3.1'de sunulmaktadır.

Simülasyon modelleri iki farklı temel model olarak sınıflandırılabilir; deterministik simülasyon modelleri ve stokastik simülasyon modelleri. Deterministik simülasyon modeli stokastik parametre içermez.

Stokastik simülasyon modeli en az bir stokastik parametre içerir, rassal çıktı sağlar ve sistemin özelliklerini istatistiksel olarak tahmin eder.

Bu iki model de kendi içinde iki farklı modele ayrılmıştır; statik simülasyon modelleri ve dinamik simülasyon modelleri. Statik simülasyon modelleri, sistemin durumunu belirli bir zamanda temsil eder. Bazen Monte-Carlo Simülasyon tekniği olarak adlandırılan statik bir simülasyon, simülasyonda kullanılacak bir olasılık fonksiyonundan rassal sayılar türetilmesidir. Dinamik simülasyon modelleri, bir zaman dilimi veya tüm işlem süresi boyunca sistemin durumunu temsil eder ve zamanla değişir.

Bu iki simülasyon modeli de kendi içinde iki farklı simülasyon modeline ayrılır; ayrık simülasyon modelleri ve sürekli simülasyon modelleri. Kesikli Olay Simülasyonu olarak adlandırılabilen ayrık sistem simülasyon modeli, değişken(ler)i sadece zaman içinde farklı noktalarda değiştirir. Sürekli sistem durum değişkenleri zaman içinde sürekli değişir.

Bu simülasyon türleri, Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasındaki zorlukları ortadan kaldırmak için kullanılabilir. Özellikle, Kesikli Olay Simülasyonu, çalışmanın literatür taraması ve analizinde yer alan makalelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (bkz. Çizelge 4.4).

Hsieh (2017) kesikli olay simülasyonunun tercih edilme sebeplerini şöyle sıralamıştır; kesikli olay simülasyonundaki esneklik bazı karmaşık stokastik sistemlerin analizini mümkün kılar, kesikli olay simülasyonu sistemle ilgili hemen her detayı modelde dikkate alabilir ve karar vermede Kesikli Olay Simülasyonu önemli bir analiz ve değerlendirme aracı haline gelmiştir (Hsieh, 2017).

(Fu, Ding, Wang, & Wang, 2017) Monte-Carlo Simülasyonunun çalışmalarında tercih edilmesinin bazı nedenlerini şöyle sıralamıştır; örneğin simülasyon setinin tekrarlama sayısının (replication length) sonsuza gitme eğilimi varsa, Monte Carlo Simülasyonu hedeflenen değere yaklaşmak için etkili bir araçtır, Monte Carlo Simülasyonu kolay ve basit bir uygulama olduğu için birçok stokastik optimizasyon problemiyle başa çıkmak için temel bir yöntemdir.

5) Hangi simülasyon türleri üretim sistemlerinde Endüstri 4.0'ın zorluklarını aşmaya yardımcı olabilir?

Bu soruyu literatür analiz edilerek bölüm 4.3'te cevaplandırılmaya çalışılmıştır. Simülasyonun genel olarak nasıl kolaylıklar ve çözüm yolları sağladığını şöyle özetleyebiliriz;

- Simülasyon yaklaşımı, farklı üretim hücresi / makine ayarlarının modellenmesi ve simüle edilmesi yoluyla üretim sürecinin veya ekipman kullanımının performansını artırır / optimize eder.
- Simülasyon belirlenen çeşitli alternatifleri farklı senaryolar altında karşılaştırabilir.
- Simülasyon, sorunları çözmek için dijital ortamda sistemin bir temsilini oluşturur.
- Simülasyon önerilen modelleri / algoritmaları / yöntemleri doğrular ve farklı koşullar altında test eder.
- Simülasyon, üretim sistemlerindeki bazı gereksinimleri karşılamak için farklı teknolojilerin entegre edilmesinde kullanılabilir.
- Simülasyon, çalışanların eğitim sorunlarını çözmek için oyun uygulamaları ile birleştirilebilir.

(Caggiano & Teti, 2018), Kesikli Olay Simülasyonu ve 3D Hareket Simülasyonunu birlikte kullanmıştır. Ayrık Olay Simülasyonu, üretim hücresi performans optimizasyonu ve analizi için kullanıldı ve aynı zamanda, bu çalışmada belirtilen performans ölçümlerini iyileştirmek için üretim hücresinin farklı ayarlarını incelemeye imkân tanımıştır.

Büyük veri analizi de Endüstri 4.0 uygulamasının zorluklarından biri olarak çalışmada belirtilmiştir. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için Khakifirooz (2017) büyük veri analizi yaklaşımını önermiş ve çalışmada önerilen bu büyük veri analizi yaklaşımını değerlendirmek ve doğrulamak için simülasyon kullanmıştır (Khakifirooz, Chien, & Chen, 2017).

Tuner (2016) simülasyon (Kesikli Olay Simülasyonu) ve sanal gerçeklik (VR tabanlı simülasyon sistemi) birleştirerek Endüstri 4.0'ın görselleştirme gereksinimlerini tam olarak karşılamaya çalışmıştır. Bu kombinasyon karmaşık veri kümelerinin etkilerini görüntülemeyi kolaylaştırmıştır. Diğer fabrika tabanlı sistemlerle entegrasyon yeteneğine sahiptir. Böylece, Endüstri 4.0 uygulama zorluklarından biri olan organizasyon ve üretim uyumunun sağlanmasına yardımcı olmuştur (Tuner, Hutabarat, Oyekan, & Tiwari, 2016). Yeni kavramları ve Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseyebilmek ve öğrenebilmek için çalışanların kalifiye olması gerekmektedir. Bu bağlamda; (Blöchl & Schneider, 2016), Endüstri 4.0'ın uygulanması için bir başka zorluk olan çalışanların eğitim ihtiyaçlarını karşılamak için simülasyonla birleştirilmiş bir oyun geliştirdi.

