

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİ 4.0 VİZYONUNUN ÜRETİM SÜREÇLERİNDE GETİRECEĞİ
VERİMLİLİK**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ETHEM ÇAĞRI İNAN

1700004917

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: İşletme

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Murat Taha Bilişik

MAYIS 2019

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİ 4.0 VİZYONUNUN ÜRETİM SÜREÇLERİNDE GETİRECEĞİ
VERİMLİLİK**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ETHEM ÇAĞRI İNAN

1700004917

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: İşletme

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Murat Taha Bilişik

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK

Dr. Öğr. Üyesi Özgür ATILGAN

MAYIS 2019

ÖNSÖZ

Her geçen gün küreselleşen Dünyada ticari ve teknolojik anlamda rekabet sertleşerek artmaktadır. Artık günümüz dünyasına ayak uydurmak yeterli gelmemekte, yarının dünyasında ayakta kalabilmek için daha bugünden yarına hazır olmak gerekmektedir. Dünya pazarlarındaki bu sert rekabet ortamına uyum sağlamanın en önemli ayaklarından biri de endüstriyel devrimleri yakından takip ederek bu devrimlere ayak uydurmaktır.

Üretimde verimliliği artırmayı hedefleyen en güncel vizyon olan Endüstri 4.0 ise tez çalışmamda Avrupa'da ısıtma cihazları üreten üç fabrika üzerinden bu yaklaşımın üretim süreçlerinde, getirdiği verimlilik artışını somut verilerle göstermeye çalıştım. Çalışma konusunun belirlenmesinde, hazırlık aşamasında ve çalışmanın metod ve sayısal verimlilik formüllerinden sonuna kadar her sürecinde bilgilerini, tecrübelerini, değerli zamanlarını, desteklerini benden esirgemeyen ve en önemlisi çalışmamda bana inanan değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Murat Taha Bilişik'e teşekkür ederim. Bu süreçte değerli fikir ve görüşlerini benimle paylaşan ve bana destek olan hem sosyal hayatta hem akademik alanda arkadaşlarım Erdem Yücesan, Semih Selçuk ve Kerem Yücesan'a teşekkürlerimi iletirim. Ayrıca çetrefilli ve uzun soluklu akademik hayatım boyunca olduğu gibi bu son aşamada da beni destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ethem Çağrı İnan

1700004917

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
1.GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	2
1.2. ENDÜSTRİ DEVRİMİ.....	3
1.2.1. ENDÜSTRİ DEVRİMİ’NİN SEBEPLERİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	4
1.3. ENDÜSTRİ DEVRİMLER TARİHİ VE AŞAMALARI.....	7
1.4. ENDÜSTRİ 1.0 ‘dan 4.0 ‘a uzanan süreç – sanayi devrimleri	8
1.4.1. BİRİNCİ SANAYİ DEVRİMİ (ENDÜSTRİ 1.0)	10
1.4.2. İKİNCİ SANAYİ DEVRİMİ (ENDÜSTRİ 2.0).....	12
1.4.3. ÜÇÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ (ENDÜSTRİ 3.0)	14
2. ENDÜSTRİ 4.0 – 4. NESİL SANAYİ DEVRİMİ	16
2.1. ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMININ ORTAYA ÇIKIŞI	17
2.2. DÜNYADA MEVCUT ENDÜSTRİYEL SEVİYE.....	18
2.3. TÜRKİYE’DE ENDÜSTRİYEL DURUM.....	20
2.4. ENDÜSTRİ 4.0 FARKINDALIĞI	22
2.5. ENDÜSTRİ 4.0 SWOT ANALİZİ	24
2.6. ENDÜSTRİ 4.0 VE AKILLI FABRİKALAR.....	25
2.7. AKILLI ÜRETİM SİSTEMLERİ VE ROBOTİK UYGULAMALAR.....	28
3. METODOLOJİ	29
3.1. VERİMLİLİK	30
3.2. VERİMLİLİK GÖSTERGELERİ VE ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER	31
3.3. VERİMLİLİK ARTIŞI	33
4. ENDÜSTRİ 4.0 ‘IN ISITMA CİHAZLARI ÜRETİMİNDE UYGULANMASI	34
4.1. UYGULAMA TESİSİ FABRİKA – 1.....	34
4.1.1. FABRİKA-1 MEVCUT ÜRETİM SÜRECİ – GELENEKSEL ÜRETİM.....	35
4.1.2. FABRİKA-1’İN ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI DURUMU.....	38
4.1.3. ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK – FABRİKA-1.....	43
4.2. UYGULAMA TESİSİ FABRİKA – 2.....	45
4.2.1. FABRİKA-2 MEVCUT ÜRETİM SÜRECİ – KISMİ ENDÜSTRİ 3.0 ÜRETİM	46
4.2.2. FABRİKA-2’NİN ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI DURUMU	49

4.2.3. ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK - FABRİKA-2	54
4.3. UYGULAMA TESİSİ FABRİKA – 3.....	56
4.3.1. FABRİKA-3 MEVCUT ÜRETİM SÜRECİ – KISMİ ENDÜSTRİ 3.0 ÜRETİM	57
4.3.2. FABRİKA-3'ÜN ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI DURUMU	60
4.3.3. ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK - FABRİKA – 3.....	65
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	67
KAYNAKÇA.....	68



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Endüstri Vizyonu	1
Şekil 2. Buharlı Makine	4
Şekil 3. İngiltere’de Sanayi Devrimi.....	6
Şekil 4. Endüstri Devrimleri.....	9
Şekil 5. Buhar Motoru.....	11
Şekil 6. Robot Destekli Üretim	15
Şekil 7. Endüstri 4.0	17
Şekil 8. Dünyada Endüstri 4.0 Farkındalığı.....	23
Şekil 9. Akıllı Fabrika Çerçevesi	27
Şekil 10. Fabrika – 1 Dönüşümü Sonrası Kıyaslama.....	40
Şekil 11. Fabrika – 1 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişimi	43
Şekil 12. Fabrika – 1 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Etki Grafiği	44
Şekil 13. Fabrika – 2 Dönüşümü Sonrası Kıyaslama.....	51
Şekil 14. Fabrika – 1 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişimi	54
Şekil 15. Fabrika – 2 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Etki Grafiği	55
Şekil 16. Fabrika – 3 Dönüşümü Sonrası Kıyaslama	62
Şekil 17. Fabrika – 3 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişimi	65
Şekil 18. Fabrika – 3 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Etki Grafiği	66

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 Endüstri 4.0 Swot Analizi.....	24
Tablo 2 Fabrika – 1 Dönüşüm Öncesi Üretim Verileri.....	35
Tablo 3 Fabrika – 1 Endüstriyel Dönüşüm Aksiyonları	38
Tablo 4 Fabrika – 1 Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri.....	39
Tablo 5 Fabrika – 2 Dönüşüm Öncesi Üretim Verileri.....	46
Tablo 6 Fabrika – 2 Endüstriyel Dönüşüm Aksiyonları	49
Tablo 7 Fabrika – 2 Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri.....	50
Tablo 8 Fabrika – 3 Dönüşüm Öncesi Üretim Verileri.....	57
Tablo 9 Fabrika – 3 Endüstriyel Dönüşüm Aksiyonları	60
Tablo 10 Fabrika – 3 Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri.....	61

Enstitüsü : **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**
Dalı : **İşletme**
Programı : **İşletme**
Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Murat Taha BİLİŞİK**
Tez Türü ve Tarihi : **Yüksek Lisans – Mayıs 2019**

ÖZET

ENDÜSTRİ 4.0 VİZYONUNUN ÜRETİM SÜREÇLERİNDE GETİRECEĞİ VERİMLİLİK

Ethem Çağrı İnan

Günümüz acımasız rekabet ortamında işletmeler varlıklarını sürdürmek ya da büyümek için sürekli gelişen üretim ve yönetim yöntemlerini yakından takip etmelidirler. Üreticiler açısından olayı değerlendirdiğimizde bu işletmelerin yakından takip edilmesi gereken en önemli konu ise endüstriyel devrimlerdir. Çünkü endüstriyel devrimler işletmeler için kırılma noktası olup, bu kırılma noktalarına ayak uydurabilen işletmeler varlığını sürdürür ve hatta büyürken, bu devrime ayak uyduramayıp demode kalan işletmeler ise ciddi manada küçülmekte hatta yok olmaktadır.

Yaşadığımız dönem yeni bir endüstriyel devrimin gerçekleşmekte olduğu bir dönemdir ve kronolojik olarak sıraladığımızda 4. Nesil endüstriyel devrim olarak adlandırılmakta olan bir diğer adıyla da Endüstri 4.0 'dır. Teknolojide yaşanan gelişmelerin üretim bantlarında etkin bir biçimde kullanarak üretim planları ve süreçlerinin tamamen inovatif olarak değiştirilmesi endüstriyel devrim olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada üretim süreçlerinde yer alan verimlilik hesapları kullanılmış olup, ısıtma grubu ürünleri üreten global bir firmanın Avrupa'da yer alan üç fabrikasında Endüstri 4.0 'a geçiş süreçleri incelenmiş Endüstri 4.0 öncesi ve sonrası üretim hatlarına toplam verimlilikleri hesaplanmıştır. Sonuç kısmında Endüstri 4.0'ın dönüşümü ile ortaya çıkan sayısal verimlilik değerleri kıyaslanarak tartışılmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Endüstri 4.0, verimlilik, üretim yönetimi, üretim süreçleri, üretimde verimlilik.

University : **Istanbul Kültür University**
Institute : **Postgraduate Education Institute**
Department : **Business Administration**
Programme : **Business Administration**
Supervisor : **Asst. Prof. Dr. Murat Taha BİLİŞİK**
Degree Awarded and Date : **MBA – May 2019**

ABSTRACT

THE PRODUCTIVITY PROVIDE BY THE INDUSTRY 4.0 VISION IN PRODUCTION PROCESSES

Ethem Çağrı İnan

Business must track closely production and process management methods because of today's hard competitive environment in order to survive and then grow. As we consider this situation by manufacturers side, the most important issue is monitoring industrial revolutions tightly. Industrial revolutions can be described as breaking points; so the manufacturers that adjust themselves to a new environment keep alive and even expend while outdated ones disappearing from the industry.

A new industrial revolution is taking place in these days called Industry 4.0 which is classified 4th Generation in chronological order. Developing production plans and processes innovatively by using the advance in technological field through production line effectively is defined industrial revolution. In this study, three different factories of a global company which produces were evaluated and their total productivity was calculated before and after Industry 4.0 with using basic productivity calculation methods. In the conclusion part, the numerical efficiency values of Industry 4.0 were compared and discussed and evaluated.

Keywords: Industry 4.0, Productivity, production management, production processes, productivity in production

1.GİRİŞ

İnsanlık tarihinin bilinen en eski yaşamsal devrimi M.Ö. 8000 yıllarında olduğu saptanan “Tarım Devrimi” dir. Bu devrimin önemi ise o dönemde göçebe bir yaşam tarzını benimseyen ve avcı toplayıcı olarak anılan dönem insanların yerleşik hayata geçtiği dönem olmasıdır. Bu dönemde toprak sermaye görevi görmüş ve sonrasındaki binlerce yıl gerek hayvanların gücü gerek insanların kas gücü ve bunu daha verimli kullanma amaçlı aletler geliştirilmiştir. Bu devirde üretim aracı olarak ağırlıklı insanların kas gücü ve dönemin sermayesi olan toprak kullanılmıştır. Zaman içerisinde artan bilimsel ve teknolojik gelişmeler sonucunda tarım toplumunda iken evlerde ya da el tezgâhlarında yapılmakta olan üretim, evlerin dışına çıkmış ve fabrika adını alan özel üretim tesislerinde organize bir şekilde standart üretim sistemlerinde yapılmaya başlanarak endüstri kavramını ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Endüstrinin tanımı devamlı ya da dönemsel olarak insanların ihtiyacı olan ürünlerin işgücü ya da makine yardımı ile katma değerli olarak toplu üretim yapılan faaliyettir. Literatürde Sanayi devrimi olarak adlandırılan bu dönemde ortaya çıkan teknoloji gelişmeler yeni ve daha büyük üretim yöntemleri ve insanlık için daha iyi yaşam koşulları getirdi. Bu sayede işyerleri ve evler ayrı olmaya başladı. Fabrika adını verilen üretim yerlerinde yapılan kitlesel imalat sonucu kentleşmeyi hızlandırarak kent hayatını hatta dünya düzenini değiştirerek bir devrim meydana getirdi. Sanayi devrimi olarak adlandırılan bu süreç toplumda sosyolojik değişimlere ve günlük hayatlarında yeni değişimler getirdi. Geniş aile olarak yaşayan toplum günümüzdeki yapı olan çekirdek aile şeklini aldı. Toplumların günlük yaşamından eğitim düzenine kadar birçok düzeni fabrika düzeninden etkilenerek değişime uğradı. (Günay)



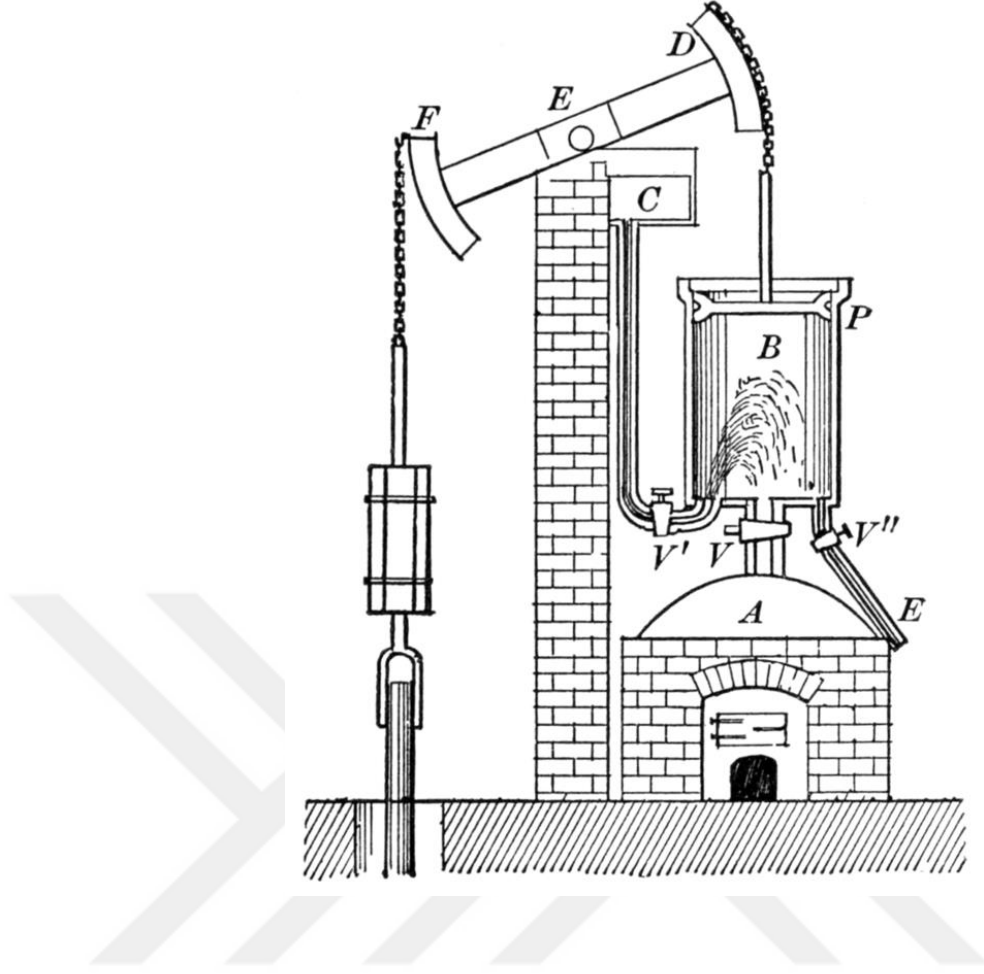
Şekil 1- Endüstri Vizyonu

1.1. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde çalışmaların büyük çoğunluğunun Endüstri 4.0'ın toplumsal etkileri ve farkındalık üzerine olduğu görülmektedir. Çalışma aynı zamanda verimlilik analizi yaptığından dolayı verimlilikle ilgili çalışmalar da incelenmiş, verimlilik ile ilgili çok sayıda çalışmanın olduğu ancak aynı sektörden farklı fabrikaların Endüstri 4.0 öncesi ve sonrası verimlilik değerlerini kıyaslayan bir çalışma olmadığı görülmüş ve bu sebeple bu konu çalışılmaya karar verilmiştir. Zhou ve Liu Endüstri 4.0 'ın Geleceğe Yönelik Fırsat ve zorluklarını araştırmış, ilk etapta enerji tüketimini artıran bu devrimin Almanya'da Endüstri 4.0 tabanlı elektrik üretiminde verimliliği %30 artırdığını tespit etmişlerdir. Tuğlu Endüstri 4.0 üretim anlayışını bir Alüminyum üretim tesisinde uygulanmasını incelemiş ve yapay zekâ ve ERP teknolojilerinin uygulanabilirliğini görmüştür ki bu sayede imalat yönetim faaliyetlerinin binlerce kat artırılabilceğini, mavi yaka işsizliğinin de bu sebeple artabileceğini belirtmiştir. Öztürk Endüstri 4.0'ın lojistik süreçlerine uygunluğunu inceleme amaçlı bir vaka çalışması yapmış ve Endüstri 4.0'a göre durumunu analiz etmiştir. Çakmak (2018) Endüstri 4.0'ın işgücü ve ticari işletmelere etkilerini örgütsel psikoloji açısından araştırmıştır. Çoban (2007) Türk otomotiv sanayiinin endüstriyel verimlilik ve etkinliği üzerine bir çalışma yapmış ancak Endüstri 4.0 konusuna değinmemiştir. Andaç (2019) Türkiye ve Avrupa Birliği Ülkeleri'ndeki Endüstri 4.0 farkındalık ve çalışmalarını karşılaştırmış, Türkiye'nin AB 'ye göre konumu ve geliştirmesi gereken noktaları çıkartarak çalışmasında bir yol haritası belirlemiştir. Arkan (2018) Endüstri 4.0'ın üretim maliyetleri ve birim ürün başına gerekli hammadde kullanımı üzerine bir vaka çalışması yapmış, sonucunda da Endüstri 4.0'ın birim maliyetinin ve birim başına hammadde miktarının da düştüğü bulgularına erişmiştir. Schuh, Potente, Wesch-Potente, Weber ve Jan-Philipp Prote (2014) Endüstri 4.0 uygulamalarında verimliliği artırmak için işbirliği mekanizmaları üzerine bir çalışma yaparak Endüstri 4.0 tabanlı üretim yönetiminde hangi mekanizmaların verimliliğe daha fazla katkı yaptığı sorusuna cevap aramışlardır.

1.2. ENDÜSTRİ DEVRİMİ

Sanayi Devrimi bir diğer adıyla Endüstri Devrimi, Avrupa'da 18. - 19. yüzyıllarda geliştirilen icatların üretilmesi ve buharlı makinaların üretimde kullanılarak endüstri mantığını doğurması, bu ortaya çıkan gelişmelerin de Avrupa'da sermaye birikimi oluşturan tarihsel ve bilimsel sürece verilen isimdir. (Sander). Avrupa'da Feodal düzenin yıkılması sonucu hızlı nüfus artışı ve ekonomik yenilikler meydana gelerek yeni fikirlerin doğması ile belki de kıta tarihinin en büyük süreci olan Endüstri Devrimi'ni getirmiştir Bu devrim birçok alanda yeni teknik buluşlarla üretim artışına ve o güne değin hâkim olan üretim tarzının değışerek makineleştirmiştir. Endüstri devrimi esasında insan ve hayvan gücüne endeksli üretim anlayışının makinelerce devralınmasıdır. Bu üretim anlayışı 18. yy'da Birleşik Krallık' ta ağırlıklı olarak tekstil sektöründe uygulanmış olup daha sonraları diğer sektörlerce de benimsenmiştir. Bu sayede üretim hızları artarak üretim şekli ve miktarı da artmıştır. (Küçükcalay 51-68)



Şekil 2- Buharlı Makine -18. YY

1.2.1. ENDÜSTRİ DEVRİMİ'NİN SEBEPLERİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Endüstri Devrimine zemin hazırlayan etkenler şunlardır:

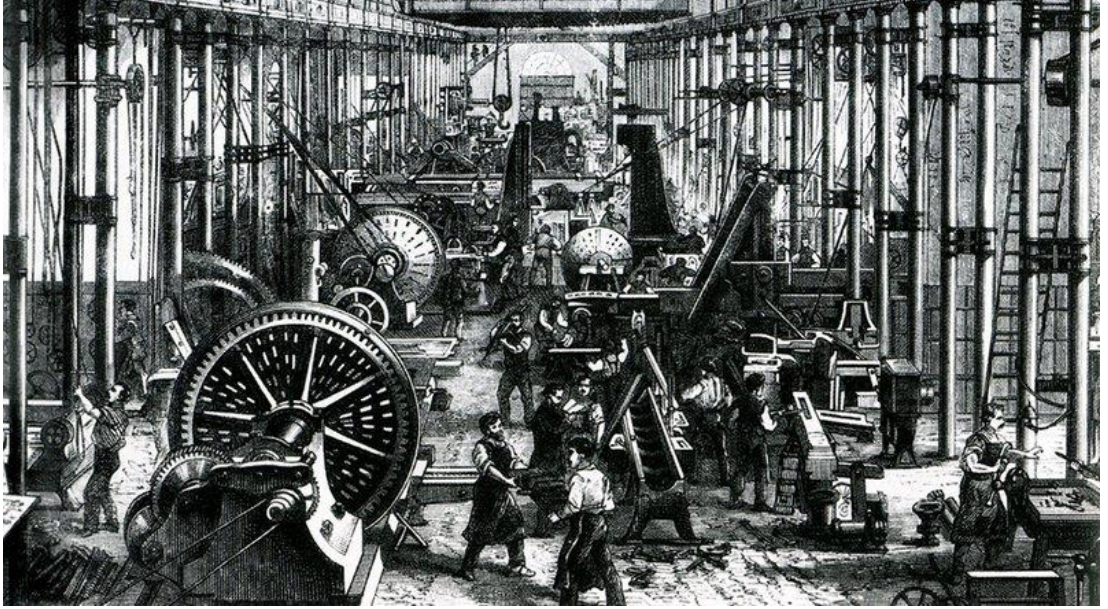
- Avrupa'da Feodal yapının yıkılması ile yaşanan hızlı nüfus artışı.
- Tarımda yaşanan ilerlemeler sonucu tarımda çalışan işgücünün kentlerdeki sanayilere yönelerek işgücünü artırması.

- Toplumun refah seviyesindeki artış. Önceden lüks tüketim olarak kabul edilen çay, kahve ve şekerli ürünlerin alt ve orta düzey gelir grubunun doğal gereksinimi olmaya başlaması dolaylı olarak talebi artırmış ve arzın da artması gerekliliğini ortaya çıkartmıştır.
- Sömürgecilik faaliyetlerinin artmasıyla artan yağmalar, sanayi devriminin en temel finans kaynağı haline gelmiştir. Gerek İspanyol denizcilerin Orta Amerika'dan yağmaladığı altınlar, gerekse de İspanyol ticaret gemilerini vuran, yağmacıları yağmalayan İngiliz denizcileri, bu faaliyetlerden tonlarca altını Avrupa'ya taşımıştır. Tüm bu olaya 16. ve 17. yüzyıllarda, Avrupa'yı sanayi devrimine götüren süreçleri etkileyen unsurlardır.
- 23 Haziran 1753 tarihinde Hindistan'da Fransız birliklerini savaşta mağlup eden İngiliz kuvvetleri (Plessey Savaşı), Babür İmparatorluğu'nun dev hazinesini ele geçirmişlerdi. Bu hazinenin Britanya'ya taşınması ile birlikte ülke ekonomisinde meydana gelen para ve finansal imkânlarının, tekstil ve buharlı makineleriyle ilgili tüm teknolojik gelişmelerin 1758-1791 tarihlerinde gerçekleşmesini açıklamada birincil etken olduğunu söyleyebiliriz.
- Avrupalı devletler yeni kurdukları kolonilerden elde ettikleri mal ve ürünleri işleyip tekrar bu kolonilere sattılar.
- Küçük burjuvalık gelişip orta sınıfın da zenginleşmesi itici bir kuvvet yarattı.
- Zenginleşen orta sınıf kapital sermaye birikimini sağladı ve bunu kullanacak yatırım araçları ile sektör arayışı arttı.
- Lojistikte ve demiryolunda yaşanan ilerlemeler.
- Reform hareketleri ve Protestanlık: "Bugün çalış yarını düşün" yaşam felsefesinin oturtulması.
- Nesnel düşünme yetisinin önem kazanması ve bilimsel araştırma tekniklerinin yeni bilimlere ortaya çıkartarak teknolojik ilerlemeleri tetiklemesi,
- Britanya topraklarının sanayi devriminin en temel ihtiyaç kaynakları olan kömür ve demir önünden zengin olması,
- Birleşik Krallık dönemin en geniş sömürge topraklarına hâkim olması endüstriyel olarak ürettikleri ürünlere pazar bulmasında avantaj oldu.
- Askeri ve ticari açıdan İngilizlerin denizlikte olan üstünlükleri ürettikleri ürünleri uzak pazarlara taşıma imkânı vermesi,

- İngiltere'nin kıta Avrupa'sında yaşanan Rönenans döneminden beri kumaş sanayiinde öncü olması sanayi atılımına da öncülük etmesinde etkili oldu.
(Sander)

Fabrika sistemi ile üretim, talep artışı doğrultusunda bir gereksinme olarak ortaya çıktı. Büyük makineler ev üretimi için elverişsizdi. Bu nedenle evler yerine işçilerin makinelerin bulunduğu büyük binalara giderek çalışma sistemi, başka deyişle fabrika sistemi süreç içinde meydana geldi.

Endüstri devrimi ya da bir diğer adı ile Sanayi Devrimi olarak tanımlanan bu süreç insanlık tarihinin son yüzyıllardaki endüstriyel ilerlemelerine bakıldığında bunun bir devrimden ziyade devrimler zinciri olduğunu görmekteyiz.



Şekil 3- İngiltere'de Sanayi Devrimi -18. YY

1.3. ENDÜSTRİ DEVRİMLER TARİHİ VE AŞAMALARI

Genel olarak endüstri devrimlerini dört ana tarihsel başlıkta toplayabiliriz. Bu dört temel ana süreci ilk etapta kısaca incelemek endüstriyel devrim kavramının bütününe daha anlamada yardımcı olacak ve her aşamasını detaylı incelediğimizde daha geniş perspektiften bakarak çalışmanın amacına ulaşmasına olumlu etki edecektir. (Spat; Ganschar; Gerlach; Hammerle; Krause; Schlud)

1. Endüstri Devrimi: Su ve buhar gücüyle çalışan mekanik üretim tesislerinin kurulması; Dokuma tezgâhı vb. – 18. Yüzyılın sonları
2. Endüstri Devrimi: Elektrik enerjisinin sanayide kullanımı ile üretimin ortaya çıkışı. Örnek: Kitlesel üretim için otomatik hayvan besleme sistemi – 20. Yüzyılın başları
3. Endüstri Devrimi: Üretimde otomasyonu daha ileri seviyeye çıkaran elektronik sistemler ve bilişim teknolojilerinin kullanılması. Örnek: İmalatta otomasyon ve sanayi robotu kullanımı – 1970 sonrası
4. Endüstri Devrimi: Siber-Fiziksel sistemlere (SFS) ve dinamik veri işlemeye dayalı üretim anlayışı. Dijital ve fiziksel ve arasında bağlantılı yani birbiri ile iletişim kuran imalat makineleri – Bugün ve yakın gelecek

Endüstriyel Devrim mantığını kavramak için bu dört tarihsel süreci bir arada ele almak gerekir. Eskilerin çokça söylediği “Geçmişini bileyen geleceğini bilemez” sözü bu çalışma ve süreç için son derece geçerlidir.

Sürecin tamamına tek büyük resimde baktığımızda temel amacın daha fazla zincirleme ve entegre üretim sistemiyle üretim yapılması ile düşük kalifiye çalışanların sayısında azalma görülmesi ve bu sayede verimliliğin artırılması amaçlandığı görülmektedir. Kısacası akıllı ve koordineli makineler niteliksiz ya da az nitelikli işgücünün yerini alacaktır. Ancak bunun yanında geleceğin fabrikasını yönetmek ve denetlemek adına şimdikinden daha nitelikli işgücüne ihtiyaç vardır. Makinelerin birbiri ile iletişimi ve makinaların insanlar arası iletişimi etkileşimi sayesinde özel üretim mantığını ve düşük miktarlarda üretimin mümkün daha da önemlisi düşük maliyetlerde üretilebilmesini mümkün hale getirir. (Çetiner)

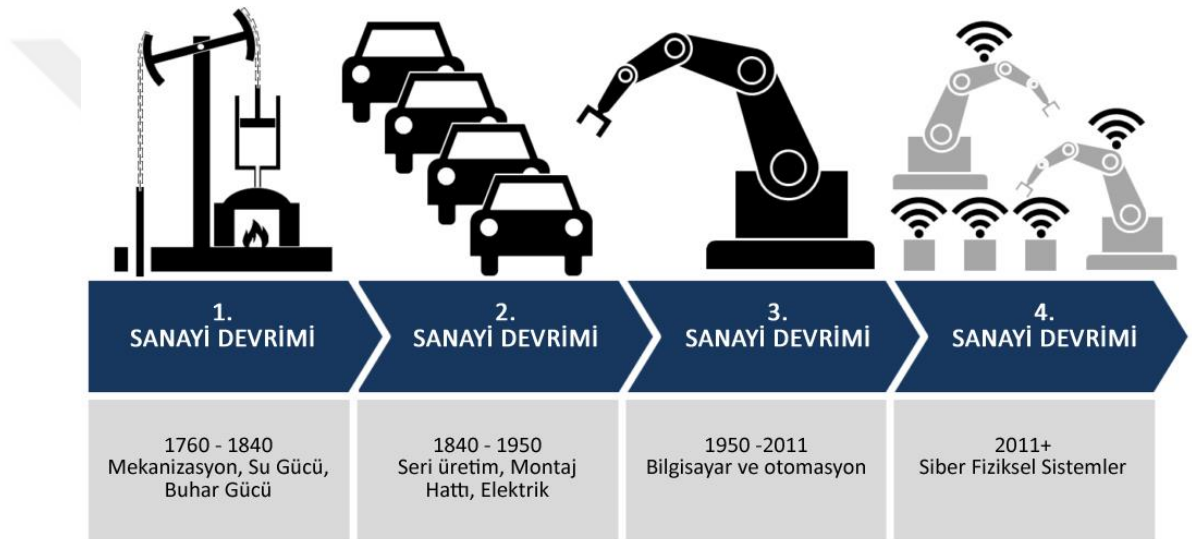
1.4. ENDÜSTRİ 1.0 ‘DAN 4.0 ‘A UZANAN SÜREÇ – SANAYİ DEVRİMLERİ

Çalışmanın başında ilk endüstri devrimini detaylıca ele aldık. Ancak bu süreç iki noktada el alınmalıdır. Çünkü 1. Endüstri devrimi yani sanayi devrimi sadece Endüstri 1.0 olmayıp aynı zamanda tüm üretim süreçleri evrimi süreçlerinin başlangıcıdır. Bu yüzden konunun başında sanayi devriminin tarihsel süreci açısından giriş yapılan 1. Evreye şimdi de temelde aslın değinmek istediğimiz nokta olan el tezgâhlarından günümüz akıllı üretim sistemlerine kadar uzanan sürecin üretim yönetimleri ve teknolojileri açısından ele alalım.

Günümüze kadar endüstriyel tarihte büyük çapta üç adet sanayi devrimi gerçekleşmiştir. Sanayi anlamında ilk devrim 18. yy’da buhar gücü ile çalışan makinelerin icadıyla başlayan ve üretimde arzı artıran Sanayi Devrimini (Endüstri 1.0), elektrik enerjisini üretimde kullanımını tetikleyen ikinci bir endüstriyel devrimin önünü açmış ve Endüstri 2.0 ortaya çıkmıştır. Sonralarında ise analog olarak çalışan bu üretim anlayışının dijital sistemlerin bünyesine katılması ile üçüncü bir endüstriyel devrim meydana gelmiş olup Endüstri 3.0 meydana gelmiştir (Yıldız 547). Buradan hareketle bu üç sanayi devrimi üretim yöntemlerinde elektromekanizasyon ve IT adı verilen bilgi teknolojilerinin kullanımını dahil etmiştir. Böylelikle, ilk üç sanayi devrimi, insan üretimine mekanizasyon, elektrik ve bilgi teknolojilerini (IT) getirmiştir (Q. Jian, L. Ying and R. Grosvenor). Endüstride yaşanan bu üç büyük devrim sonucu üretimde verimlilik artışı meydana gelmiştir (A. V. Can ve M. Kıymaz). O dönemde global rekabette toplumsal ve teknolojik sıkıntıları, üreticileri önemli sorunlarla baş başa bırakmış olup, üretimde verimliliği artırmak tek başına bu sorunların üstesinden gelmeye yetmemiştir. İşletmeler bu sert süreci aşabilmek adına hammadde temini, imalat ve lojistik hizmetlerin tümünde derin inovatif yeniliklere ihtiyaç duymuştur. Yapılan bu inovasyonlar hızlı adaptasyon taşıyan siber ve fiziksel sistemlerle desteklenmesi gerekiyordu (S. Andreas, E. Selim and W. Sihn). Sovyetler Birliği’nin dağılarak kapital düzene geçmesi ve bununla birlikte soğuk savaş döneminin de sona ermesi bu ülkeler arası ticari faaliyetleri artırdı. Müşterilerin alışveriş alışkanlıkları 1960’ların sonuna kadar mevcut ürünü almaya yönelik idi.

Ancak 2000’li yıllara geldiğimizde değişen tüketici alışkanlıkları ve beklentileri işletmelerin üretim süreçlerini müşterilerinin taleplerine göre revize etmelerine ve böylece çok daha karmaşık üretim süreci yönetme gerekliliği ortaya çıktı (S. Sayer ve A. Ülker).

Bunun etkisi ile işletmeler farklı disiplinlerle çalışmaya başlamış ve işin içine interneti de dahil ederek tüm nesnelerin birbiri ile iletişim halinde olduğu dördüncü nesil endüstriyel devrim olan Endüstri 4.0 ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu endüstri devrimlerinin gelişimi Şekil 4’de gösterilmektedir (L. Yang).



Şekil 4 – Endüstri Devrimleri

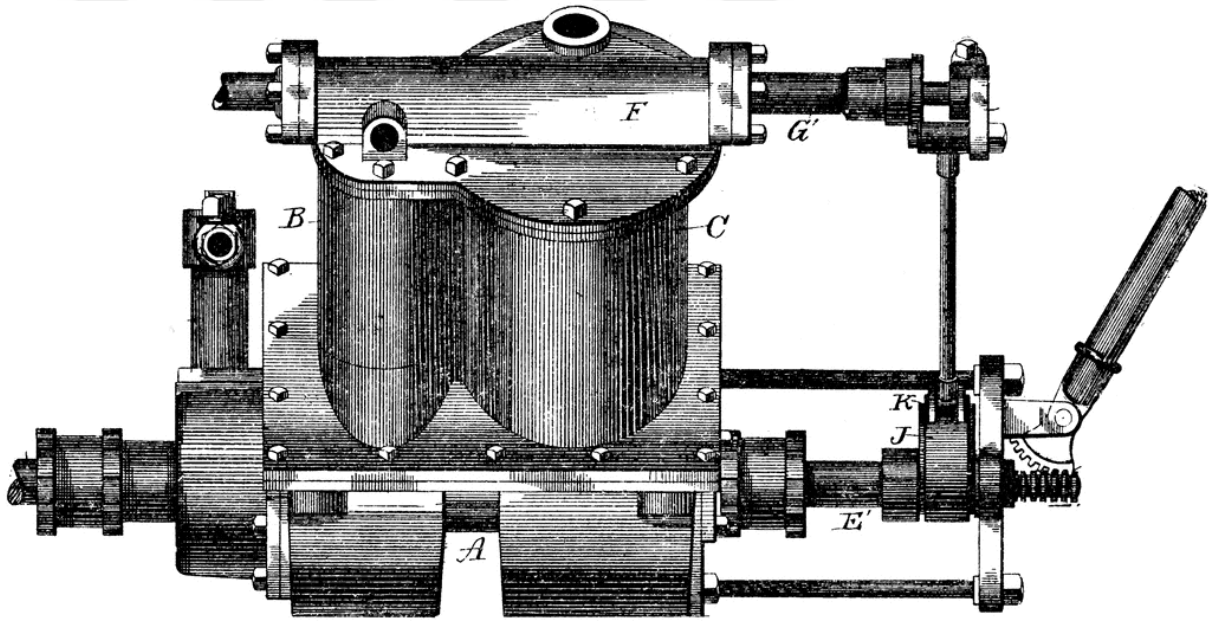
Sanayi devrimlerinin bütününe baktığımızda ilkinden şimdikine kadar takip eden süreçlerde buhar gücü ve su ile çalışan makinelerden elektrikli makinelere, dijital otomatik makinelerden birbiri ile iletişim kurabilen makinelere kadar üretimde devrim niteliğinde birçok değişiklik meydana gelmiştir. Daha karmaşık yapıdaki üretim süreçleri bu yapısına rağmen otomasyonel ve yönetilebilir hale gelmiştir. Bu da, makinelerin basit, verimli ve kararlı çalışması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Witkowski 763-769).