- 6) Üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında simülasyon yaklaşımının faydaları nelerdir?

Çalışmanın önceki bölümlerini kullanılarak simülasyonun faydalarını bölüm 4.4'te belirtilmiştir. Tüm bu faydalar, üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulama sorunlarını ortadan kaldırmaya yardımcı olur. Bölüm 4.4'e göre, Endüstri 4.0'ın uygulanmasına yönelik simülasyonun faydaları aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

- Simülasyon, analiz yetenekleri sağlar ve çözümün değerlendirmesini / karşılaştırılmasını ve sistem tasarımı üzerinde karar vermeyi destekler.

- Simülasyon, performans değerlendirmesine yardımcı olur, çizelgeleme için en iyi planı karşılaştırır ve seçer.
- Simülasyon, bir üretim sistemi için en iyi stratejinin tanımlanmasına ve üretim sürecinin veya ekipman kullanımının performansını arttırmak / optimize etmek için etkili bir şekilde karar verme sürecine yardımcı olur.
- Simülasyon, akıllı fabrikalar için önerilen algoritmalarındaki üretim etkinliğinin ve performansının ölçüm probleminin ortadan kaldırılmasına yardımcı olur. Üretim verimliliğini ve üretim planlarını değerlendirmek için simülasyon kullanarak ekstra maliyetlerden kaçınılabılır.
- Simülasyon, dijital ortamda yeni sistemi temsil ederek (yeni teknoloji) benimseme sorunlarını çözmeye yardımcı olur.
- Simülasyon, önerilen algoritmaların, yöntemlerin ve modellerin değerlendirilmesine ve karar verme sürecine yardımcı olur.
- Simülasyon ve bazı teknolojilerin (örn. Sanal gerçeklik) entegrasyonu, görselleştirme gereksinimlerini karşılar ve fabrika tasarımı / yerleşimine, ürün ve hizmet geliştirmeye yardımcı olur.
- Simülasyon, uygun ve hızlı modelleme çözümleriyle insan-robot etkileşiminin verimliliğini artırmaya yardımcı olur.
- Simülasyon oyunu, işçileri gerçek sistemin özellikleriyle yeni teknolojileri doğru bir şekilde kullanmaları ve uygulamaları için eğitmeye yardımcı olur. Böylece simülasyon, Endüstri 4.0 konseptini uygulamakta işçilerin eğitimi için bir fırsat sunmaktadır.

Modüler ve esnek olma gerekliliği, Endüstri 4.0 uygulamasının diğer bir zorluğu olarak zaten belirtilmişti. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için Furman (2017) lojistik planlama sistemlerini sundu ve dinamik simülasyonu akıllı sensörler aracılığıyla gerçek lojistik sistemlerine bağlayarak gerçek lojistik unsurlarının birbirine bağlanmasını sağladı. Simülasyon, gerçek sistemin sensörler aracılığıyla dijital dünya ile senkronize olarak temsil edilmesini

sağlar. Bu, yeni çözümleri değerlendirmeyi daha kolay hale getirir (Furmann, Furmannova, & Wiecek, 2017).

Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması için insan-makine etkileşimini geliştirmek amacıyla Dkalski (2017), geliştirdikleri İnsan Robotu İşbirliği Metodolojisinin bir parçası olarak simülasyon yaklaşımını kullanmışlardır. Bu çözüm, portatif taşınabilir bir komponent içinde görsel bileşenlerden ve sensörlerden oluşur (Dukalski, Çençen, Aschenbrenner, & Verlinden, 2017).

Xu (2016), Endüstri 4.0'ın bir başka teknik zorluğu akıllı karar verme ve müzakere mekanizmasını karşılamak için bir karar verme aracı olan akıllı beyin olarak simülasyon optimizasyonunu geliştirmişlerdir. Simülasyon optimizasyonu, endüstriyel sistemlerin verimliliğini önemli ölçüde iyileştirmek için kullanılabilir(Xu ve diğ., 2016).

Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulandığı bir sistemi tasarlarırken, zorlukların giderilmesi için (Zhang, Lu, Chen, Zhang, & Leng, 2017) tarafından simülasyon tabanlı fiziksel sistem modellemesi kullanılmıştır ve gerçek zamanlı verilerin kullanıldığı sistemin dijital tasarımı gerçekleştirilmiştir.

6.2 Sonuç

İlk ve en önemlisi, bu çalışmanın temel amacı, Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim sisteminde uygulanması için simülasyon yaklaşımının imkanlarını araştırmak ve anlamaktır. Araştırma boşluğunu ve amacını ele almak için Bölüm 1.2'de genel araştırma sorusu formüle edildi ve tüm araştırma süreci boyunca rehberlik edecek altı araştırma sorusuna ayrıldı. Bir Önceki bölüm 6.1'de, bu altı araştırma sorusu raporun önceki bölümleri tartışılarak cevaplanmıştır. Son olarak, bu altı araştırma sorusu sayesinde, genel araştırma sorusuna cevap vermek mümkündür: *Simülasyon yaklaşımı üretim sistemlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında ne gibi imkanlar sağlamakta ve hangi alanlarda kullanılmaktadır?*

Bu çalışma, araştırmanın konusu ile ilgili mevcut literatürü tanımak için Endüstri 4.0 paradigması ve simülasyon yaklaşımı hakkında bir literatür taraması ile başlamaktadır. Endüstri 4.0, birçok araştırma yapılmasına rağmen, hala genç bir araştırma alanıdır. Gerekli analizler yapıldığında Endüstri 4.0'ın arka planı, zorlukları ve teknolojileri ile simülasyon türleri ve kullanım alanı ile ilgili birçok literatür bulunmuştur.

Bu çalışmanın ana bölümünde, literatür taraması ve analizinde, tarama kriterlerine göre üç veri tabanından, Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması için simülasyonun sağladığı imkanlarla ilgili makaleleri elde ettik. Sonuç olarak, simülasyon Endüstri 4.0 teknolojilerinin farklı zorluklarını elimine etmeyi sağlar. Simülasyon, Endüstri 4.0 uygulaması ile ilgili sorunları çözmek ve uygulanan Endüstri 4.0 teknolojilerini geliştirmek için anahtar yaklaşımlardan biridir. Simülasyon, Endüstri 4.0 çağında çalışanların ve yeni teknolojilerin yeni sisteme adaptasyonunda kullanılabilir. Simülasyon, çalışanların gerçek sistemde yeni teknolojileri doğru bir şekilde kullanmaları ve uygulamaları için güvenli bir şekilde eğitilmesine yardımcı olur. Ayrıca, simülasyon, Büyük Veri analizi, çizelgeleme, üretim planlaması ve kontrolü, imalat verimliliğinin değerlendirilmesi, vb. gibi alanlarda Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasıyla ilgili birçok sorunu çözmek için gerçek sistemi değiştirmeden geliştirilen/önerilen algoritmaları, programları, yöntemleri değerlendirme ve analiz etme fırsatı sunar. Ayrıca, organizasyonun ve üretimin uyumuyla ilgili zorlukları gidermek amacıyla Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında insan-makine etkileşimini geliştirmek için simülasyon kullanılabilir.

Her ne kadar bu çalışma belirli sayıda makale ile sınırlı olsa da, bu çalışmanın temel araştırma sorusunu başarıyla cevapladığı söylenebilir. Bir sonraki bölümde bu çalışmanın ne tür kısıtlamaları olduğu ve konuyla ilgili yapılacak gelecek çalışmalar açıklanacaktır.

6.3 Kısıtlar ve Tavsiyeler

Sınırlamalar gelecekteki araştırmalar için öneride bulunmak için bir fırsat olsa da, önceki bölümde belirtildiği gibi raporla ilgili bazı sınırlamalar vardır. Sonuçları tartıştıktan ve araştırmayı sonuçlandırdıktan sonra, bu bölümde bu sınırlamalar ve gelecekteki olası araştırmalar tartışılmıştır.

Çalışmada birçok farklı teknoloji, kavram ve yaklaşım sunulmuştur, ancak çalışmanın geniş kapsamı ve zaman sınırı olması nedeniyle bazı bakış açıları daha ayrıntılı olarak açıklanmamış olabilir.

Literatür taraması ve analizi için kullanılan üç veri tabanı bu çalışmanın bir başka sınırlamasıdır. Bununla birlikte, çalışmamızla ilgili önemli verileri kapsayan bir örneklem sağlamak için geniş, disiplinler arası ve popüler olan bu üç veri tabanı

kullanılmıştır. Başka veri tabanları ekleyerek daha fazla araştırma yapıp araştırmanın sınırları genişletilebilir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında simülasyonun rolü hakkında daha fazla bilgi edinmek için, bu araştırma otomotiv endüstrisi, elektronik sektörü... gibi belirli bir endüstriye /sektöre yönlendirse ilgi çekici olabilir. Bu çalışma, şirketlerde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması için simülasyon yaklaşımının ve Endüstri 4.0 çağında simülasyonun sağladığı imkanların farkında olunmasına yardımcı olmaktadır.





KAYNAKLAR

- Altiok, T., & Melamed, B.** (2001). *Simulation Modeling and Analysis with Arena*. New Jersey, Academic Press.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabite, G.** (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*.
- Bandyopadhyay, S., Sengupta, M., Maiti, S., & Dutta, S.** (2011). Role Of Middleware For Internet Of Things: A Study. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES)*.
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M.** (1984). *Discrete-Event System Simulation (Forth Edition)*. Pearson Prentice Hall.
- Blöchl, S. J., & Schneider, M.** (2016). Simulation Game for Intelligent Production Logistics – The pull® Learning Factory. *Procedia CIRP 54 – Elsevier*.
- Buyya, R., Calheiros, R. N., & Dastjerdi, A. V.** (2016). *Big Data Principles and Paradigms*. Elsevier.
- Caggiano, A., & Teti, R.** (2018). Digital factory technologies for robotic automation and enhanced manufacturing cell design. *Cogent Engineering*.
- Coşkun, T.** (2018). *Making use of simulation for production systems in implementation of industry 4.0.*(Yüksek Lisans Tezi), Tampere University of Technology, Finlandiya
- Dallasega, P., Rojas, R. A., Raunch, E., & Matt, D. T.** (2017). Simulation based Validation of Supply Chain Effects through ICT enabled Real-Time-Capability in ETO Production Planning. *Procedia Manufacturing - Elsevier*.
- Dukalski, R., Çençen, A., Aschenbrenner, D., & Verlinden, J.** (2017). Portable rapid visual workflow simulation tool for human robot coproduction. *Procedia Manufacturing - Elsevier*.
- Ehret, M., & Wirtz, J.** (2016). Unlocking value from machines:business models and the industrial internet of things. *Journal of Marketing Management*.
- Fahmy, H.** (2016). *Wireless Sensor Networks Concepts, Applications, Experimentation and Analysis*. Springer.
- Fantini, P., Pinzone, M., & Taisch, M.** (2018). Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: Modelling and assessing human activities within cyber-physical systems. *Computers & Industrial Engineering*.
- Fink, A.** (2014). *Conducting Research Literature Review: From the Internet to Paper*. SAGE Publications.
- Fu, Y., Ding, J., Wang, H., & Wang, J.** (2017). Two-objective stochastic flow-shop scheduling with deteriorating and learning effect in Industry 4.0-based manufacturing system. *Applied Soft Computing*.