1.4.1. BİRİNCİ SANAYİ DEVRİMİ (ENDÜSTRİ 1.0)

Avrupa kıtasında 1720’li yıllarda başlayan devletlerarası etkileşim ve bunun getirdiği ticari faaliyetlerde artmaya yaşandı. Yapılan bu uluslararası ticaretin en temel sorunsalı ise ticaretin temel elemanı olan ürünlerin talep edilen miktarlarda bulunamamasıydı. Ana ticaret kalemleri kentlerin dışında köylü halk tarafından ailecek sınırlı miktarlarda üretilirdi. Bu ürünler tüccarlar tarafından büyük şehirlere ulaştırılarak satılırdı. Ticarete esasen talebin artması fiyatların doğal olarak yükselmesi ile sonuçlanır. Dönemim en fazla ihracat yapan ülkesi Birleşik Krallık idi. Arz ettiği ürünlerden en çok talep görenleri iplik ve tekstil ürünleriydi. Dönemim tüccarları çiftçilerden satın aldıkları yünleri köylülere veriyor ve iplik yaptırıyordu. Köylülerin ürettiği bu iplikler dokuma sanatına hâkim köylülere dokutularak kumaş elde edilip boyanıyordu. Esasında köylüler bu işlemlerinin çoğunu boş zamanlarında yaptıklarından dolayı tüccarlara maliyeti oldukça düşüktü. Talebin yükselmesi ile birlikte köylü üreticilerin boş vakitlerini ayırdığı bu üretim zamanı tüccarların ihtiyaç duyduğu üretimi karşılayamaz hale geldi. Tüccarlar büyük binalar yapıp köylü kadın ve çocuklara bu binalarda iplik yaptırıp kumaş dokutturmaya başladılar. Tüm bu süreçte gelişen teknolojiyle uçan mekik, yeni nesil dokuma çıkırığı gibi basit yapılı dokuma makineleri geliştirildi. Buhar gücüyle çalışan imalat makinelerinin gelişmesi ile günümüzdeki fabrika yapısına uygun üretim alanları meydana geldi. Buhar teknolojisi aynı zamanda gemi ve trenlerde de kullanılmaya başlayınca bu seri üretim fabrika ürünleri üretimde geri kalmış ülkelere ulaştırılmaya başlandı. Bu endüstriyel ve ticari atılım Birleşik Krallık’ı diğer ülkelerin önüne taşıyarak dev bir dünya imparatorluğu haline getirdi (Scwhab 7-12). Esasen Sanayi devriminin ilk adımı ya da günümüzde Endüstri 1.0 adını verdiğimiz bu süreç Thomas Newcomen tarafından 1712 yılında buhar gücüyle çalışan pompanın icat edilmesi ile başladı. icat etti. Bu icadı James Watt 1781’de daha da geliştirerek verimli hale getirdi ve ticarileşmesini sağladı. Bu teknolojik start-up endüstriyel devrimler tarihinde ‘Endüstri 1.0’ adıyla geçmektedir. (Görçün 9).

Buhar gücünün demiryollarında kullanılmasıyla demir yolu ağları tüm dünyada genişlemeye başladı. Daha da ötesi buharlı gemiler, fosil yakıtlı otomobiller ve telgraf gibi icatlarla insanlık uzaklık olgusunu yendi ve daha geniş bir pazar yaratmaya başladı. Penyardren buharlı lokomotifi 21 Şubat 1804 tarihinde, beş vagon, yetmiş yolcu ve 10 ton demir taşıyarak devrimin etkisini ve potansiyelini net bir şekilde ortaya koymuştur (Görçün 9-12).

Buharlı makinelerin icadı o kadar önemlidir ki, günümüzde en ileri teknoloji gerektiren yerlerde dahi ürettikleri güç ve performans sebebi ile diğer fosil yakıtlı motorlara tercih edilmektedir. Bugün uçak gemilerinde savaş uçaklarını gemiden fırlatma rampası olarak kullanılan sistemlerde çok kısa sürede yüksek devir ve torka ulaşabildiği için buharlı makineler kullanılmaktadır.



Şekil 5 – Buhar Motoru

1.4.2. İKİNCİ SANAYİ DEVRİMİ (ENDÜSTRİ 2.0)

Endüstri 2.0 olarak adlandırdığımız endüstriyel devrimler sürecinin (1870 ve sonrası) sanayide kullanılan hammadde ve ihtiyaç duyulan enerjide değişiklikler meydana geldi. Demir, kömür gibi hammaddelere petrol türevleri, çelik ve elektrik enerjisi üretimde kullanılmaya başlaması ile endüstri bugün de kullanılan güncel yapısını aldı. Hammadde olarak demir, endüstriyel devrimin ilk aşamasında dominant olmasa da çok büyük bir öneme sahipti. Devrimin ikinci seviyesine gelindiğinde ise çelik ürünleri tam anlamıyla sanayinin vazgeçilmezi oldu. Bunun en basit örneğini demiryolu taşımacılığında görebiliriz. Birinci Dünya Savaşı'nda demiryollarının lojistik anlamda sağladığı katkı buna en temel örnek olarak verilebilir (Görçün 16).

19. yy'ın son 30 yılına bakıldığında bu dönem Avrupalılar için altın çağı olmuştur. Osmanlı hâkimiyetinde olan Balkanlar dışında kıta uzun süren savaş ve ayaklanma dolu bir dönemi atlatmış idi. Bununla birlikte Avrupalı devletler Afrika kıtası, Asya'nın kayda değer kısımlarını sömürgecilik yöntemi ile kendi egemenliklerine dâhil etmişlerdi. 20. yy başlarına kadar sömürgecilik alanlarını genişletme ile meşgul olan Avrupalı devletler bu süreçte yeterli alan bulunması sebebi ile ciddi bir çatışma ile karşılaşmadılar. Sömürge haline getirdikleri Asya ve Afrika coğrafyasına ise sanayi devriminin getirdiği teknolojik üstünlüklerin avantajı ile de yerli halk ile yapılan savaşlar büyümeden üstünlüklerini sağladılar. Bu süreci teknolojinin dünyayı fethi olarak da tanımlayabiliriz. Endüstri 2.0 döneminde de ilk aşamadaki kömürün ye buhar gücünün yerini elektrik ve petrol türevleri alacaktı (Görçün 18).

ABD'de çıkartılan ilk petrolden yaklaşık yirmi yıl sonra içten yanmalı motorun icadı ile petrolden enerji elde etme fikri ortaya atıldı. Doğan gazla çalışan içten yanmalı motor 1876'da Alman bir mühendis olan Nikolaus Otto tarafından çıkartıldı. Bir süre geçmesinin ardından Gottlieb Daimler (1834-1900) petrolle çalışan bir motor yapmış, Karl Benz (1844- 1929) de parlamayı sağlayan yakıtı ateşleyecek bir cihaz icat etti. Bu şekilde 20. yy'a damga vuracak daha modern bir enerji kaynağı gündeme alınmış olup otomotiv sanayinin de ilk sinyalleri verilmiş oluyordu. Bu ikinci aşama geçişinin bir başka büyük olayı elektrik enerjisinin endüstride kullanılması idi. Günümüzde dinamo olarak bildiğimiz hareket enerjisini elektriğe çeviren mekanizma 1831 yılında Michael Faraday tarafından icat edilmişti. 1873 yılına gelindiğinde kömür tedarikinde sıkıntı yaşanana sanayi bölgelerinde elektrik yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

Takvimler 1914'ü gösterdiğinde İngiltere'de tüketilen enerjinin yarısı, Almanya'da ise yarıdan da fazlası elektrik enerjisi idi. Bir başka büyük inovasyon ise inşaat sektörü ve ağır sanayide kullanılan demirin yerini daha ucuz olan çeliğin alması oldu (Kennedy 64).

İngiliz bir madenci olan Henry Bessemer 1856 yılında keşfettiği yöntemle çeliğin maliyetini demire kıyasla yedi kat düşürüyordu. 1863 yılında Fransa'da Siemens-Martin adı verilen yöntem ile (açık fırın) ayrı bir çelik üretim yöntemi daha geliştirildi. 1878'ye geldiğimizde S.G. Thomas ile Percy Gilchrist isimli İngilizler Bessemer adını verdikleri tekniği yüksek oranda fosfora sahip demir cevherine uyguladılar. Bu sayede çelik düşük maliyet ve yüksek dayanım gerektiren demiryolu ve inşaat gibi sektörlerde demirin yerini almaya başladı. Kimya sanayine bakıldığında ilk büyük değişimini bu dönemde yaşadığını söyleyebiliriz.

Kömür türevi ürünlerin farklı kullanım alanlarının keşfiyle kimya sektöründe sentetik boyaların üretimi artmaya başladı. Bu kimya sanayiinde devrim doğu toplumlarının elinde olan geleneksel boya üretiminin sonu anlamına geliyordu.

Sentetik kimyasalların üretimi boyanın yanında aspirinin icadına ve hatta suni gübrenin üretimi bile bu dönemde meydana geldi. Bu yüzyılın sonuna geldiğimizde de sentetik tekstil ürünleri de üretilmeye başlandı. Endüstriyel devrimin bu ikinci aşamasının en önemli noktası tarım hariç neredeyse tüm sanayinin makineleşmesini sağlamasıdır. Fabrikasyon ayakkabı ve hazır giyim imalatı da bu dönemde başladı (Kennedy 66).

Üretimde artan makineleşme matbaacılık sektörün de harekete geçirdi; yeni geliştirilen ve linotip adı verilen dizgi makinesin basın yayın maliyetlerini yarsına indirdi. Gelişen teknoloji, tüketiciye güncel ve daha nitelikli ürünler sunuyordu. Otomobil, bisiklet gramofon ve elektrikli aydınlatma ver daha birçoğu gibi tamamı ile yeni ürünler pazardaki yerin almıştı. Otomobil fiyat olarak yukarıda kaldığından sadece üst kesime hitap etse de telefon ev elektrik ile aydınlatma devletlerin ve belediyelerin hizmet olarak halka sunduğu ürünler olmayı başarmıştı. Özellikle ABD'nin büyük şehirlerinde cadde ve binaların çoğu elektrik enerjisi ile aydınlatılıyordu.

Devrim yaratan yeni teknoloji ulaşımda da kendini hissettirmekte olup 1863 yılında dünyanın ilk metrosu Paris'te açılmış ve 1890 yılında bu metro buhar gücü yerine elektrik enerjisi ile hizmet vermeye devam etmişti. Paris metrosu da Dünya Fuarı'na eş zamanlı olarak 1900 yılında faaliyete geçti. 1902 yılında Berlin metrosu, daha sonraları da New York Moskova gibi önemli metropoller metro teknolojisi ile ulaşımı koordine edecekti (Kennedy 71).

Telgraf sanayi devriminin haberleşme alanında yaptığı en büyük devrimdi. Sanayi devriminin ikinci de teliz ve telefon gibi icatları getirdi. Graham Bell işitme engellerin sesleri algılayabilmesi için bir cihaz geliştirme çabası içindeyken 1876 yılında telefonu icat etti.

Kısa zamanda hızla gelişen bu icat 3 yıl içinde Britanya ve İngiltere arası haberleşmeyi sağladı ve 1900'lere gelindiğinde ABD'de her 50 kişiye bir telefon düşecek kadar yaygın hale geldi. ABD'li bir işadamı ve sanayiciolan George Eastman 1884 yılında esnek kâğıt üzerine çalışırken makara filmi bulmuş ve bu vesile ile Kodak kamerasını geliştirmiştir (Görçün 59).

1.4.3. ÜÇÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ (ENDÜSTRİ 3.0)

Endüstriyel devrimin ikinci aşamasında üretim yönetimi organizasyonu planlı ve insan odaklı bir sisteme dayalı idi. Bu başarılı sistem 1970'li yıllara dek sürdürülebilir bir kalkınma ile devam etti. Bu önemli ilerleme hem yönetsel hem de makine sanayiinde meydana geldi. 1970'lerden günümüze kadar uzanan bu süreç Endüstri 3.0 egemenliğinde olduğunu söyleyebiliriz. 2. Dünya Savaşı'nda yaşanan gelişmeler ile bilgi ve üretim anlamında meydana gelen gelişmeler ve ihtiyaçlar programlanabilir mantıksal kontrol sistemleri ile çözülmüştür. Üretimde kullanılan PLC destekli otomasyonlu üretim kullanılarak verimlilik artmıştır. Bundan önceki sanayi devrimlerinde üretim sistemlerinin mekanik gücünde, sonrasında ise daha büyük çaptaki enerji sistemleriyle organize yapılar kuruldu. Üçüncü endüstriyel devrimin çağ açan olayı ise makineler üretim süreçlerinin kontrol ve kısmi yönetim kısımlarında yer almaya başlamış, yapay zekâ taşıyan akıllı makineler dönemini başlatmış olmasıdır.



Şekil 6 – Robot Destekli Üretim

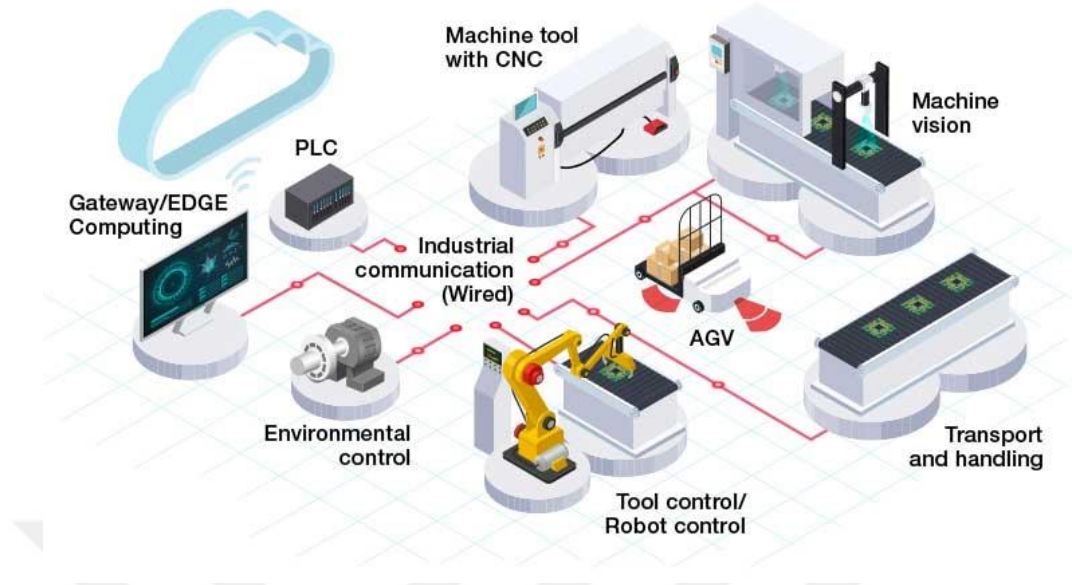
İlk iki endüstriyel devrimi birbirinden ayıran çizgileri nasıl çok keskin olarak göremiyor isek şimdi de üçüncü ve dördüncü endüstriyel devrimler arası da benzer bir durum ile karşılaşmaktayız. (Banger 48). Bu geldiğimiz yeni endüstriyel seviyede bilgisayarlar, mikroelektronik çipler, fiber optik, lazer gibi teknolojilerin, telekomünikasyon, nükleer, biyotarım ve biyogenetik gibi bilimlerin ilerlemesini hızlandırıp, üretimin yönelimini ve formatında etkin olmuştur. İletişim teknolojileri ve lojistik hizmetlerdeki yeni ilerlemelerle, pazarlama anlayışı yerelden globâle döndü. Ancak insan oğlunun bugüne kadar fark etmediği ve yeni idararak ettiği nokta vardı ki o da dünyadaki kaynaklarımızın azalmakta olduğu idi. Bu da sürdürülebilirlik anlayışının çıkmasını sağladı. İlk endüstriyel devrimde kömür ve buhar gücünden enerji elde ediliyordu. Seviye ikiye gelindiğinde ise bunların yerini petrol ve elektrik almaya başladı. Ancak üçüncü devrim geldiğinde ise petrolün sınırlı olması ve çevresel kaygıların ön plana çıkması rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir kaynakları gündeme getirdi.

2. ENDÜSTRİ 4.0 – 4. NESİL SANAYİ DEVRİMİ

Mekaniğin insanlığın günlük yaşamına girmesi sanayi devriminin çok öncesine dayanmaktadır. İkel makineler hayatı ve çalışmayı kolaylaştırdığı gibi güçten de tasarruf sağlıyordu. Buhar gücü ile çalışan makinelerin icat edilmesi ile birlikte mekanik bilimi çağ atlayarak ilkel makinelerin misliyle güç kazancı sağlamaya başladı. Endüstriyel elektrik ve planlı üretim yönetimi de bu katkıyı artırdı. Ancak tam manasıyla anlatmak istediğimiz endüstriyel devrim Endüstri 3.0 devrimi ile bir başka boyuta ulaştı. Bilgisayarların iş hayatında yerini alması ile kapasiteleri daha iyi anlaşılmasına başlandı ve bu üstün nitelikli icat imalat sistemlerine entegre edilmeye başlanarak akıllı makinelerin devri başlamış oldu. Bilgisayar ve türevleri ev tipi cihazlardan, kitle iletişim araçlarına, uçaklardan yeni nesil demiryolu ulaşım hatlarına kadar hayatımızın her alanında önemli görevler almaya başladı (Scwhab 22).

Endüstri 4.0 kavramı önceki üç endüstriyel devrim sonrası yeni bir aşamaya dikkat çekme amaçlı gündeme getirildi. Hatırlanacağı üzere ilk endüstriyel devrim kömür ve buhar gücü ile imalatta makineleşmeyi sağladı. İkinci endüstri devriminde üretimde elektrik kullanılmaya başlanarak kitlesel seri üretime öncü oldu. Üçüncü devrim elektronik ve IT'nin kullanımı ile üretimin otomasyonel sisteme geçişini sağladı.

Her sene Davos'ta organize edilen Dünya Ekonomik Forumu raporunda; 4. Sanayi Devrimi, üçüncünün temelleri üzerinde, fiziksel, sayısal (dijital) ve biyolojik alanlar arasındaki belirgin çizgiyi saydamlaştıracaktır. Teknolojiler arası geçiş ve kaynaşma sağlayacağı öngörülüyor. Üçüncünün devamı olmasından ziyade, üretimde hızın bazı potansiyelleri tetikleyeceği sistemsel bir etki ve yüksek ivmelenmeye değiniliyor. Daha önceki endüstriyel devrimlerden farklı olarak lineer değil parabolik bir tempo ile evrileceği noktasına dikkat çekiliyor. Bu sayede gireceği her sektörün Endüstri 4.0 dan yıkıcı boyutta etkilenecek bilinen tüm üretim yönetimi, bilişim, yönetim sistemlerinde zorunlu değişiklikler getirmesi öngörülüyor (Scwhab 14).