- Furmann, R., Furmannova, B., & Wiecek, D.** (2017). Interactive design of reconfigurable logistics systems. *Procedia Engineering - Elsevier*.
- Gilschist, A.** (2016). *Industry 4.0 - The Industrial Internet of Things*. Apress.
- Grundstein, S., Freitag, M., & Scholz-Riter, B.** (2016). A new method for autonomous control of complex job shops – Integrating order release, sequencing and capacity control to meet due dates. *Journal of Manufacturing Systems*.
- Hajrizi, E.** (2016). Smart Solution for Smart Factory. *IFAC Papersonline - Elsevier*.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B.** (2015). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*.
- Hsieh, L. Y.** (2017). Equipment Utilization Enhancement in Photolithography Area Through a Dynamic System Control Using Multi-Fidelity Simulation Optimization With Big Data Technique. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*.
- Hwang, G., Lee, J., Park, J., & Chang, T.-W.** (2016). Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. *International Journal of Production Research*.
- Kaihara, T., Katsumura, Y., Suginishi, Y., & Kadar, B.** (2017). Simulation model study for manufacturing effectiveness evaluation in crowdsourced manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*.
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., . . . Noh, S. D.** (2016). Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*.
- Khakifirooz, M., Chien, C. F., & Chen, Y.-J.** (2017). Bayesian inference for mining semiconductor manufacturing big data for yield enhancement and smart production to empower industry 4.0. *Applied Soft Computing*.
- Kocsi, B., & Olah, J.** (2017). Potential connections of unique manufacturing and industry 4.0. *Logforum-Scientific Journal of Logistics*.
- Kolberg, D., & Zühlke, D.** (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine*.
- Laney, D.** (2001). *3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety*. Meta Group.
- Mell, P., & Grance, T.** (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. NIST Special Publication.
- Montes, M. M.** (2017). Impact of industrial internet related technologies. *International Association for Management of Technology IAMOT 2016 Conference Proceedings*. Orlando, FL, USA
- Mrugalska, B., & Wyreicka, M. K.** (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering 182*.
- Müller, J. M., Kiel, D., & Vigt, K.-I.** (2018). What Drives the Implementation of Industry 4.0 The Role of Opportunities and Challenges in the. *Sustainability*.

- Negahban, A., & Simith, J. S.** (2013). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F.** (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*.
- Rodic, B.** (2017). Industry 4.0 and the New Simulation Modeling Paradigm. *Organizacija*.
- Schluse, M., & Rossmann, J.** (2016). From Simulation to Experimentable Digital Twins.
- Shim, S.-O., Park, K., & Choi, S.** (2017). Innovative Production Scheduling with Customer Satisfaction Based Measurement for the Sustainability of Manufacturing Firms. *Sustainability — Open Access Journal*.
- Singh, V. P.** (2009). *System Modeling and Simulation*.
- Spoetti, G., & Loose, G.** (2015). Transformation and Globalization in Technical, Vocational Education and Training—Which Way Should TVET Take? *International Journal of Vocational Education and Training*.
- Tuner, C. J., Hutabarat, W., Oyekan, J., & Tiwari, A.** (2016). Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*.
- Ustundag, A., & Cevikcan, E.** (2018). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer.
- Veza, I., Mladineo, M., & Gjeldum, N.** (2016). Selection of the basic lean tools for development of croatian model of innovative smart enterprise. *Tehnički vjesnik*.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C.** (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C.** (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data base d feedback and coordination. *Computer Networks*.
- Weyer, S., Meyer, T., Ohmer, M., Gorecky, D., & Zühlke, D.** (2016). Future Modeling and Simulation of CPS-based Factories: an Example from the Automotive Industry. *IFAC Papersonline - Elsevier*.
- Xu, J., Huang, E., Hsieh, L., Lee, L. H., Jia, Q.-S., & Chen, C.-H.** (2016). Simulation optimization in the era of Industrial 4.0 and the Industrial Internet. *Journal of Simulation*.
- Zhang, H., Liu, Q., Chen, X., Zhang, D., & Leng, J.** (2017). A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line. *IEEE Access® - Open Access (OA), Applications-Oriented, All-Electronic Archival Journal*.

Zhu, X., Qiao, F., & Cao, Q. (2017). Industrial big data–based scheduling modeling framework for complex manufacturing system. *Advances in Mechanical Engineering (AIME)*.



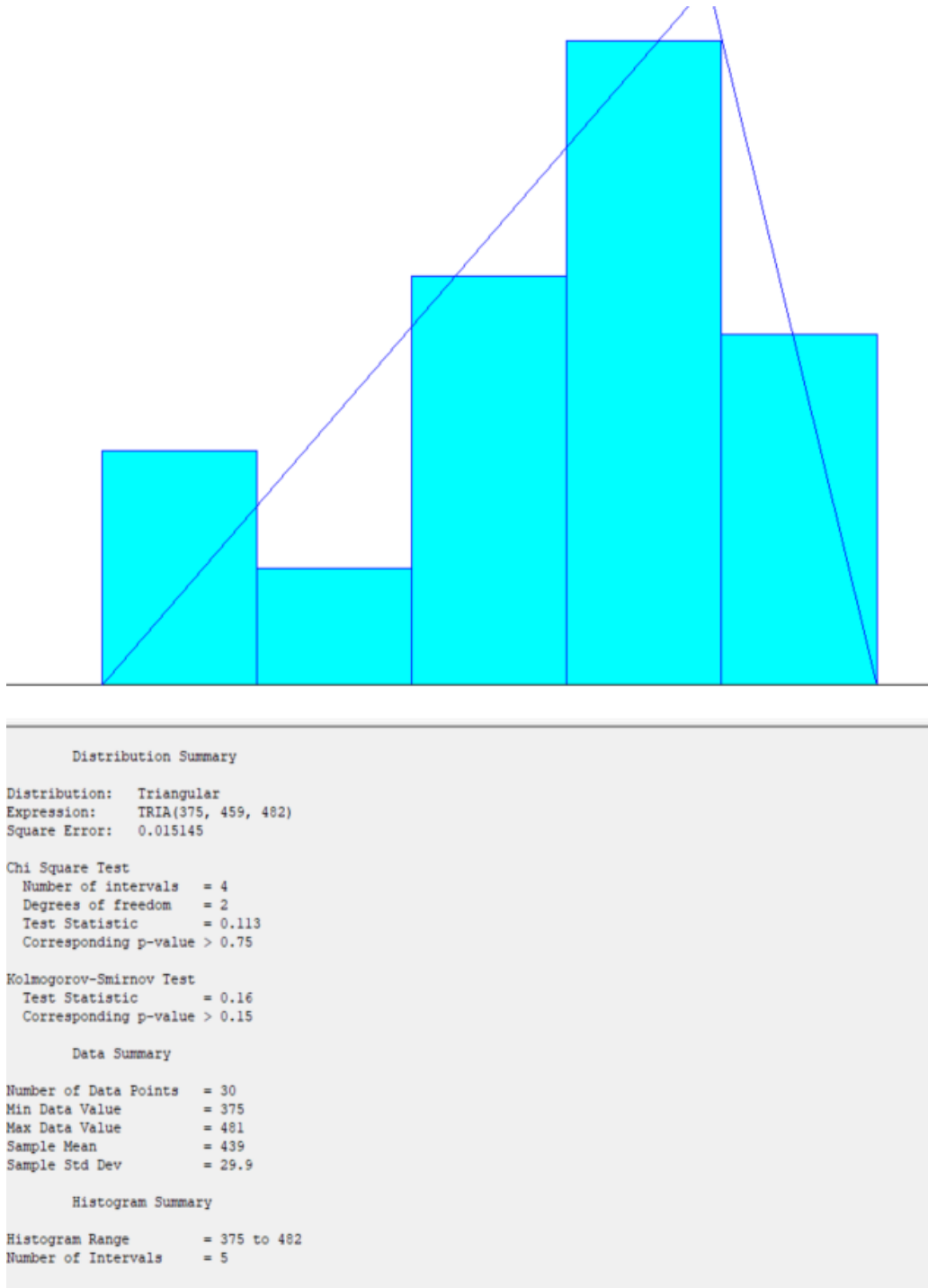
EKLER

EK A: Input Analyzer Sonuçları

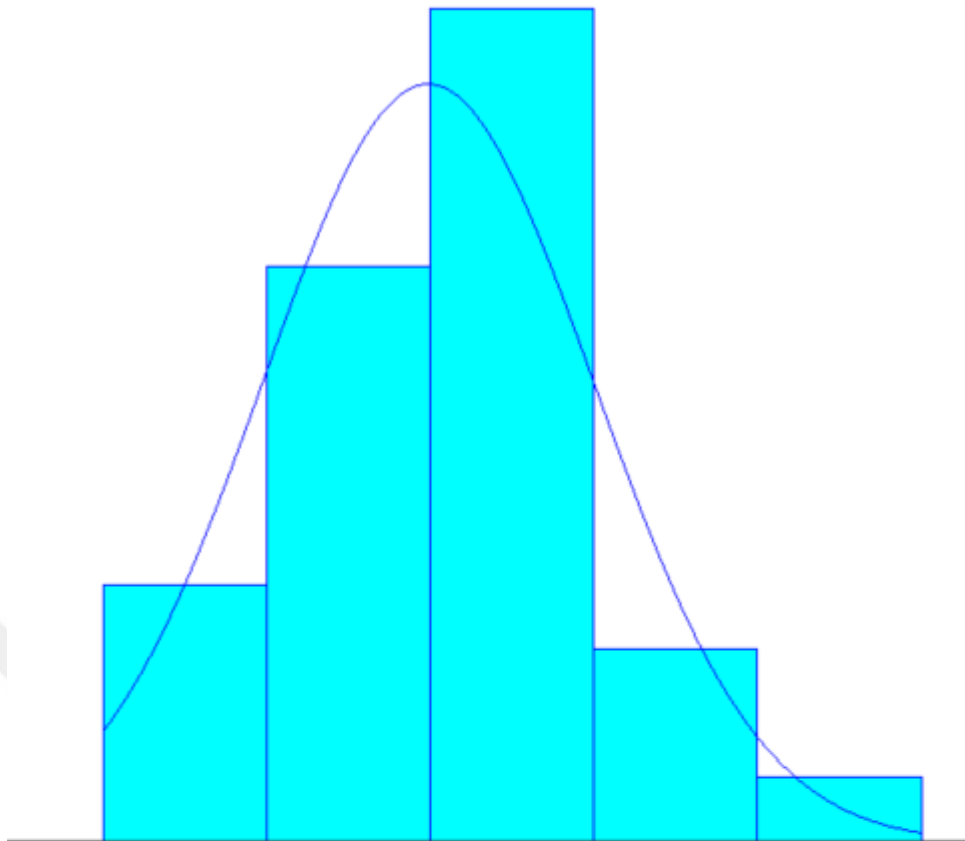
EK B: Simülasyon Sonuçları



EK A

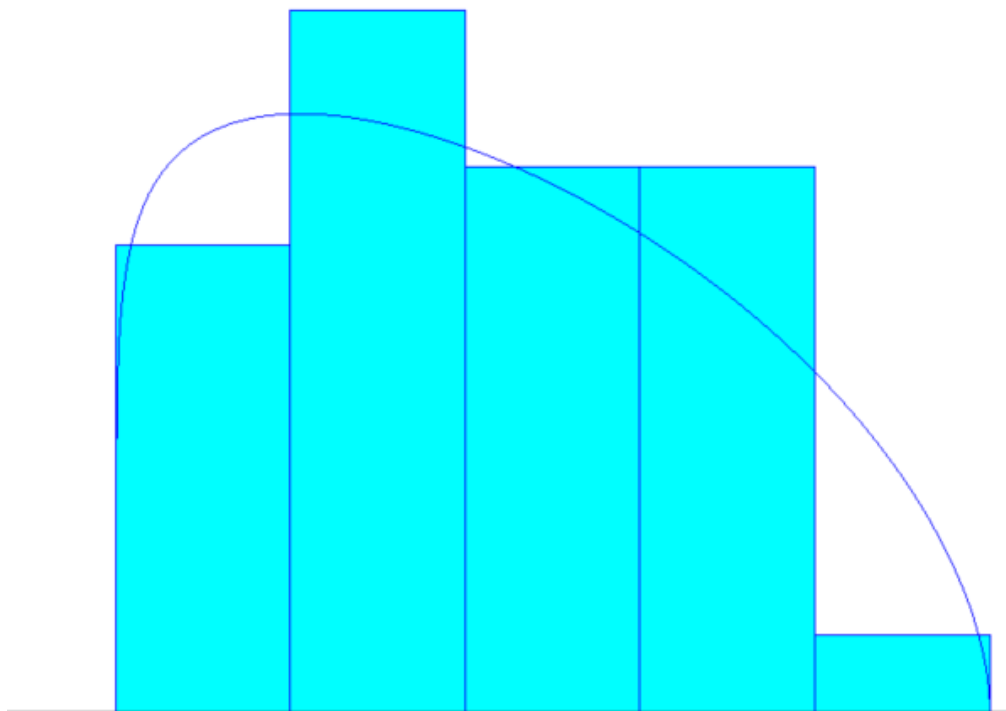


Şekil A.1 : Manuel Dizgi Prosesi



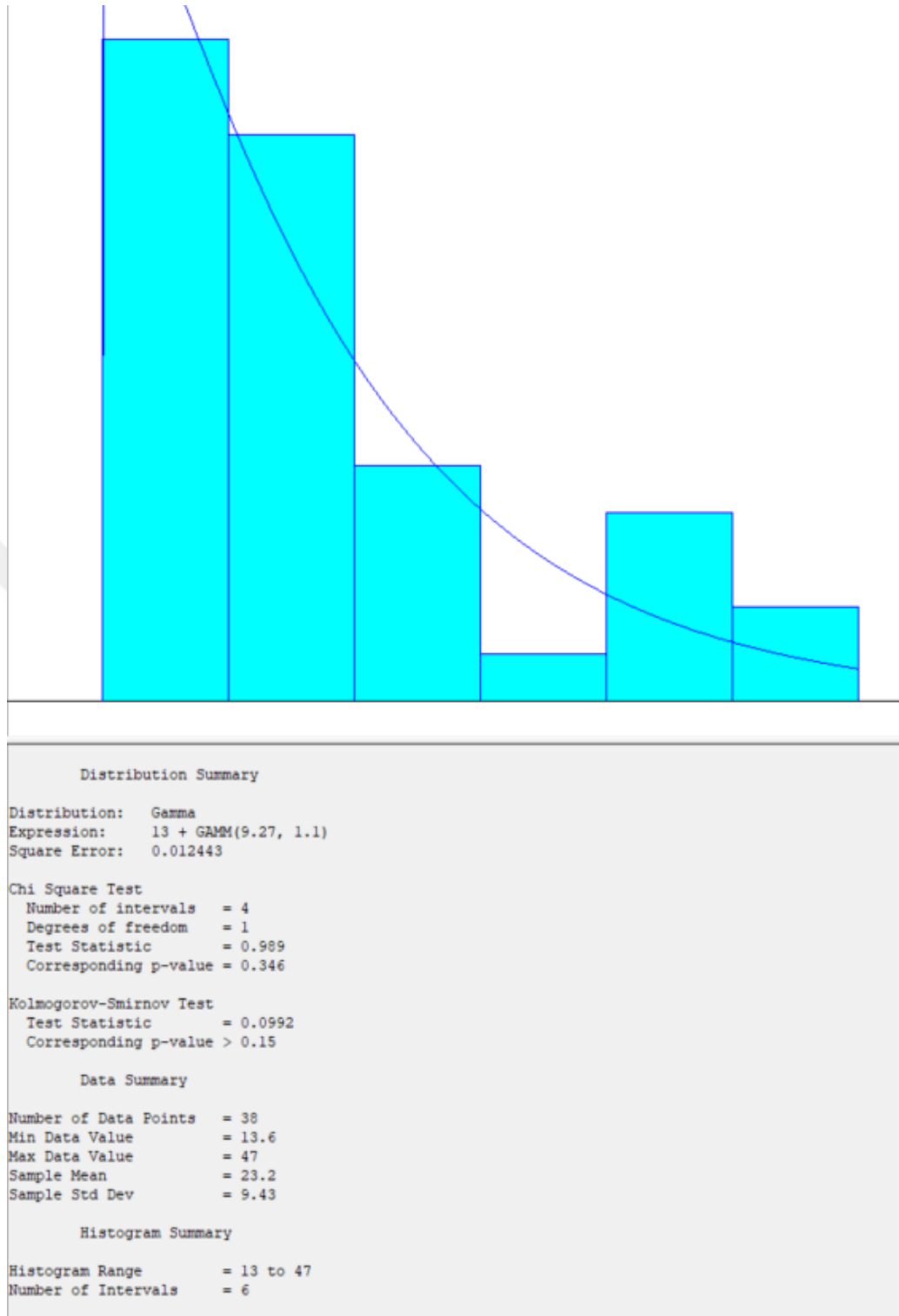
Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(24.6, 2.83)
Square Error:	0.012483
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= -1
Test Statistic	= 1.32
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0866
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 30
Min Data Value	= 19.3
Max Data Value	= 32.6
Sample Mean	= 24.6
Sample Std Dev	= 2.88
Histogram Summary	
Histogram Range	= 19 to 33
Number of Intervals	= 5