Şekil 7 – Endüstri 4.0

2.1. ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMININ ORTAYA ÇIKIŞI

Almanya'nın Hannover kentinde düzenlenen "2011 Hannover Fuarı" etkinliği sırasında Almanlar tarafından 4. endüstriyel devrimin başlangıcını simgeleyen Endüstri 4.0 kavramı ilk defa kullanılmıştır (Witkowski). Ayrıca 2011 yılında Endüstri 4.0 kavramı Alman hükümetinin stratejik önceliği haline gelmiş ve Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020 Eylem Planı'na dahil edilmiştir. Böylece, Endüstri 4.0, ülkelerin gelecekte rekabet edebilmesi için uyguladıkları strateji planlarının bir parçası olmuştur (Mrugalska, Wyrwicka 466-473). Benzer endüstri ülkelerinde de benzer nitelikte stratejiler önerilmiştir. Örnek olarak; Avrupa düzeyinde, Endüstri 4.0 kavramına eş değer olarak nitelendirilebilecek şekilde, "Geleceğin Fabrikaları", ABD'de "Endüstriyel İnternet" ve Çin'de "İnternet +" terimleri türetilmiştir. 2011 yılından beri, "akıllı imalat", "endüstriyel internet" ya da "entegre sanayi" olarak da bilinen Dördüncü Sanayi Devrimi olarak anılan endüstri 4.0 terimi dünyadaki endüstriler ve akademisyenler arasında en popüler imalat konularından biri olmuş ve günümüzde sadece belirli sektörleri değil, tüm sektörleri etkileyebilecek potansiyele sahip olduğu kabul edilmektedir (A. Trappey; C. Trappey; Govindarajan).

4. Endüstri Devrimi, sanayide, günümüz makinelerinin insan gücünden bağımsız olarak kendi kendilerini ve üretim süreçlerini yönetme imkanı sahip olması başlangıç olarak kabul edilmiştir (ESO). Endüstri 4.0 başlangıçta bir teknoloji denemesi olarak düşünülürken, şimdi sürekli değişen ve gelişen endüstriyel faaliyetlerde rekabette geri kalmamak için bir gereklilik olmuştur (A. Chuang, J. Sun). Çünkü endüstri 4.0 sayesinde elektronik cihazların kullanılması ve yazılımların karar verme süreçleri ve akıllı sistemlerin üretiminde daha aktif yer alması beklenmektedir (Erol, Hold, Sihn).

2.2. DÜNYADA MEVCUT ENDÜSTRİYEL SEVİYE

Endüstriyelleşmiş toplumlar ki bunlara G-7 ya da eski adıyla G-8 ülkeleri de diyebiliriz şu an 3. nesil endüstri seviyesinde üretim yapmaktalar. Endüstrinin 3. Aşamasındaki bu ülkeler için 4. aşama endüstri devrimine geçiş daha hızlı ve kolay olacaktır. Türkiye şu an ortalama olarak endüstrinin 2. ve 3. dalgaları arasında yer almaktadır. Ancak bu 4.0 endüstriyel geçişi imkânsız kılan bir özellik değil, hatta Türkiye gibi ülkeler için bir fırsat konumundadır. (Tübitak)

İkinci Dünya savaşı sırasında yaşanan teknolojik gelişmeler ve savaş sebebi ile artan ani ve hızlı üretim ihtiyacının belirlenmesi ve buna yönelik yapılan çalışmaların da etkisi ile savaş sonrasında yeni nesil bir üretim anlayışın yani 3. Aşama endüstri devriminin gündeme gelmesine sebep olmuştur. Mekanik ve elektronik sistemlerin kullanıldığı o dönem zaman içerisinde yerlerini dijital teknoloji ve programlanabilir sistemlere bırakarak endüstride 3. dalgaya geçilmiştir.

1970’li yılların başında geçilen bu evre bugün endüstriyel toplumlar tarafından dahil olunan ve uygulanan yöntemlerin yer aldığı evredir. Bu evrede yani günümüz dünyasında mikroelektronik dediğimiz temel bileşenleri bilgi işlem ve haberleşme tekniklerine dayanan bilgisayar ve internetin etkin kullanıldığı yöntemleri kapsamaktadır.

Günümüz dünyasında hakim olan bu endüstri 3.0 dönemi bazı sıkıntıları da beraberinde getirmiştir. Bunlar dünya kaynaklarının hızlı tüketilmesi, sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkmasına bu da dolayısı ile çevre kaygılarının doğmasına sebep olmuştur. Bu durum şuan çokça kullanılan yenilenemez enerji kaynaklarından uzaklaşmaya çalışılmasına ve bu süreçte teknolojinin de hızlı ilerlemesiyle Siber-Fiziksel sistemler, nesnelerin interneti gibi kavramlar ortaya çıktıkça dördüncü nesil bir endüstriyel devrim gündeme gelmiştir (BCG).

4. Endüstri devrimi için gerek gelişmiş devlet politikaları gerekse hali hazırda bu alandaki çalışmalara verdiği önem ve yatırımlara ayırdığı sermaye miktarları göz önünde bulundurulduğunda Almanya için endüstri 4.0 konusunda öncü konumda olduğu söylenilebilir. Özellikle Bosch, Siemens, Mercedes, BMW gibi dev global markalı üreticilerin hem ülkenin ekonomik büyüklüğüne hem de işgücü istihdam etmeye katkılı olmaları, kullandığı teknolojiler sektörel stratejileri ile lider konumdadırlar. Almanya 2006'da belirlediği yüksek teknoloji yol haritasını belirlemiştir. Böylece inovasyon anlayışını körüklemiş ve paydaşlarını tek çatı altında toplayarak yatırım desteği sağlamıştır. Bunlara ek olarak 2010'da belirledikleri "İleri Teknoloji Stratejisi 2020" vizyonu sayesinde üniversite-sanayii işbirliğini arttırmayı hedefleyerek bu Endüstri 4.0 yatırımlarına 200 milyon Euro 'luk bütçe sanayi için ayrılmıştır. Almanya hükümetinin yatırım gerçekleştirdiği bu miktar ile endüstri 4.0 konusunda sektörü ne ölçüde dijitalleşmeye yönlendirdiği açıkça gözükmemektedir.

Pazarının en büyüğü olarak görülen ve hızla büyüyen ekonomisini gelecekte de ayakta tutmak isteyen Çin ise sahip olduğu eşsiz insan gücüne rağmen bu liderliğini korumak için endüstri 4.0 stratejisini takip etmektedir. Gelişmiş ülkelerin aksine Çin dijitalleşme sürecinin otomasyon ayağına odaklanmış, otomasyon teknolojisinin insan gücünden daha karlı olduğuna karar vermiş ve "Akıllı fabrika 1.0" projesi ile üretim süreçlerinin dijitalleşmesi yönünde adımlar atmıştır.

Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmaları kısa vadeli planlarla değil, uzun soluklu planlarla gerçekleştirmeye çalışan Amerika Birleşik Devletleri, gelişmiş teknolojisi ve inovasyon kültürü ile 4. endüstri devrimine en yakın ülkelerden birisidir.

Amerika'nın endüstriyel internet için yaklaşık iki milyar dolarlık bir fon ayırması ve aynı zamanda konuyla ilgili araştırmalar yapan Industrial Internet Consortium'u (IIC) kurmuş olması, bütün bunlarla birlikte ülkenin inovasyon, yazılım geliştirme ve eğitim alanlarında kanıtlanmış geçmişi endüstri 4.0 için ne kadar sağlam temellere sahip olduğuna dair ipuçları vermektedir.

Finlandiya, ülke olarak gerek nüfusu gerekse ekonomik hacmi olarak adından çok fazla söz ettirmese de endüstri 4.0 ile ilgili ciddi çalışmalar gerçekleştirmektedir. Finlandiya'nın inovasyon ve teknoloji mali destek ajansı tarafından yürütölen Ar-Ge programı ve ayrıca farklı firmaları birbirine bağlayabilmek adına "Fin Endüstriyel Internet Forumu (FIIF)" bulunmaktadır. Bu oluşum aynı zamanda sorunların çözümünde teknolojinin kullanımını artırmayı, daha hızlı test ve denemelerin yapılabilmesini, girişim aktivitelerini ve Ar-Ge çalışmalarını desteklemeyi, konuyla ilgili eğitimler düzenlemeyi ve özellikle Avrupa ve ABD'de yaşanan gelişmeleri takip etmeyi ve birlikte çalışma fırsatları oluşturmayı hedeflemektedir. Endüstrielleşme konusunda çalışmalar yürüten devletleri ve oralarda gerçekleştirilen yeniliklere uyum sağlamaktadır (Yıldız 546-556).

2.3. TÜRKİYE'DE ENDÜSTRİYEL DURUM

Türkiye Cumhuriyeti Devleti kuruluş felsefesi gereği batı devletlerindeki yenilikleri ve endüstrielleşmeyi oldukça benimsemiştir. Öncelikli olarak Osmanlı döneminde kaçırılan Avrupa'da yaşanan sanayi devriminin yakalanması hedeflenmiş ve bu kapsamda önemli sanayileşme adımları atılmıştır.

Cumhuriyetin kuruluş döneminde devletçilik ilkesi benimsenerek sermaye sıkıntısının çözölməsi amaçlanmıştır. Yatırımların ve ihtiyaç bulunan sermayenin devlet imkanları ile karşılanması planlanmıştır. Bu kapsamda devlet eliyle yapılacak sanayi yatırımlarının denetimi ve mali yapılarının takibini yapabilmek amacıyla Sanayi Ofisi ve Sanayi Kredi Bankası kurulmuş, yer altı kaynaklarından faydalanabilmek ve elektrik enerjisini temin etmek amacı ile de Etibank işletmesi devlet eliyle kurulmuştur. (Yazıcı, Düzkaya) Devlet bu yapılanmalarla sanayileşme yönündeki ilk adımlarını atmıştır.

1934 yılında ise ilk Beş Yıllık Kalkınma Planı hazırlanarak devreye alınmıştır. 1935 yılında ise devletin ilk iktisadi girişimi olan Sümerbank kurulmuş ve banka sanayi planlaması ve devlet yatırımlarına destek ve öncülük etme görevi tahsis edilmiştir. MKEK endüstrisi tesisleri Anadolu'nun çeşitli yerlerinde açılarak savunma sanayiinin millileşmesi yönünde adımda atılmıştır. Anadolu'nun çeşitli şehirlerinde tarım faaliyetleri, özellikle şeker pancarı üretimi teşvik edilmiş ve şeker fabrikaları açılarak ciddi bir iktisadi ve endüstriyel atılım yapılmıştır.

1930 yılında Nuri Kılıgıl silah sanayisine, 1935 yılında Nuri Demirağ uçak sanayisine adım atarak Türkiye'de özel sektörün öncüleri olmuşlar ve cumhuriyet tarihinin ilk kamu dışındaki sanayileşme faaliyetlerinden olmuşlardır. Ertesi yıl ikinci Beş Yıllık kalkınma Planı hazırlansa da , ülkenin her an savaşa girebilme olasılığı ve nakit ihtiyacı oluşabilme riskinden yani kısaca İkinci Dünya Savaşı nedeni ile uygulamaya geçilememiştir. Savaş sonrası Batılı ülkeler ile ekonomik ilişkiler genişletilerek önemli hamleler yapılmış olsa da istenilen endüstriyel hedefler uzun vadede gerçekleştirilememiştir. (Doğan)

Türkiye son yıllarda sanayileşmede Devletçilik mantığından çıkarak küresel bazda bir rekabete girişmiş ve özel sektör eliyle önemli atılımlar gerçekleştirmiştir. Sanayileşme devlet tekelinden çıkartılmıştır. Fakat her ne kadar Osmanlı'dan kalan sanayileşme eksikliğini kısmen giderebilmiş olsa da potansiyelinin ve olması gereken endüstriyel seviyenin altındadır. TÜBİTAK tarafından hazırlanan Ocak 2017 Akıllım Üretim Sistemleri raporuna göre Türkiye şuan Endüstri 2.0 ve 3.0 arasında bulunmaktadır. Yine aynı raporda gelişmiş ülkeler Endüstri 3.0 seviyesinde olduğu görülmekte olup, bu da ülkemiz açısından Endüstri 4.0 aşamasına Dünya ile eşzamanlı geçmenin gerekli atılımların yapılması halinde mümkün olabileceğini göstermektedir. (Tübitak) Mevcut küresel şartlar ülkemizin endüstriyel seviyesinin muhakkak yükseltilmesi gerektiği aşıkardır.

Türkiye açısından ise endüstri 4.0 yaklaşımı, üretim ekonomisinde rekabet gücü, sürdürülebilirlik, katma değeri yüksek ürün ve hizmet üretmek anlamına gelmekte ve üretim sektörlerinin verimlilik artışının %4-7 arasında olacağı tahmin edilmektedir. Bu rakamlar bir fabrika yada üretim yeri için az gibi gözükse de, tüm üretim sektörünü etkileyeceği düşünüldüğünde hiç de azımsanmayacak miktarlarda artış olacağı aşıkardır.

Türkiye'nin endüstri devrimleri arasındaki konumunu tespit etmek ve atılması gereken adımları belirlemek amacıyla 2016 yılında TÜBİTAK'ın yapmış olduğu çalışma, sanayimizin dijital olgunluk seviyesinin Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 arasında olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda Türkiye'nin Endüstri 4.0 devrimini yakalaması ve öncü ülkeler arasında yer alması için; tüm sanayi şirketlerinin dijital teknolojilere erişiminin kolaylaştırılması, dijital sanayi platformlarının oluşturulması, akıllı endüstrinin yaygınlaşması için uygun çözümlerin sunulması gerekmektedir.

2.4. ENDÜSTRİ 4.0 FARKINDALIĞI

Son yıllarda oldukça popüler hale gelen hatta bir nevi moda gibi algılanan Endüstri 4.0 dalgası çok iyi idrak edilmelidir. Mevcut durumun çok iyi analiz edilmesinin yanı sıra Endüstri 4.0 'ın neler gerektirdiğini özelliklere sektörlere göre iyi algılanması gerekmektedir. Durum böyle olunca da Endüstri 4.0 farkındalığı sektörlere göre farklılık göstermektedir. (Tübitak)

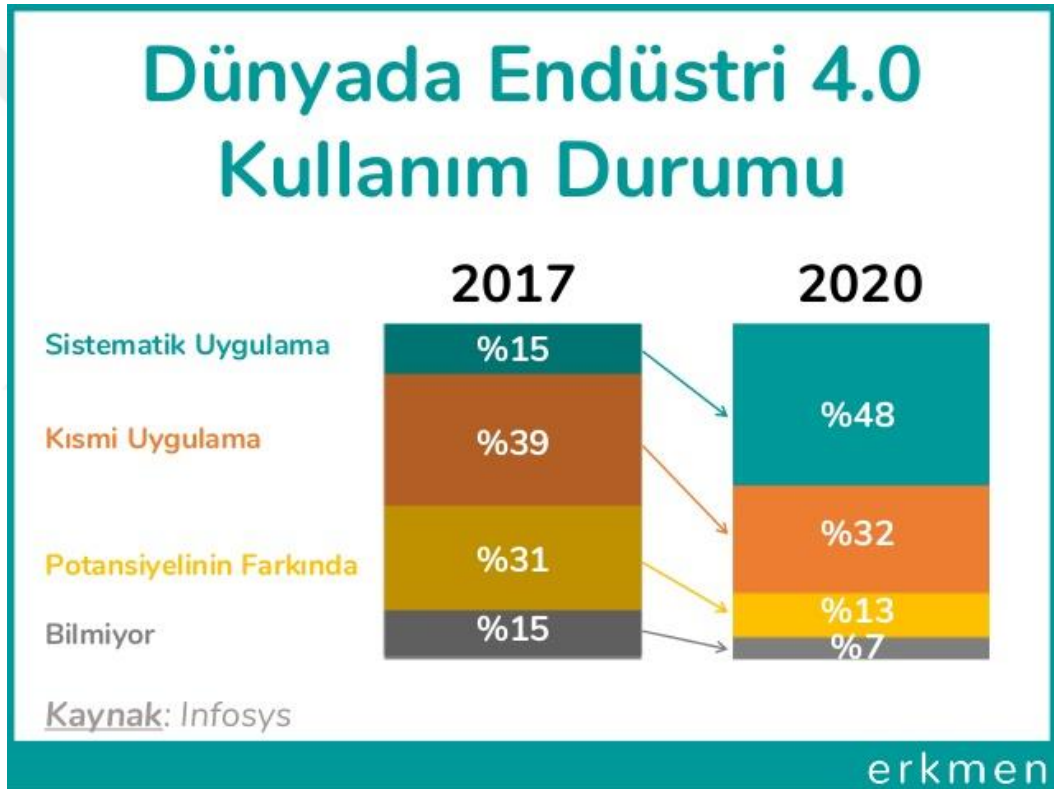
Otomotiv, beyaz eşya ve tüketici elektroniği gibi sanayii dalları dünyada ve Türkiye'de endüstriyel devrimleri her yakından takip etmekte hem de bu devrimlere öncülük etmektedir. Günümüzde bu sektörler bu 4. Endüstriyel devrimin de hazırlıklarına başlamış hatta kısmen üretime bile geçmişlerdir.

Ancak tekstil ve inşaat gibi sektörler için endüstriyel dönüşüme yönelik yeterli düzeyde prototip çalışmalar ve imkanlar olmasına rağmen sektörün aynı farkındalığın olduğunu söylemek oldukça güç.

Tesla Motors tarafından ABD'nin Nevada eyaletinde Tahoe Reno Endüstri Merkezinde inşa edilmekte olan 558,000m² lithium-ion pil fabrikasının 2014 yılında inşaatı başlamış ve 5 milyar \$'a mal olacak olan fabrika 2020'de tamamen bitirilmesi hedeflenmektedir. Boyutu nedeni ile proje adı Gigafactory olarak geçmekte, Washington Boeing fabrikasının ardından dünyadaki en büyük ikinci fabrika olacaktır.

Tesla, Gigafactory sayesinde pil maliyetlerinde en az %30 azalma beklemekte ve 2018 yılında yılda 500.000 Tesla otomobile yetecek kadar pil üretmesi beklenmektedir. 400,000 ön sipariş alan Tesla Model 3 ile talebi artırırken diğer yandan çölün ortasına 2013 Dünya lityum pil arzını ikiye katlayacak fabrikayı inşa ederek arzı artırıyor. Sadece bu hacim ve otomobil amaçlı üretimde tekniklerde yaşanabilecek gelişmeler ile bile maliyetlerde minimum %30 azalma bekleniyor. (Tesla Motor)

Uzun vadede daha önce yukarıda saydığımız diğer tüketici elektroniği ürünlerinde kullanılan bataryalar da aynı üretim yaklaşımı ile üretildiğinde maliyetlerin çok daha fazla düşeceğini göreceğiz.



Şekil 8 – Dünya’da Endüstri 4.0 Farkındalığı

2.5. ENDÜSTRİ 4.0 SWOT ANALİZİ

GÜÇLÜ YANLARI <ul style="list-style-type: none">- Yüksek Verim ve düşük maliyet- Yüksek hassasiyette üretim- Kalitede süreklilik- İnsansız imalata olanak- Üretimde çeşitlilik- Enerji verimliliği- Yalın süreçler ve basit izlenebilirlik- Müşteri memnuniyeti- Üretim alanı ihtiyacında azalma- Daha hızlı tedarik zinciri ve lojistik- Yüksek iş sağlığı ve güvenliği	ZAYIF YANLARI <ul style="list-style-type: none">- Daha nitelikli iş gücü ihtiyacı- Orta nitelikli seviyede işsizlik- Yüksek teknoloji ve bilgi ihtiyacı- İleri düzeyde veri güvenliği gereği- Öngörülemeyen teknik sıkıntılar- Dünyada ilk bir sistem olması ve bundan kaynaklı başarısızlık riski- Toplumsal olarak yüksek eğitim ve bilgi düzeyi gerektirmesi- Gelişmekte olan ülkelerde büyüme hızını yavaşlatma riski- Yüksek kurulum maliyeti ve süreci- Küçük işletmeler ve bazı sektörler için elverişsiz yapı
FIRSATLAR <ul style="list-style-type: none">- Yeni iş kolları ve ticari fırsatlar- Büyüme hızı duran sanayi ülkeleri için ekonomide ve üretimde büyüme fırsatı sunması- Esnek üretim olanakları- Türkiye gibi teknoparklara ağırlık veren ülkelerde inovatif teknopark işletmeleri için fırsatlar- 4. Sanayi devriminin açıkça gerçekleşmesi ve bu farkındalığa sahip orta gelişmişlikteki ülkelerin doğru hamleler ile gelişme kategorilerini yükseltme fırsatları- Argeye yatırım ve yatırımcı fırsatları	TEHDİTLER <ul style="list-style-type: none">- Global işsizlik tehlikesi- Gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde artması beklenen dışa bağımlılık- Üretim artışı sonucu oluşacak atık ürün sorunu- Gelir dağılımı adletsizliğinde artı- Üretimin gelişmiş batı ülkelerine tekrar kayma tehlikesi- Ülkeler arası ekonomik farkın artma riski- Gelişmekte olan ülkelerdeki tüketici pazarı- Yapay zekanın getireceği öngörülemeyen tehlikeler- Nesnelerin internetine dayalı siber tehditler

Tablo 1 – Endüstri 4.0 Swot Analizi

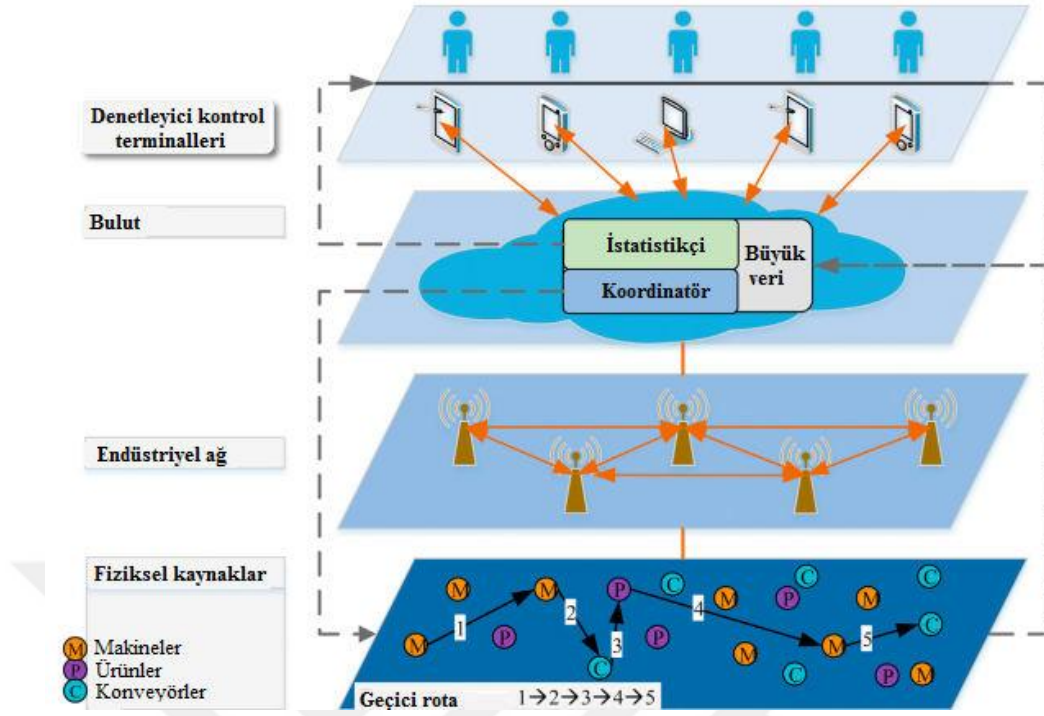
2.6. ENDÜSTRİ 4.0 VE AKILLI FABRİKALAR

Dünyanın önde gelen sanayileşmiş ülkelerinin çoğu, küreselleşen rekabette geride kalmamak için dünyada ileri üretim, yenilik ve tasarımı teşvik etmek için ulusal girişimlere yatırım yapmıştır. Bu yatırımın büyük kısmı, Endüstri 4.0 gibi akıllı fabrikaların ve akıllı imalatın norm olduğu bir geleceğe ulaşmak için olmuştur. Endüstri 4.0; yapay zeka,3D (üçboyutlu) yazıcılar ve uzay teknolojisi gibi alanlarda meydana gelen ilerlemelerle birlikte bütün nesnelerin internet aracılığıyla birbirleriyle etkileşime geçebileceği “akıllı üretim” (smart manufacturing) olarak adlandırılmaktadır. Bilgisayar, cep telefonundan çamaşır makinesi hatta lambalar internet aracılığıyla kontrol edilebilmektedir. Yani Endüstri 4.0 etkilerini sadece fabrikalarda değil, insanların evlerinde bile göstermeye başlamıştır.

Endüstri 4.0’da nesnelerin birbirleriyle haberleştiği önemli yerlerden biri de “akıllı” teknolojilerle donatılmış ve hiçbir insanın çalışmaması nedeniyle karanlık fabrikalar olarak da adlandırılan “akıllı fabrikalardır”. Fabrikalarda üretilen ürünlerin kusurlu çıkmasının en büyük etkenlerinden biri çalışan dikkatsizliği yada yetersizliğidir. Çalışan sayısını en aza indirerek kusurlu ürün sayılarının azaltılması amaçlanmaktadır. Çin’de gerçekleştirilen ve cep telefonu modülü üreten ilk karanlık fabrikada robotların kullanılmasıyla işçi sayısı % 90 azalırken kusurlu ürünlerin oluşma oranı % 25’den % 5’e kadar düşmüştür (Aksoy 34). Şimdiye kadar, CPS, IoT ve CBM Endüstri 4.0’ın temel bileşenleri olarak tanıtıldı. CPS, IoT üzerinden iletişim kurduğundan bu kavramların birbiriyle yakından ilişkili olduğuna dikkat edilmelidir. Bu nedenle, insanların, makinelerin ve kaynakların birbirleriyle doğal olarak sosyal bir ağda iletişim kurduğu merkezi olmayan bir üretim sistemi fikrine dayanan “akıllı fabrika” diye isimlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Ürünler, makine, nakliye sistemleri ve insanlar arasındaki yakın bağlantının ve iletişimin mevcut üretim mantığını etkilemesi ve değiştirmesi beklenmektedir. Bu nedenle akıllı fabrikalar, Endüstri 4.0’ın bir başka önemli özelliği olarak görülmektedir. Akıllı fabrikada, ürünler üretim süreçleri boyunca kendi yollarını bağımsız olarak bulur ve her zaman kolaylıkla tanımlanabilir ve bulunabilir niteliktedirler. Hiçbir şekilde ekstradan müdahale gereksinim olmaması gerekmektedir. Akıllı fabrikalar üretim süreçlerinin artan karmaşıklığını, orada çalışan insanlar için yönetilebilir hale getirerek ve üretimin aynı anda çekici, kentsel çevrede sürdürülebilir ve karlı olmasını sağlamaktadır (Hoffman 25; Rüsç 32)

Böylelikle çalışan verimliliği konusunda da etki ettiği görülebilmektedir. Endüstri 4.0'ın "Akıllı Fabrikaları" iş ihtiyacını sensörlerle algılayıp, uzaktaki diğer üretim araçları ile internet vasıtasıyla iletişim kurup, ihtiyaç duydukları üretim bilgisini bulut sistemler içerisindeki "Büyük Veriden" (Big Data) çeken akıllı makineler ve sistemleri içermektedir. Burada, üretim araçlarının birbirleriyle kurdukları iletişim ve etkileşim internet aracılığıyla sağlanmaktadır (Sinan 19-30). Burada tüm üretim kaynakları (sensörler, aktüatörler, makineler, robotlar, konveyörler, vb.) sadece otomatik olarak bilgi alışverişinde bulunmayacak aynı zamanda üretim sürecini kontrol etmek ve fabrika sistemini yönetmek için makineleri öngörmek ve bakım yapacak kadar bilinçli ve akıllı olacaklardır. Aksi durumlarda yine zaman kaybı ve kusurlu ürün sonuçları ortaya çıkabilmektedir. Buna ek olarak, ürün tasarımı, üretim planlaması, üretim mühendisliği, üretim ve servisler gibi pek çok üretim süreci, modüler olarak simüle edilecektir.

Ayrıca, bu süreçler sadece bir merkezleştirilmemiş sistem tarafından komuta edilmeyecek aynı zamanda birbirine bağımlı bir şekilde kontrol edildiği anlamına gelen uçtan uca sistemiyle birbirine bağlanacaktır (Q. Jian, L. Ying). Akıllı fabrika, akıllı üretim için ağ üretim sistemlerinin dikey entegrasyonunu ifade eden endüstri 4.0'ın önemli bir özelliğidir. Akıllı fabrika uygulanması için, akıllı fabrikalar akıllı nesnelere büyük veri analizi ile birleştirmelidir. Akıllı nesnelere, yüksek esnekliği sağlamak için dinamik olarak yeniden yapılandırılabilirken büyük veri analizi, yüksek verim elde etmek için küresel geribildirim ve koordinasyon sağlayabilir. Bu nedenle akıllı fabrika, özelleştirilmiş ve küçük miktarda ürünleri verimli ve karlı bir şekilde üretebilir. Akıllı fabrika, Şekil 5'te gösterildiği gibi çift kapalı çevrimli bir sistem olarak görülebilir. Bir döngü fiziksel kaynaklardan ve buluttan oluşurken, diğer döngüler denetleyici kontrol terminalerinden ve buluttan oluşmaktadır (Wang 162; Wan 165).



Şekil 9 – Akıllı Fabrika Çerçevesi

Endüstri 4.0 paradigması esas olarak üç boyutla ana hatlarıyla belirtilmektedir: (1) tüm değer yaratma ağı boyunca yatay entegrasyon, (2) ürün ömrü boyunca uçtan uca mühendislik ve (3) dikey entegrasyon ve ağı dayalı üretim sistemleri. Tüm değer yaratma ağındaki yatay entegrasyon, ürün ömrünün değer zincirinde ve bitişik ürün ömür çevrimlerinin değer zincirleri boyunca değer yaratma modüllerinin çapraz şirket içi ve şirket içi akıllı çapraz bağlamasını ve sayısallaştırılmasını tanımlamaktadır. Ürün yaşam döngüsü boyunca uçtan uca mühendislik, bir ürün yaşam döngüsünün hammadde alımından imalat sistemine, ürün kullanımına ve ürün ömrüne kadar tüm safhalarında akıllı çapraz bağlama ve sayısallaştırmayı (dijital) tanımlar.

Dikey entegrasyon ve ağı bağlı üretim sistemleri, imalat istasyonlarından üretim hücrelerine, hatlara ve fabrikalardan bir değer yaratma modülünün farklı toplama ve hiyerarşik seviyelerindeki akıllı çapraz bağlamayı ve sayısallaştırmayı tanımlamaktadır.

Akıllı çapraz bağlama ve sayısallaştırma, bir bulutta gömülü olan bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak uçtan-uca bir çözümün uygulanmasını kapsamaktadır. Bir imalat sisteminde akıllı çapraz bağlama, kendi kendini organize ve merkezi olmayan bir şekilde çalışan CPS uygulanmasıyla gerçekleşmektedir. Gömülü mekatronik bileşenler, yani veri toplanması için uygulanan sensör sistemleri ve fiziksel işlemleri etkilemek için aktüatör sistemleri üzerine kurulmuştur. Şekil 10'da gösterildiği gibi Endüstri 4.0'ın makro perspektifi, Endüstri 4.0'ın uçtan uca mühendislik boyutunun yanı sıra yatay entegrasyonu da kapsar. Bu görselleştirme, çapraz bağlantılı ürün yaşam döngülerini, Endüstri 4.0'daki değer yaratma ağlarının merkezi unsuru olarak koyarak güçlü bir ürün ömrü döngüsü ile ilgili bakış açısına dayanmaktadır (Stock 536; Seliger 541) .

2.7. AKILLI ÜRETİM SİSTEMLERİ VE ROBOTİK UYGULAMALAR

Endüstri 4.0 kavramının en dikkat çekici ve önemli enstrümanlarının başında robotlar gelmektedir. İnsan kaynaklı hataların giderilmesinde ve üretimde gitgide daha fazla kullanılmaya başlanan robotlar, bu devrimin gerçekleştirilmesi için en önemli role sahiptir. İnsanlarla iş birliği içerisinde analiz yapabilen, duruma göre eldeki verileri inceleyip optimum kararı verebilecek yapay zekaya sahip robotlar devrimin temel argümanlarıdır (Bartodziej 71). Hatta, General Motors'un öncülük ettiği bir grup insan tarafından insanlarla iş birliği içinde çalışmakta olan bu robotlara kollobratif robot anlamına gelen “*cobot*” denmektedir. Cobotları basit şekilde tanımlayacak olursak; insanlarla birlikte hatasız çalışabilen ve onlarla maksimum derecede etkileşime girebilen robotlardır. Farklı robot türlerinin, günümüzde üretim hatlarında ek bir güvenlik özelliği barındırmaksızın kullanıldığını görebilmekteyiz. Kollobratif robot alanındaki düşünceler, bu robotları gerçek anlamda insanlarla el ele çalışabilecek kadar güvenilir bir yapıda geliştirmeyi amaçlamaktadır (Alçın 91).

Robot teknolojisinde birçok gelişmeler yaşandı; buna en güzel örnek endüstriyel üretimdeki robotların üretkenliğini ve verimliliğini artırabilmek için insan gücüne entegre olmasıdır. İnsan/robot etkileşimi sırasında fiziksel yakınlıkta ve dar zaman kısıtlamalarında yaşanan bazı sıkıntılar, bu iş birliğinde tasarımıyla birlikte ortaya çıkan planlama ve programlama sorunlarını da ortaya çıkarmıştır.

Üretim sahalarında, insanlar tarafından çokça kullanılan alanlara robotik sistemler gitgide daha fazla girmeye başladı. İnsanların ve robotların üretimdeki farklı güçlü yanlarından yararlanarak robotları bu iş gücüne dâhil etmek kaçınılmaz bir ihtiyaa dönüştü. Aynı zamanda yapılan bu entegrasyon, insan ve robot arasında bir çalışma zamanlamasının gerekliliğini ortaya çıkardı. “Cobot” olarak kullanılan kollobratif robotlar bir robotun tek başına çalışmasından daha verimli halde ve insan ile entegre çalışma durumunda üretimde verimliliği son derece artırıyor (Alçın 92).

3. METODOLOJİ

Endüstri 4.0’ın temel hedeflerinden biri de verimliliği artırmaktır. Endüstriyel devrimler tarihine bakıldığında her devrimde verimliliğin birçok faktörde artırıldığı görülmüştür. Çalışmamızda da Endüstri 4.0 vizyonunun uygulandığı ısıtma cihazları üreten Avrupa menşeli bir firmanın Avrupa’da yer alan üç fabrikasının verimliliklerini inceleyeceğiz. İnceleme her bir fabrika için Endüstri 4.0 dönüşümü öncesi ve sonrası olmak üzere iki aşamada yapılacaktır. Endüstri 4.0 ‘a geçiş öncesi ve sonrası yapılan verimlilik hesaplamaları birbirleri ile kıyaslanarak bu yaklaşımın endüstrilere getirdiği verimlilik sebebi ile uygulanması gerekliliğini savunacağız. Endüstri 4.0 dönüşümü endeksli incelenecek verimlilik değerleri aşağıdaki gibidir:

- 1) Toplam verimlilik
- 2) Kısmi verimlilik:
 - İşgücü Verimliliği
 - Hammadde Verimliliği
 - Alan Verimliliği
 - Enerji Verimliliği

Tüm bu verimlilik hesaplamaları sonucu Endüstri 4.0 vizyonunun getirdiği verimlilik değerleri önceki üretim süreçlerine ait verimlilikler ile kıyaslanacak ve ortaya çıkan sonuçlar yorumlanacaktır. İnceleme aynı zamanda bu endüstriyel dönüşümün fabrikalara sağladığı katkı ve getirileri de kapsayacak olup elde edilen sonuçlar grafik yardımı ile gösterilerek Endüstri 4.0 getirileri tartışılarak yorumlanacaktır.

3.1. VERİMLİLİK

Az sayıdaki kaynaklarıyla en fazla çıktıyı hedefleyen işletmeler, rekabet üstünlüğü sağlamak, küreselleşen dünyada pazarı kaybetmemek ve kârlılıklarını arttırmak amacıyla kaynaklarını ne derece etken kullandıklarını gösteren “verimlilik” üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmaktadırlar. Verimlilik işletme performansının odak noktasıdır. Ulusal ekonominin çekirdeğini oluşturan işletmelerin verimsiz çalışmaları durumunda ulusal ekonomide verimlilikten söz etmek mümkün değildir. Şüphesiz ki verimliliği etkileyen, teknolojiden finansmana, insan gücünden pazarlamaya kadar pek çok esas faktöre rağmen Türk Sanayi açısından temel verimlilik unsuru bugün işgücü (emek) verimliliğidir. İşletme yönetiminin kaçınılmaz aracı olan, faaliyet amaçları doğrultusunda derlenip zamanında bilgi haline dönüştürülen veriler ve bunların analizi, verimlilik ölçümünü ve bu bilgilerin zayıf ve kuvvetli yanlarını görmede etkindir (Akal).

Tanım olarak Verimlilik, temelde aynı ilkelere bağlı ama kapsam olarak farklı 2 biçimde tanımlanır. Geniş kapsamlı tanıma göre, “Doğru olan işleri, doğru biçimde ve ekonomik bir çalışma ile gerçekleştirmeyi hedefleyen akılcı bir yaşam biçimidir.” Bu görüş, Japon Verimlilik Merkezi tarafından dünyaya benimsetilmeye çalışılan, verimlilik kavramına felsefi bir yaklaşımdır (Akal). Verimliliğin böylesine çok geniş boyutlarda düşünülmesinden dolayı tanımlama ve ölçme sorunlarını da birlikte getirdiği için konuya işletme düzeyinde yaklaşan birçok uygulamacı ve araştırmacı, kavram düzeltmesine gitmeyi uygun görmüştür. Ayrıca bu kadar geniş kapsamlı bir verimlilik kavramı yerine “işletme-örgüt performansı” kavramını kullanmaya başlamayı uygun görmüşlerdir.