Şekil A.2 : PCB Kesme Prosesi

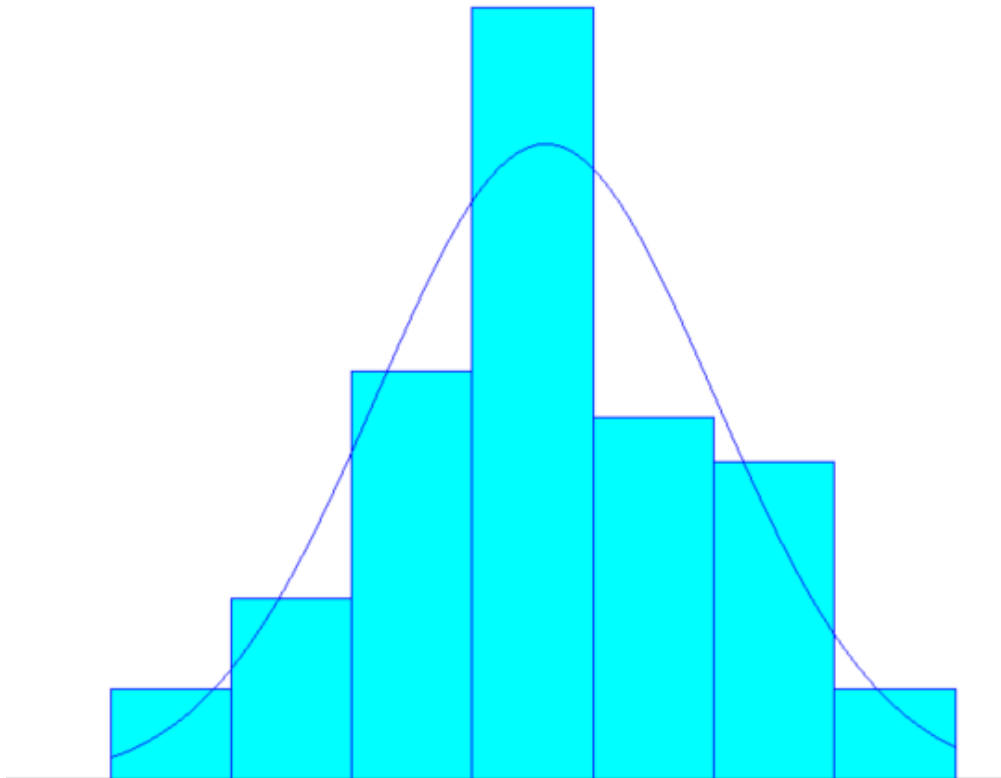


Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	$56 + 101 * \text{BETA}(1.15, 1.56)$
Square Error:	0.010647
Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 0.992
Corresponding p-value	= 0.345
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.107
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 30
Min Data Value	= 56.9
Max Data Value	= 156
Sample Mean	= 98.9
Sample Std Dev	= 25.9
Histogram Summary	
Histogram Range	= 56 to 157
Number of Intervals	= 5