Verimliliğin ikinci tanımı, gündeme geldiğinden beri yapılan klasik tanımıdır : “Verimlilik, mümkün olan en düşük kaynak harcaması ile en yüksek sonuca ulaşmaktır” (Kahya). Eğer herhangi bir üretim birimi, o birimde kullanılan malzeme, enerji, makine, işgücü vb. kaynaklarının bileşiminden, önceki dönemlere göre fazla ürün elde etmiş ise verimliliği artmıştır denebilir. Bu tanıma göre, “Verimlilik, mevcut üretim sürecinde uygulanan yöntemle rde, girdi miktarlarında, üretim kapasitesinde, çıktı karmasında oluşan tüm değişmelerin ÇIKTI/GİRDİ ilişkileri düzeyinde göstergesidir.

Verimlilik bir üretim ya da hizmet sürecinin belli bir dönem sonunda üretilmiş olan ürün ve hizmetlerle (çıktı), bu üretimi gerçekleştirmek amacıyla kullanılan üretim kaynaklarının (girdi) birbirine oranlanmasıyla elde edilen bir katsayıdır.

3.2. VERİMLİLİK GÖSTERGELERİ VE ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Verimlilik göstergeleri, firmalarda girdi kullanımının ve üretim sürecinin teknik ve ekonomik performanslarının ölçümünde kullanılır. Genel olarak neyin ne kadarla üretildiğini parasal ve fiziksel olarak belirleyen oranlardır. Verimlilik eşitliğini kullanarak, etkinliklerden başlayıp, çalışma grupları, bölümler, tüm işletme gibi çeşitli sistem düzeyleri için verimlilik göstergelerini hesaplamak mümkündür. Bir üretim ya da hizmet sürecinde girdi ve çıktılarının çok çeşitlilik göstermesi, verimlilik ölçümlerinde, çıktı-girdi bileşimlerinin çeşitliliğine dayalı göstergelerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Buna göre verimlilik göstergeleri üç grupta toplanmaktadır (Kayar);

- a. Toplam Verimlilik Oranı: Belirli bir dönemde elde edilen toplam üretimin (çıktının) bu üretim için kullanılan toplam girdiye oranıdır. Toplam verimlilik oranları örgütün etkinliğinin en iyi göstergelerinden biridir. Toplam girdi, işgücü, malzeme, sermaye, enerji vb. girdilerin toplamıdır.

$$\text{TOPLAM VERİMLİLİK} = \frac{\text{TOPLAM ÇIKTI}}{\text{TOPLAM GİRDİ}}$$

- b. Çok Faktörlü Verimlilik Oranı: Toplam çıktı ya da çıktının bir bölümü ile girdilerin bir ya da birkaç türü arasındaki ilişkileri ölçen orandır. Ayrıca çalışmada en çok başvurulan ve temel alınan formüldür.

$$\text{VERİMLİLİK} = \frac{\text{ÜRETİM ADEDİ}}{\text{İŞGÜCÜ + SERMAYE + MALZEME + ENERJİ}}$$

- c. . Kısmi Verimlilik Oranı: Toplam çıktının ya da bir bölüm çıktının, ayrı ayrı her bir girdi türüne oranlanması ile elde edilir. Bu oranlar, bir girdi cinsinin birim miktarına düşen üretim miktarını gösterir.

İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ:

$$İVO = \frac{\text{ÜRETİM MİKTARI}}{\text{ADAM SAAT}}$$

HAMMADDE VERİMLİLİĞİ:

$$HVO = \frac{\text{ÜRETİM MİKTARI}}{\text{HAMMADDE}}$$

ALAN VERİMLİLİĞİ:

$$AVO = \frac{\text{ÜRETİM MİKTARI}}{\text{ÜRETİM ALANI}}$$

ENERJİ VERİMLİLİĞİ:

$$EVO = \frac{\text{ÜRETİM MİKTARI}}{\text{ENERJİ TUTARI}}$$

3.3. VERİMLİLİK ARTIŞI

- Daha az girdiden aynı çıktıyı elde etmek
- Sabit miktarda girdi ile daha fazla çıktı elde etmek
- Çıktıdaki artışın girdideki artıştan fazla olması
- Girdideki azalışın, çıktıdaki azalıştan fazla olması
- Girdiler azalırken, çıktıların artması

Yapılan çalışmada verimlilik hesapları Avrupa menşeli ısıtma ürünleri üreticisi bir firmanın üretimde verimliliğini artırmaya yönelik girişimlerine dahil olunarak akademik incelemeye katkı amaçlı Endüstri 4.0 geçiş süreci incelenmiştir. Avrupa’da yer alan 7 fabrikasının ilk etapta 3 adedi akıllı üretim sistemleri ile Endüstri 4.0 yaklaşımı benimsenerek uygulanma projesi başlatılmıştır.

Projede üç fabrikanın da Endüstri 4.0 geçişi tamamlanmış olup, bu üç fabrikanın endüstriyel dönüşüm projesi öncesi ve sonrası verimlilikleri incelenmiş, buna dayanılarak Endüstri 4.0’a geçişinin verimliliğe etkisi tez olarak sunulmuştur. Bu konuda üretici firmada da yapılan çalışmalar sonraki fabrikalar için devam etmekte olup her kademedeki çalışmanın sunacağı fikir ve projelere açık olduğu açıklaması işletme içinde yapılmıştır. Yapılan bu çalışmanın bu geçiş sürecinde işletmeye katkısı olması amaçlanmıştır. Hali hazırda aynı işletmeye ait diğer fabrikaların endüstri 4.0 ‘a geçişinin verimliliği üzerine teorik çalışmalar devam etmektedir.

Yapılan çalışmada yukarıda verilen hesaplamalar kullanılarak çalışmada yer alan fabrikaların Endüstri 4.0 yaklaşımı ile akıllı üretim sistemlerine geçişi öncesi ve sonrası yıllık verimlilik değerleri kıyaslanmıştır. Bu sayede Endüstri 4.0 ‘ın verimliliğe olan katkısı değerlendirilerek sonuç çıkartılarak yorumlanmış ve konu hakkında bir tez sunulmuştur.

4. ENDÜSTRİ 4.0 'IN ISITMA CİHAZLARI ÜRETİMİNDE UYGULANMASI

4.1.UYGULAMA TESİSİ FABRİKA – 1

Çalışmanın ilk aşaması üreticinin yüksek kapasiteli ısıtma cihazları üreten fabrikasında yapılmıştır. İşletmeye ait üretim tesisleri üretim direktörlüğünce incelenmiş olup en uygun tesis yüksek kapasiteli ısıtma cihazlar üreten fabrikası seçilerek Uygulama – 1 adı verilmiştir. Tesis Endüstri 4.0 'a geçiş için pilot uygulama merkezi olarak belirlenmiştir. Bu üretim tesisinin Endüstri 4.0 dönüşümü ve pilot uygulama için seçilmiş olmasının sebepleri aşağıdaki gibidir;

- Yıllık cihaz üretim kapasitesinin diğer tesislere oranla düşük olması sebebi ile geçiş süreci riskinin daha kolay yönetilebilir olması.
- Tesisin diğerlerine göre daha kısa üretim hattına sahip olması
- Üretilen cihazların kendi kategorisinde rakiplere oranla daha maliyetli olması ve maliyet düşürmenin kaçınılmaz hale gelmesi.
- İşletmenin yüksek kapasiteli cihaz pazarının daha kârlı olduğunu düşünerek ve bu konuda pazarlama yatırımının sonuca ulaşması ile yıllık cihaz ihtiyacını tesisin karşılayamaz hale gelmesi.
- Üretilen cihaz başına operatör sayısının diğer tesislere oranla daha yüksek olması.
- Operatör maliyetinin diğer tesislere oranla daha yüksek olması ve tesisin yer aldığı bölgede operatör istihdam etmede sıkıntı yaşanması sebebi ile entegre robotik üretime geçme ihtiyacı.
- Metal şekillendirme, kaynak ve montaj gibi temel üretim aşamalarının hal hazırda manuel işlemlerin entegre robotik uygulamalar ile yapılarak zaman ve mekandan tasarruf hedeflenmesi.
- Cihaz üretiminde kullanılan hammadde maliyetinin yüksek olması sebebi ile olası operatör kaynaklı hataların önüne geçmek ve malzeme verimliliğini artırmak istenmesi.
- Fabrika arazisinin emlak değerinin yüksek olması ve bu alanın daha verimli kullanılması gerekliliğinin önemi.

- Ticari koşullar gereği stoklu çalışmanın zorunlu olması ve depo alanı maliyetlerinin bu sebepler düşürülebilmesi ve üretim alanı maliyetinin düşürülerek bunun sübvansede edilmek istenmesi.
- Mevcut üretim hattı/makine parkının ekonomik ömrünü doldurması.

4.1.1. FABRİKA-1 MEVCUT ÜRETİM SÜRECİ – GELENEKSEL ÜRETİM

FABRİKA -1 MEVCUT SÜREÇ	YILLIK
ADET ÜRETİM KAPASİTESİ	4.000 ADET
ÜRETİM ÇIKTISI DEĞERİ	€ 25.000.000
OPERATÖR GİDERİ	€ 3.000.000
ALAN KİRALAMA GİDERİ	€ 1.200.000
CİHAZ BEDELİ/10 YILLIK ÖMÜR	€ 50.000
BAKIM GİDERİ	€ 200.000
KRİTİK HAMMADDE GİDERİ	€ 2.000.000
SABİT DİĞER MALZEME GİDERİ	€ 6.000.000
ENERJİ GİDERİ	€ 50.000
BİRİM MALİYET	€ 3.250

Tablo 2 – FABRİKA – 1 MEVCUT ÜRETİM VERİLERİ

Tesisin üretim giderleri incelendiğinde sabit girdilerin ve çalışan maliyetlerinin en yüksek kalemler olduğu görülmektedir. Bunun yanında kritik hammadde ve kullanım alanı bedelinin de önemli bir gider kalemi olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada temel amaç operatör giderlerini düşürmek olup, sabit malzeme giderlerini Endüstri 4.0 akıllı üretim yatırımı ve süreç iyileştirmeleri üretim verimliliğini artırarak iyileştirme yapmaktır. Fabrika bu sayede kişi çalıştırmanın iş sağlığı ve güvenliği, insan kaynakları yönetimi gibi risklerini ve iş yüklerini de azaltmayı hedeflemektedir.

Aynı zamanda fabrika alanında iş güvenliği kuralları gereği imalat sahasında yaptığı düzenlemelere olan ihtiyacı da azalacağından dolayı alan verimliliğini de artırmayı hedeflemektedir. Bu sayede mevcut üretim alanından tasarruf edilerek yeni yatırım için fazladan alan kazanılması bu sayede hedeflenmektedir. Endüstri 4.0 üretim anlayışı teorik olarak tüm bu olanaklara imkân vermekte olup, çalışmamızda bu yaklaşımın tesislere göre durumunu ve yapılabilirliğini inceleyerek sunacağız.

4.1.1.1.FABRİKA-1 VERİMLİLİK ANALİZİ – MEVCUT SÜREÇ

$$\text{VERİMLİLİK} = \frac{\text{TOPLAM ÇIKTI}}{\text{TOPLAM GİRDİ}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_1 = \frac{25\text{M}}{3\text{M} + 1,2\text{M} + 0,05\text{M} + 0,2\text{M} + 2\text{M} + 6\text{M} + 0,55\text{M}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_1 = 1,92$$

Yapılan çok faktörlü verimlilik hesabı sonucu bu 1 numaralı fabrikanın üretim verimliliği “1,92” olarak hesaplanmıştır. Bu verimlilik değeri İşletme bünyesinden alınan kararlarla yapılan Endüstri 4.0 dönüşümü sonucu gelen verimlilik değeri ile kıyaslanacak ve Endüstri 4.0 yaklaşımın getirdiği sonuç yorumlanacaktır. Endüstri 4.0 dönüşümü önemli ve mali ve açıdan riskli bir yatırım olması sebebi ile yapılan inceleme ve ortaya çıkacak tablo akademik açıdan net sonuçlar verecektir.

Fabrika-1'e ait diğer işgücü, hammadde ve enerji verimlilik hesapları aşağıdaki gibidir;

İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ:

$$\text{İVO1} = \frac{25\text{M}}{3\text{M}}$$

$$\text{İVO1} = 8,33$$

HAMMADDE VERİMLİLİĞİ:

$$HVO_1 = \frac{25M}{8M}$$

$$HVO_1 = 3,13$$

ENERJİ VERİMLİLİĞİ:

$$EVO_1 = \frac{25M}{0,55M}$$

$$EVO_1 = 45,46$$

ALAN VERİMLİLİĞİ:

$$AVO_1 = \frac{25M}{1,2M}$$

$$AVO_1 = 20,83$$

Fabrika-1 'in dönüşüm öncesi İşgücü, hammadde, enerji ve alan verimlilik değerleri de yukarıda hesaplanmıştır. Bu verimlilik analizleri dönüşüm sonrası ortaya çıkan veriler ile kıyaslanarak yorumlanacaktır.

4.1.2. FABRİKA-1'İN ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI DURUMU

4.1.2.1 ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ

Fabrika-1 'de uygulanan endüstriyel dönüşüm sonrası alınan aksiyonlar aşağıda verilmiştir.

OPERATÖR SAYISI	%60 AZALTILDI
CİHAZ/MAKİNE PARKI YATIRIMI (10 YIL)	€ 2.500.000
DİJİTAL DÖNÜŞÜM	€ 400.000
SİBER GÜVENLİK YATIRIMI	€ 350.000
ÜRETİM PLANLAMA	€ 100.000
DANIŞMANLIK	€ 150.000
TOPLAM DÖNÜŞÜM MALİYETİ	€ 3.500.000
PLANLANAN EKONOMİK ÖMÜR	10 YIL

Tablo 3 – FABRİKA – 1 Endüstriyel Dönüşüm Yatırım Aksiyonları

Yukarıda yer alan Tablo-3 'de görüldüğü üzere Fabrika-1 'in Endüstri 4.0 dönüşümü için “3.500.000 €” değerinde ve 10 yıllık ömür biçilen bir yatırım yapılmıştır. Tablo-3 'de yatırım kalemlerinin daha anlaşılır olması açısından büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Bu tabloya bakıldığında en büyük yatırım bedelinin cihaz parkına yapıldığı görülmekte ve bu yatırım ve diğer planlamalar sonucu makine operatörü sayısında %60 gibi ciddi bir düşüş olduğu ilk etapta göze çarpmaktadır ve Tablo-4'te bu düşüşün operatör maliyetlerine ne kadar etki ettiği gösterilmektedir. Çünkü Endüstri 4.0 tabanlı üretim anlayışı daha nitelikli operatör çalıştırmayı gerektirmektedir ve bu az da olsa operatör sayısı düşüşü oranı ile operatör maliyeti düşüş oranının aynı seviyede olmasına engel olmaktadır.

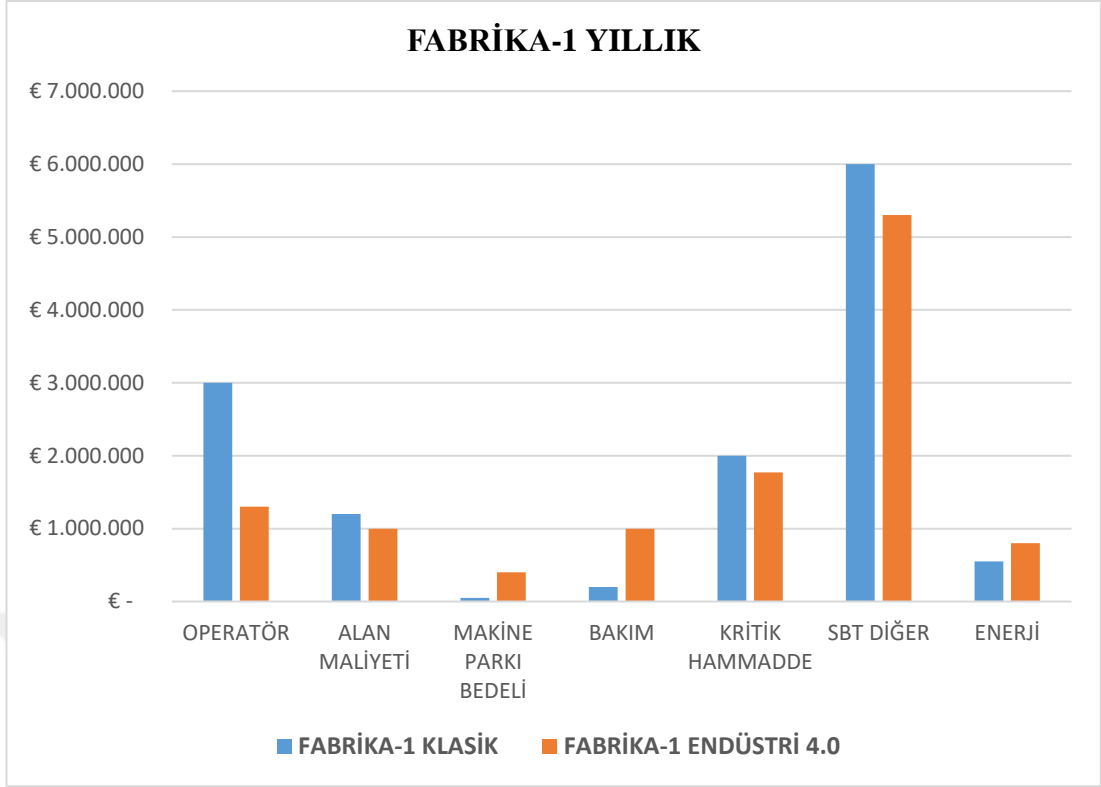
Endüstri 4.0'ın en önemli noktalarından biri operatör sayısıdır çünkü gelişmiş sanayi toplumlarında operatör maliyetleri oldukça yüksek olup bu çalışmada yüksek maliyetli makine parkı yatırımı mı yoksa yüksek maliyetli de olsa operatör çalıştırmanın mı daha avantajlı olduğunu bu sayede göreceğiz. Ancak bunun yanında Endüstri 4.0 'ın dijital dönüşüm kısmı için “400.000 €” ve siber güvenlik altyapısı için de “350.000 €” gibi daha önce yer almayan önemli bir yatırım bedeli de ortaya çıkmış olup değerlendirilmesi gereken bir diğer noktadır.

Aşağıda yer alan Tablo-4 'de Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-1'e ait üretim verileri yer almaktadır. Tabloyu dikkatlice inceleyerek dönüşüm sonrası işletmede ortaya çıkan üretim durumu ve giderleri görülmektedir.

FABRİKA -1 ENDÜSTRİ 4.0	YILLIK
ADET ÜRETİM KAPASİTESİ	4.000 ADET
ÜRETİM ÇIKTISI DEĞERİ	€ 25.000.000
OPERATÖR GİDERİ	€ 1.300.000
ALAN KİRALAMA GİDERİ	€ 1.000.000
CİHAZ BEDELİ/10 YILLIK ÖMÜR	€ 400.000
BAKIM GİDERİ	€ 1.000.000
KRİTİK HAMMADDE GİDERİ	€ 1.770.000
SABİT DİĞER MALZEME GİDERİ	€ 5.300.000
ENERJİ GİDERİ	€ 800.000
BİRİM MALİYET	€ 2.893

Tablo 4 – FABRİKA – 1 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri

Yukarıda verilen “Tabo-4“ incelediğinde operatör gideri ve üretim alanı gibi maliyetlerde önemli düşüşler yer almaktadır. Bunun yanında kritik hammadde ve sabit malzeme giderlerinde az olsa düşüş görülmektedir. Yıllık işletme bakım gideri ve enerji giderlerinin yükseldiği görülmektedir. Ancak yüksek yatırım bedeline rağmen en önemli hususların başında gelen birim maliyette de düşüş olduğu görülmektedir.



Şekil 10 – FABRİKA – 1 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Kıyaslama

Fabrika-1 'e ait Endüstri 4.0 dönüşümünün öncesi ve sonrasına ait yıllık verileri grafiğe döktüğümüze “Şekil 10” de yer alan grafiği elde etmekteyiz. Bu grafikten hareketle başta operatör giderinde ve bunun yanı sıra fabrika alanı, kritik hammadde ve diğer sabit giderlerde düşüş meydana geldiği gözlenmiştir. Ancak bu yüksek maliyetli dönüşüm sonucu yaşanan düşüşün yanı sıra makine parkı bakım maliyetleri ve enerji giderlerinin de arttığı görülmektedir.

4.1.2.1.1 REVİZYON SONRASI FABRİKA – 1 VERİMLİLİK ANALİZİ

$$\text{TOPLAM VERİMLİLİK} = \frac{\text{TOPLAM ÇIKTI}}{\text{TOPLAM GİRDİ}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_2 = \frac{25\text{M}}{1,3\text{M} + 1\text{M} + 0,4\text{M} + 1\text{M} + 1,77\text{M} + 5,3\text{M} + 0,8\text{M}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_2 = 2,16$$

TOPLAM VERİMLİLİK ARTIŞI

$$\frac{\text{VERİMLİLİK}_1 - \text{VERİMLİLİK}_2}{\text{VERİMLİLİK}_2} \times 100 = \%12,36$$

ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK ARTIŞI: %12,36

İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ:

$$\text{İVO}_2 = \frac{25\text{M}}{1,3\text{M}}$$

$$\text{İVO}_2 = 19,23$$

$$\frac{\text{İVO}_1 - \text{İVO}_2}{\text{İVO}_2} \times 100 = \%131$$

HAMMADDE VERİMLİLİĞİ:

$$HVO_2 = \frac{25M}{7,07M}$$

$$HVO_2 = 3,54$$

$$\frac{HVO_1 - HVO_2}{HVO_2} \times 100 = \%13$$

ENERJİ VERİMLİLİĞİ:

$$EVO_2 = \frac{25M}{0,8M}$$

$$EVO_2 = 31,25$$

$$\frac{EVO_1 - EVO_2}{EVO_2} \times 100 = -\%31$$

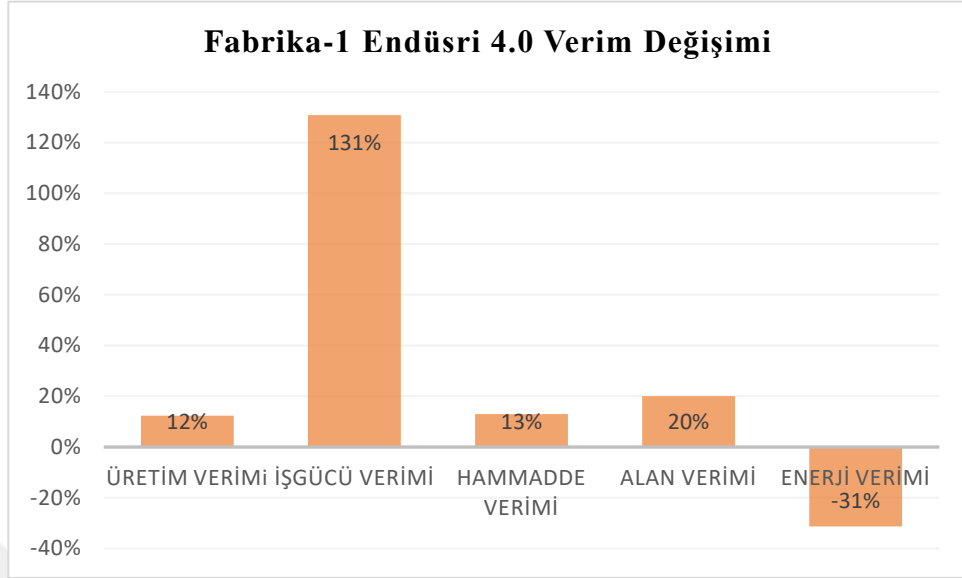
ALAN VERİMLİLİĞİ:

$$AVO_2 = \frac{25M}{1M}$$

$$AVO_2 = 25$$

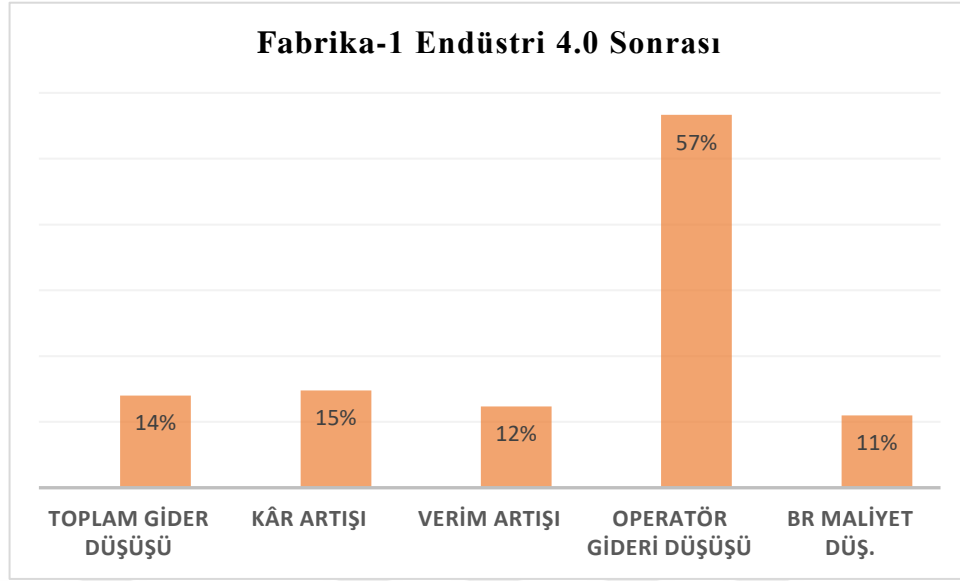
$$\frac{AVO_1 - AVO_2}{AVO_2} \times 100 = \%20$$

4.1.3. ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK – FABRİKA-1



Şekil 11 – FABRİKA – 1 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişim Grafiği

Yapılan verimlilik analizleri sonucu üretimdeki verimliliğin “%12,36” oranında arttığı görülmektedir. İşgücünde “%131” çok ciddi bir artış gözlenirken hammadde verimliliğinde artış yaşanmıştır ancak enerji verimliliğinde de beklenen bir düşme gözlenmektedir. Bunun yanında alan verimliliğinde de artış görülmektedir. Buradan hareketle Endüstri 4.0 dönüşümünün işgücü, hammadde ve üretim alanı açısından fayda sağladığı ancak enerji ihtiyacını artırdığı görülmektedir. Ancak enerji verimindeki düşüşün bu dönüşümün getirdiği üretim verimliliğine engel teşkil etmediği görülmektedir.



Şekil 12 – FABRİKA – 1 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Etki Grafiği

Yukarı yer alan Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-1’de elde edilen sonuçların faydalarına ait “Şekil-12” te yer alan grafik incelendiğinde dönüşümün amacına ulaştığı açıkça görülmektedir. 10 yıllık kullanım ömrü biçilen Endüstri 4.0 yatırım bedeline rağmen üretim verimliliğinde ve birim maliyetlerde ciddi oranlarda düşüş meydana gelmektedir. Yapılan tüm analizlerin yer aldığı bu grafiğe bakarak Endüstri 4.0 dönüşümünün yüksek yatırım maliyetine rağmen işletme için kârlı bir dönüşüm olduğunu görebiliriz. Bu tablonun ortaya çıkmasındaki en kritik noktalardan bir tanesi Avrupa’da yer alan bu fabrikanın buna bağlı operatör maliyetlerinin oldukça yüksek olması ve Endüstri 4.0 dönüşümünün getirdiği üretim hızı ve üretim verimliliğinin bir sonucudur. Kısacası Endüstri 4.0 dönüşümü yüksek yatırım bedeli gerekmesine rağmen üretim sürecinde getirdiği verimlilikle Avrupa’daki işgücü maliyetinin etkisiyle avantajlı konuma geçtiği anlaşılmaktadır (Aktan, 2003). İşletmeye ait ısıtma grubu cihazları üreten iki fabrika daha inceleyerek Endüstri 4.0 dönüşümünün getirdiği verimliliği ve gerekliliğini daha geniş perspektiften ele alınmıştır.

4.2. UYGULAMA TESİSİ FABRİKA – 2

Çalışmanın ikinci aşaması üreticinin orta kapasiteli ısıtma cihazları üreten fabrikasında yapılmıştır. İşletmeye ait üretim tesisleri üretim direktörlüğünce incelenmiş olup ilk tesiste yapılan endüstriyel dönüşümde elde edilen tecrübe ve bu dönüşümün getirdiği verimlilik artışı ve birim maliyetteki düşüşün görülmesinin ardından Fabrika-2 için harekete geçilmiştir. İşletmenin ikinci endüstriyel dönüşüm noktası olduğundan dolayı Uygulama – 2 adı verilmiş ve tesisten de çalışmada Fabrika-2 olarak bahsedilmektedir. Tesis, Endüstri 4.0 ‘a geçiş için son derece önemli ve kritik bir noktadır çünkü yıllık üretim kapasitesi çok daha yüksek olup, ortaya çıkacak olumlu ya olumsuz her sonuç işletmeyi ciddi oranda etkileyecek kapasitededir. Fabrika-2’nin Endüstri 4.0’a dönüştürülmesinin sebepleri aşağıdadır:

- Yıllık cihaz üretim kapasitesinin yüksek olması ve Endüstri 4.0 dönüşümü ile elde edilecek ufak bir verimlilik artışının bile işletmeye büyük oranda fayda getirecek olması.
- Fabrikanın bulunduğu konumda operatör maliyetlerinin çok yüksek olması ve işletmenin bu konuda tasarrufa giderek birim maliyeti düşürmeyi hedeflemesi.
- İşletmenin bu tesiste kısmi olarak Endüstri 3.0 robotik üretim altyapısına sahip olması ve bunu avantaj olarak kullanarak ilk tesisteki tecrübe ile dönüşümü daha kolay tamamlayabilme potansiyeli taşıması.
- Fabrika-2’de üretilen ürünlerin pazarda fiyat açısından rekabetçi olması ve işletmenin Endüstri 4.0 dönüşümü ile elde edebileceği verimlilik ve fiyat avantajı ile bu konumunu korumak istemesi.
- Tesisin yüksek kapasitesi ve çalışan operatör sayısı sebebi ile iş güvenliği riskinin yüksek olması ve bu sayede bunu azaltmayı hedeflemesi.
- İşletmenin büyüyen ısıtma cihazı Pazar payını karşılama amaçlı üretim kapasitesini Endüstri 4.0 yaklaşımı ile daha verimli üretim alanı kullanarak üretim kapasitesini artırma hedefi.
- Fabrika-2’nin yüksek kapasiteli olması sebebi ile tedarik zincirinin yönetimin Endüstri 4.0 dönüşümü ile daha yönetilebilir hale getirme hedefi.

4.2.1. FABRİKA-2 MEVCUT ÜRETİM SÜRECİ – KISMİ ENDÜSTRİ 3.0 ÜRETİM

FABRİKA - 2 DÖNÜŞÜM ÖNCESİ	YILLIK
ADET ÜRETİM KAPASİTESİ	500.000
ÜRETİM ÇIKTISI DEĞERİ	€ 225.000.000
OPERATÖR GİDERİ	€ 25.000.000
ALAN KİRALAMA GİDERİ	€ 8.000.000
CİHAZ BEDELİ/10 YILLIK ÖMÜR	€ 800.000
BAKIM GİDERİ	€ 10.000.000
KRİTİK HAMMADDE GİDERİ	€ 12.000.000
SABİT DİĞER MALZEME GİDERİ	€ 125.000.000
ENERJİ GİDERİ	€ 3.000.000
BİRİM MALİYET	€ 368

Tablo 5 – FABRİKA – 2 DÖNÜŞÜM ÖNCESİ ÜRETİM VERİLERİ

Tesisin üretim verilerini incelediğimizde aynı ilk incelenen tesiste de olduğu gibi sabit malzeme giderlerinin ve operatör maliyetlerinin yüksekliği göze çarpmaktadır. Kritik hammadde giderinin de önemli bir payı olan bu tabloda bunun yanında fabrika kullanım maliyeti olan alan kirası da bir diğer ciddi gider kalemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Tesisin endüstriyel dönüşümü ile bu gider kalemlerinin azaltılması hedeflenmektedir. Özellikle operatör giderlerini düşürmek ve endüstriyel dönüşümün getirdiği bir diğer yenilik olan mevcut fabrika alanını daha verimli kullanarak kapasite artırımını da hedeflenmektedir. Üretimde insan yerine makine kullanımının daha da artırılması hedeflenen bu dönüşümde kritik hammadde kullanımı ve montajda kullanılan sabit diğer malzeme giderlerinin de düşürülmesi hedeflenmektedir. Fabrika-1’de öngörülen ve elde edilen tecrübe ile de bu üretim tesisinde de enerji giderlerinin artması beklenmektedir. Ancak yapılan teorik planlamalar sonucu enerji maliyetlerindeki artışın dönüşüm sonrası artan verimliliğin oldukça altında kalacağı için önemli bir dezavantaj olarak öngörülmemektedir. Fabrika-1 örneğinde olduğu gibi bu tesisi de aynı şekilde analiz edeceğiz.

4.2.1.1. FABRİKA-2 VERİMLİLİK ANALİZİ – MEVCUT ÜRETİM METODU

$$\text{TOPLAM VERİMLİLİK} = \frac{\text{TOPLAM ÇIKTI}}{\text{TOPLAM GİRDİ}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_1 = \frac{225\text{M}}{25\text{M} + 8\text{M} + 0,8\text{M} + 10\text{M} + 12\text{M} + 125\text{M} + 3\text{M}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_1 = 1,22$$

Yapılan çok faktörlü verimlilik hesabı sonucu Fabrika-2 dönüşüm öncesi üretim verimliliği “1,22” olarak hesaplanmıştır. Bu verimlilik değeri İşletme bünyesinden alınan kararlarla yapılan Endüstri 4.0 dönüşümü sonucu gelen verimlilik değeri ile kıyaslama yapılarak Endüstri 4.0 yaklaşımın getirdiği sonuç yorumlanacaktır. Endüstri 4.0 dönüşümü Fabrika-2'nin Fabrika-1'e kıyasla daha önemli ve mali ve açıdan riskli bir yatırım olması sebebi ile yapılan inceleme ve ortaya çıkacak tablo akademik açıdan daha net ve Endüstri 4.0 yaklaşımın üretim süreçlerinde sunduğu verimliliğe dair daha net sonuçlar verecektir.

Fabrika-1'e ait dönüşüm öncesi diğer verimlilik hesapları da aşağıdaki gibidir;

İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ:

$$\text{İVO1} = \frac{225\text{M}}{25\text{M}}$$

$$\text{İVO1} = 9$$

HAMMADDE VERİMLİLİĞİ:

$$HVO1 = \frac{225M}{137M}$$

$$HVO1 = 1,64$$

ENERJİ VERİMLİLİĞİ:

$$EVO1 = \frac{225M}{3M}$$

$$EVO1 = 75$$

ALAN VERİMLİLİĞİ:

$$AVO_1 = \frac{225M}{8M}$$

$$AVO_1 = 28,12$$

Fabrika-2 'ye ait dönüşüm öncesi İşgücü, hammadde, enerji ve alan verimlilik değerleri de yukarıda hesaplanmıştır. Bu verimlilik analizleri dönüşüm sonrası ortaya çıkan veriler ile kıyaslanarak yorumlanacaktır.

4.2.2. FABRİKA-2'NİN ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI DURUMU

4.2.2.1 ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ

OPERATÖR SAYISI	%35 AZALTILDI
CİHAZ/MAKİNE PARKI YATIRIMI (10 YIL)	€ 18.000.000
DİLİTAL DÖNÜŞÜM	€ 2.000.000
SİBER GÜVENLİK YATIRIMI	€ 1.000.000
ÜRETİM PLANLAMA	€ 500.000
DANIŞMANLIK	€ 500.000
TOPLAM DÖNÜŞÜM MALİYETİ	€ 22.000.000
PLANLANAN EKONOMİK ÖMÜR	10 YIL

Tablo 6 – FABRİKA – 2 Endüstriyel Dönüşüm Yatırım Aksiyonları

Yukarıda yer alan Tablo-5 'de görüldüğü üzere Fabrika-2 'ye Endüstri 4.0 dönüşümü için “22.000.000 €” değerinde ve 10 yıllık ömür biçilen bir yatırım yapılmıştır. Tablo-6 'da yatırım kalemlerinin daha anlaşılır olması açısından aynı Fabrika-1'e ait tabloda olduğu gibi büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Bu tabloya bakıldığında en büyük yatırım bedelinin cihaz parkına yapıldığı görülmekte ve bu yatırım ve diğer planlamalar sonucu makine operatörü sayısında %35 oranında önemli bir azalma olduğu görülmektedir. Tablo-7'de bu düşüşün operatör maliyetlerine ne kadar etki ettiği gösterilmektedir. Çünkü Endüstri 4.0 tabanlı üretim anlayışı Fabrika-1'in dönüşümü sonrasında da bahsedildiği gibi daha nitelikli ve dolayısı ile daha maliyetli operatör çalıştırmayı gerektirmektedir. Bu sonuç az da olsa operatör sayısı düşüşü oranı ile operatör maliyeti düşüş oranının aynı seviyede olmasına engel olmaktadır. Endüstri 4.0'ın en önemli noktalarından biri operatör sayısı ve maliyetindeki düşüştür. Çünkü gelişmiş sanayi toplumlarında operatör maliyetleri oldukça yüksek olup bu çalışmada Endüstri 4.0 dönüşümünün getirdiği verimlilik artışının yanı sıra yüksek maliyetli makine parkı yatırımı mı yoksa daha yüksek maliyetli de olsa operatör çalıştırmanın mı daha avantajlı olduğunu bu sayede anlayabiliriz.