Şekil A.3 : Manuel Lehim Prosesi

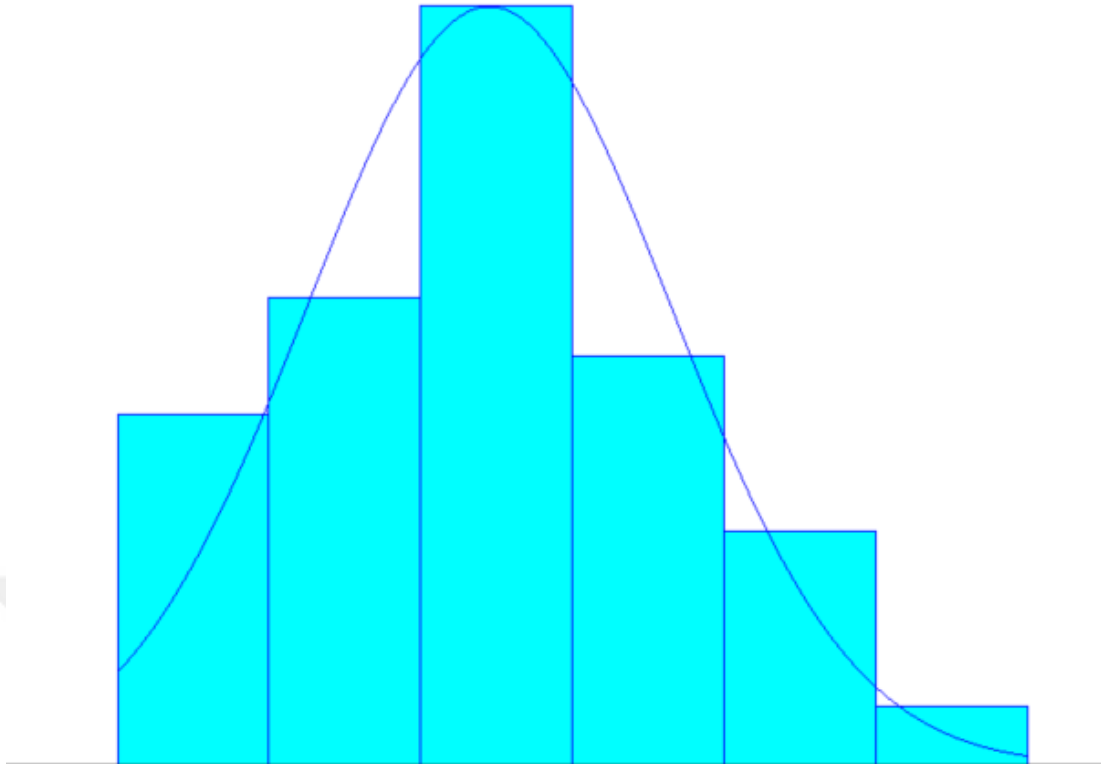


Şekil A.4 : Kontrol ve Tamir Prosesi



Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(47.3, 4.39)
Square Error:	0.010716
Chi Square Test	
Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 2
Test Statistic	= 2.55
Corresponding p-value	= 0.289
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.087
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 49
Min Data Value	= 36.8
Max Data Value	= 57.1
Sample Mean	= 47.3
Sample Std Dev	= 4.43
Histogram Summary	
Histogram Range	= 36 to 58
Number of Intervals	= 7

Şekil A.5 : Montaj Prosesi



Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(7.52, 0.742)
Square Error:	0.007761
Chi Square Test	
Number of intervals	= 3
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 0.467
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.081
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 39
Min Data Value	= 6.3
Max Data Value	= 9.4
Sample Mean	= 7.52
Sample Std Dev	= 0.752
Histogram Summary	
Histogram Range	= 6 to 9.72
Number of Intervals	= 6

Şekil A.6 : Test ve Kasalama Prosesi

EK B

Replications: 5

Time Units : Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

956

Replications: 5

Time Units : Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	15.9920	0,76	15.3388	16.8286	2.8318	32.1667
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	193.53	11,23	184.85	206.39	1.0833	461.19
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	209.52	11,43	201.25	222.25	17.7427	473.98
Other						
Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	28721.40	3,89	28720.00	28727.00		
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	1327.20	15,98	1309.00	1344.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	15566.20	16,21	15544.96	15576.28	1852.00	29279.00

Şekil B.1 : Simülasyon Çıktısı - 1

Replications: 5 Time Units : Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Assembly.Queue	126.73	12,27	109.42	133.82	3.5221	284.01
Automated Inspection Machine.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Batch 21.Queue	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.00	0.3333
Batch 3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chip Machine.Queue	22.3733	0,07	22.2833	22.4250	2.4333	42.2500
Inspection and Repair.Queue	0.00015332	0,00	0.00	0.00076658	0.00	0.2039
Manual Composition.Queue	233.23	1,62	231.68	234.92	26.2031	441.62
Manual Soldering.Queue	94.0058	6,20	87.9644	100.16	4.5365	185.09
Oven.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
PCB Cutting.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Repair.Queue	136.03	38,43	96.5911	182.54	0.00	336.67
SP Glue Machine.Queue	58.6801	3,92	53.4945	62.0753	6.5167	112.87
Test and Crating.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wave Soldering.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Assembly.Queue	359.49	71,74	261.37	407.14	5.0000	740.00
Automated Inspection Machine.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Batch 21.Queue	9.9994	0,00	9.9994	9.9994	0.00	21.0000
Batch 3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	3.0000
Chip Machine.Queue	43.2947	0,14	43.1319	43.4032	4.0000	82.0000
Inspection and Repair.Queue	0.00009063	0,00	0.00	0.00045313	0.00	1.0000
Manual Composition.Queue	467.48	11,79	454.42	479.95	46.0000	903.00
Manual Soldering.Queue	90.7628	4,90	85.9066	95.0446	5.0000	179.00
Oven.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
PCB Cutting.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Repair.Queue	10.5596	3,51	6.4809	14.3696	0.00	22.0000
SP Glue Machine.Queue	146.61	10,60	132.34	155.21	15.0000	283.00

Şekil B.2 : Simülasyon Çıktısı - 2

Replications: 5 Time Units : Minutes

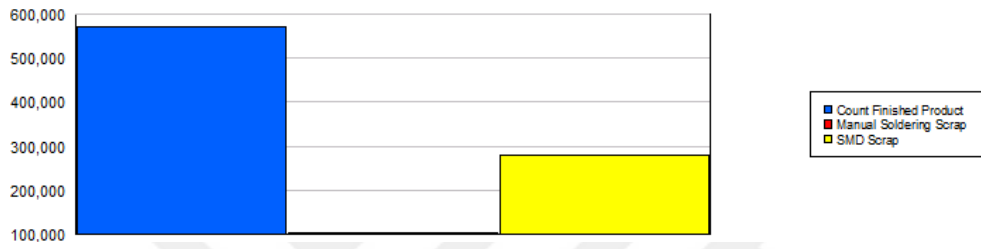
User Specified

Tally

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Time Interval Finished Product	213.37	8,40	203.33	221.03	17.4094	473.83
Time Interval Manual Soldering	252.90	35,11	226.34	294.11	32.3259	463.05
Time Interval SMD Scrape	185.09	20,13	164.74	209.14	33.2500	386.05

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Count Finished Product	571.40	3,35	567.00	574.00
Manual Soldering Scrap	103.20	12,52	90.0000	114.00
SMD Scrap	281.40	14,28	273.00	294.00



Şekil B.3 : Simülasyon Çıktısı - 3

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tefvikcan Coşkun
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.07.1993 & Antalya
E-posta : tevfikcan.coskun@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği