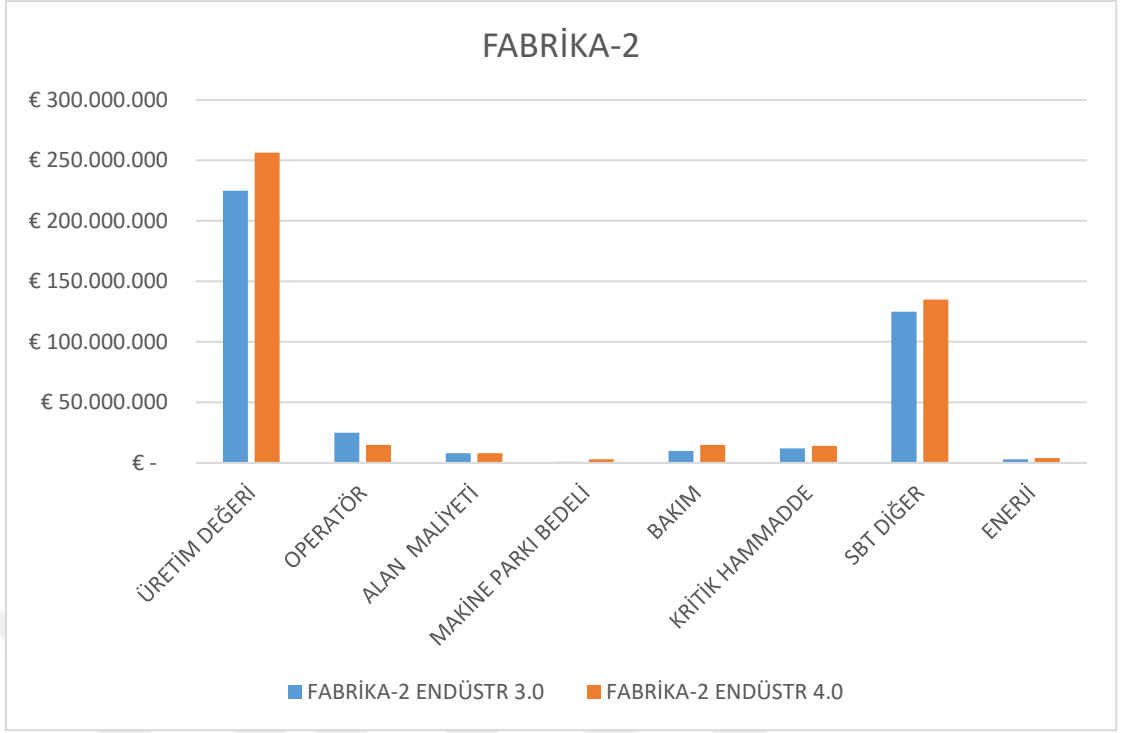
Ancak bunun yanında Endüstri 4.0 ‘ın dijital dönüşümü için “2.000.000 €” ve siber güvenlik altyapısı için de “1.000.000 €” gibi daha önce yer almayan önemli bir yatırım bedeli de ortaya çıkmış olup değerlendirilmesi gereken bir diğer noktadır. Fabrika-2 3. seviye endüstriyel yapıya sahip olmasına rağmen dijital dönüşüm ve siber güvenlik altyapısı gibi üretimde oldukça yeni ihtiyaçların olduğu burada görülmektedir.

Aşağıda yer alan Tablo-7 ‘de Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-2’e ait üretim verileri yer almaktadır. Tabloyu dikkatlice inceleyerek dönüşüm sonrası işletmede ortaya çıkan üretim durumu ve giderleri görülmektedir.

FABRİKA -2 ENDÜSTRİ 4.0	YILLIK
ADET ÜRETİM KAPASİTESİ	570.000 ADET
ÜRETİM ÇIKTISI DEĞERİ	€ 256.500.000
OPERATÖR GİDERİ	€ 15.000.000
ALAN KİRALAMA GİDERİ	€ 8.000.000
CİHAZ BEDELİ/10 YILLIK ÖMÜR	€ 3.000.000
BAKIM GİDERİ	€ 15.000.000
KRİTİK HAMMADDE GİDERİ	€ 14.000.000
SABİT DİĞER MALZEME GİDERİ	€ 135.000.000
ENERJİ GİDERİ	€ 4.000.000
BİRİM MALİYET	€ 340

Tablo 7 – FABRİKA – 2 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri

Yukarıda verilen “Tabo-7“ incelediğinde yüksek oranda operatör maliyetinde düşüş gözlenirken, kritik hammadde ve sabit malzeme giderlerinde az olsa düşüş görülmektedir. Bunun yanında işletmenin bu dönüşüm sonrası kapasite artırımına gitmesine rağmen fabrika üretim alanında herhangi bir değişiklik yaşanmaması dikkate alınması gereken bir noktadır. Bu durum ayrıca verimlilik analizinde de incelenecektir. Yıllık işletme bakım gideri ve enerji giderlerinin Endüstri 4.0 dönüşümünün etkisiyle yükseldiği görülmektedir. Ancak yüksek yatırım bedeline rağmen en önemli hususların ve hedeflerin başında gelen birim maliyette de Fabrika-1’deki dönüşümde olduğu gibi düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 13 – FABRİKA – 2 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Kıyaslama

Fabrika-2 'e ait Endüstri 4.0 dönüşümünün öncesi ve sonrasına ait yıllık verileri grafiğe döktüğümüze “Şekil 13” de yer alan grafiği elde etmekteyiz. Bu grafikten hareketle en çok operatör giderinde ve bunun yanı sıra bu kritik hammadde ve diğer sabit giderlerde de düşüş meydana geldiği gözlenmiştir. Fabrikanın adet başına kapasite artırımını sonucu üretim değerinde yaşanan artışa rağmen kullanım alanı maliyetinin değişmediği de gözlenmektedir. Ancak bu yüksek maliyetli dönüşüm sonucu yaşanan düşüşün yanı sıra makine parkı bakım maliyetleri ve enerji giderlerinin de arttığı görülmektedir.

4.2.2.1.1 REVİZYON SONRASI FABRİKA – 2 VERİMLİLİK ANALİZİ

$$\text{TOPLAM VERİMLİLİK} = \frac{\text{TOPLAM ÇIKTI}}{\text{TOPLAM GİRDİ}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_2 = \frac{256,5\text{M}}{15\text{M} + 8\text{M} + 3\text{M} + 15\text{M} + 13,5\text{M} + 135\text{M} + 4\text{M}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_2 = 1,33$$

TOPLAM VERİMLİLİK ARTIŞI

$$\frac{\text{VERİMLİLİK}_1 - \text{VERİMLİLİK}_2}{\text{VERİMLİLİK}_2} \times 100 = \%8,29$$

FABRİKA-2 ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK ARTIŞI:

%8,29

İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ:

$$\text{İVO}_2 = \frac{256,5\text{M}}{15\text{M}}$$

$$\text{İVO}_2 = 17,1$$

$$\frac{\text{İVO}_1 - \text{İVO}_2}{\text{İVO}_2} \times 100 = \%90$$

HAMMADDE VERİMLİLİĞİ:

$$HVO_2 = \frac{256,5M}{148,5M}$$

$$HVO_2 = 1,72$$

$$\frac{HVO_1 - HVO_2}{HVO_2} \times 100 = \%5$$

ENERJİ VERİMLİLİĞİ:

$$EVO_2 = \frac{256,5M}{4M}$$

$$EVO_2 = 64,13$$

$$\frac{EVO_1 - EVO_2}{EVO_2} \times 100 = -\%15$$

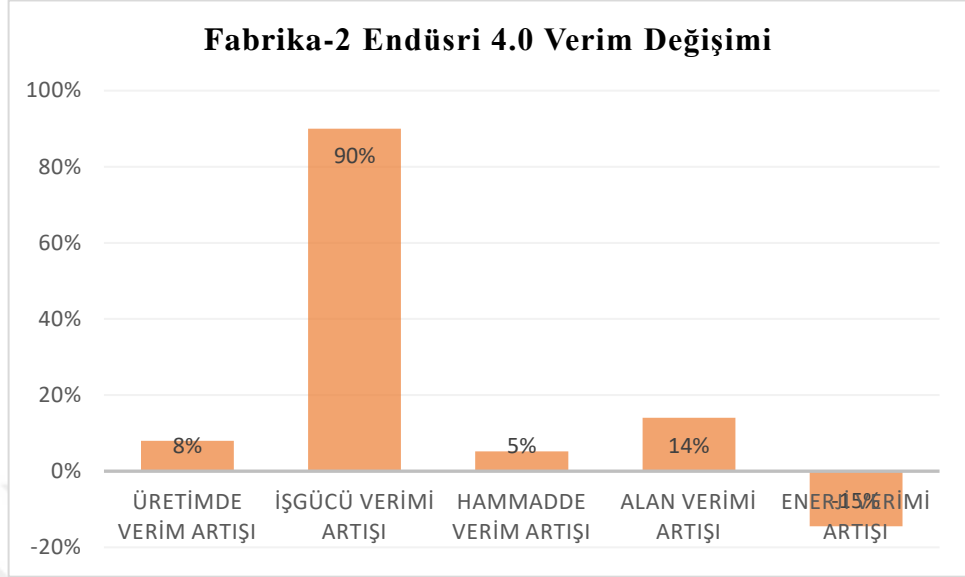
ALAN VERİMLİLİĞİ:

$$AVO_2 = \frac{256,5M}{8M}$$

$$AVO_2 = 32,06$$

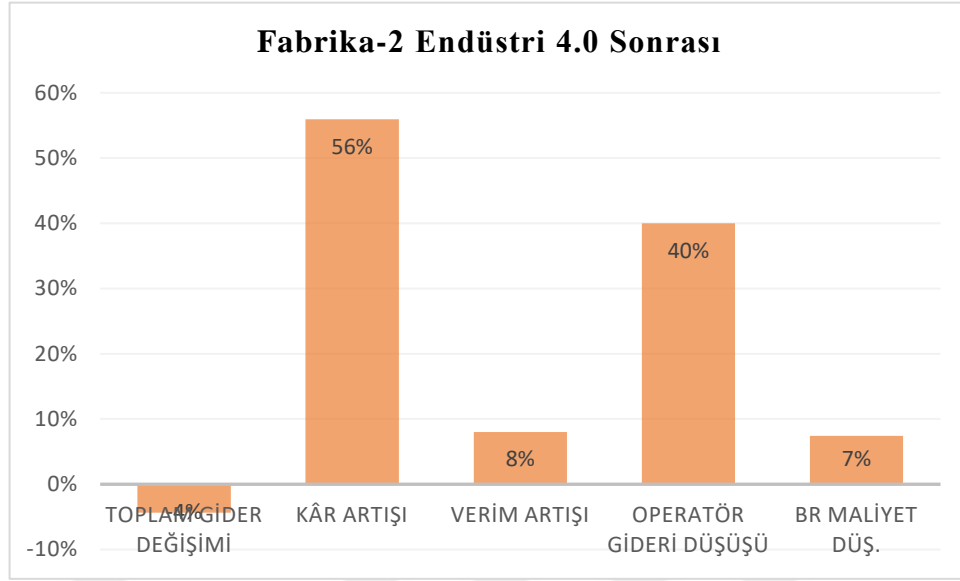
$$\frac{AVO_1 - AVO_2}{AVO_2} \times 100 = \%14$$

4.2.3. ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK - FABRİKA-2



Şekil 14 – FABRİKA – 1 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişimi

Fabrika-2'nin endüstriyel dönüşüm sonrası verimlilik analizleri üretimdeki verimliliğin “%8,29” oranında arttığı görülmektedir. Aynı şekilde Fabrika-1’de olduğu gibi özellikle işgücünde “%90” gibi çok önemli bir artış ve hammadde verimliliğinde de artış gözlenmektedir. Enerji verimliliğinde ise bir önceki uygulamada olduğu gibi düşme gözlenmektedir. Bunun yanında alan verimliliğinde de artış sağlanmıştır. Çünkü Fabrika-2 endüstriyel dönüşümle birlikte kapasite artırımına gitmiş ve bunu yaparken de üretimde kullandığı alanda artışa gidilmemiştir. Buradan hareketle aynı fabrika-1’de olduğu gibi fabrika-2’de de Endüstri 4.0 dönüşümünün işgücü, hammadde ve üretim alanı açısından fayda sağladığı ancak enerji ihtiyacını artırdığı görülmektedir. Ancak enerji verimindeki düşüşün bu dönüşümün getirdiği üretim verimliliğine engel teşkil etmediği görülmektedir.



Şekil 15 – FABRİKA – 2 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Etki Grafiği

Yukarı yer alan Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-2’de elde edilen sonuçların faydalarına ait “Şekil-15” de yer alan grafik incelendiğinde dönüşümün amacına ulaştığı açıkça görülmektedir. 10 yıllık kullanım ömrü biçilen Endüstri 4.0 yatırım bedeline rağmen üretim verimliliğinde ve birim maliyetlerde ciddi oranlarda düşüş meydana gelmektedir. Yapılan tüm analizlerin yer aldığı bu grafiğe bakarak Endüstri 4.0 dönüşümünün yüksek yatırım maliyetine rağmen işletme için kârlı bir dönüşüm olduğunu görebiliriz. Bu tablonun ortaya çıkmasındaki en kritik noktalardan bir tanesi Avrupa’da yer alan bu fabrikanın buna bağlı operatör maliyetlerinin oldukça yüksek olması ve Endüstri 4.0 dönüşümünün getirdiği üretim hızı ve üretim verimliliğinin bir sonucudur. Kısacası Endüstri 4.0 dönüşümü yüksek yatırım bedeli gerekmesine rağmen üretim sürecinde getirdiği verimlilikle Avrupa’daki işgücü maliyetinin etkisiyle avantajlı konuma geçtiği anlaşılmaktadır. İşletmeye ait ısıtma grubu cihazları üreten üçüncü fabrika da inceleyerek Endüstri 4.0 dönüşümünün getirdiği verimliliği ve gerekliliğini daha geniş perspektiften ele alınmıştır.

4.3. UYGULAMA TESİSİ FABRİKA – 3

Çalışmanın üçüncü aşaması üreticinin pazarda yaygın olarak kullanılan ve lider olduğu ısıtma cihazları üreten fabrikasında yapılmıştır. İşletmeye ait üretim tesisleri üretim direktörlüğünce incelenmiş olup ilk iki tesiste yapılan endüstriyel dönüşümde elde edilen deneyim ve bu dönüşümün getirdiği verimlilik artışı ve birim maliyetteki düşüşün görülmesinin ardından Fabrika-3 için harekete geçme kararı alınmıştır. İşletmenin üçüncü endüstriyel dönüşüm noktası olduğundan dolayı Uygulama – 3 adı verilmiş ve tesisten de çalışmada Fabrika-3 olarak tanımlanmıştır. Tesis, Endüstri 4.0 'a geçiş için son derece önemli ve kritik bir noktadır çünkü yıllık üretim kapasitesi çok daha yüksek olup, ortaya çıkacak olumlu ya olumsuz her sonuç işletmeyi ciddi oranda etkileyecek kapasitededir. Fabrika-2'nin Endüstri 4.0'a dönüştürülmesinin sebepleri aşağıdadır:

- Yıllık cihaz üretim kapasitesinin çok daha yüksek olması ve Endüstri 4.0 dönüşümü ile elde edilecek ufak bir verimlilik artışının bile işletmeye büyük oranda fayda getirecek olması.
- Fabrikanın mevcut üretim hattı sebebi ile çok sayıda operatör çalıştırması ve bu konuda tasarrufa gitmek istemesi.
- İşletmenin bu tesiste kısmi olarak Endüstri 3.0 robotik üretim altyapısına sahip olması ve bunu avantaj olarak kullanarak ilk tesisteki tecrübe ile dönüşümü daha kolay tamamlayabilme potansiyeli taşıması.
- Fabrika-2'de üretilen ürünlerin pazarda fiyat açısından rekabetçi olması ve işletmenin Endüstri 4.0 dönüşümü ile elde edebileceği verimlilik ve fiyat avantajında sürdürülebilirlik sağlamak istemesi.
- Tesisin yüksek kapasitesi ve çalışan operatör sayısı sebebi ile iş güvenliği riskinin yüksek olması ve bu sayede bunu azaltmayı hedeflemesi.
- İşletmenin büyüyen ısıtma cihazı Pazar payını karşılama amaçlı üretim kapasitesini Endüstri 4.0 yaklaşımı ile daha verimli üretim alanı kullanarak üretim kapasitesini artırma hedefi.
- Fabrika-2'nin yüksek kapasiteli olması sebebi ile tedarik zincirin yönetimin Endüstri 4.0 dönüşümü ile daha yönetilebilir hale getirme hedefi.

4.3.1. FABRİKA-3 MEVCUT ÜRETİM SÜRECİ – KISMİ ENDÜSTRİ 3.0 ÜRETİM

FABRİKA - 3 DÖNÜŞÜM ÖNCESİ	YILLIK
ADET ÜRETİM KAPASİTESİ	800.000
ÜRETİM ÇIKTISI DEĞERİ	€ 80.000.000
OPERATÖR GİDERİ	€ 8.000.000
ALAN KİRALAMA GİDERİ	€ 5.000.000
CİHAZ BEDELİ/10 YILLIK ÖMÜR	€ 500.000
BAKIM GİDERİ	€ 2.000.000
KRİTİK HAMMADDE GİDERİ	€ 12.000.000
SABİT DİĞER MALZEME GİDERİ	€ 8.000.000
ENERJİ GİDERİ	€ 1.000.000
BİRİM MALİYET	€ 46

Tablo 8 – FABRİKA -3 DÖNÜŞÜM ÖNCESİ ÜRETİM VERİLERİ

Tesisin üretim verilerini incelediğimizde aynı ilk iki incelenen tesiste de olduğu gibi sabit malzeme giderlerinin ve operatör maliyetlerinin yüksekliği göze çarpmaktadır. Ancak bu tesiste farklı olan nokta ürettiği cihazlarının katma değerlerinin bir önceki işletmelere göre daha düşük olmasıdır. Bu da tesiste değer yaratacak her girişimin diğer tesislere oranlara daha kıymetli olacağı anlamına gelmektedir. Kritik hammadde giderinin de önemli bir payı olan bu tabloda bunun yanında fabrika kullanım maliyeti olan alan kirası da bir diğer ciddi gider kalemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Tesisin endüstriyel dönüşümü ile bu gider kalemlerinin azaltılması hedeflenmektedir. Özellikle operatör giderlerini düşürmek ve endüstriyel dönüşümün getirdiği bir diğer yenilik olan mevcut fabrika alanını daha verimli kullanarak kapasite artırımını da hedeflenmektedir. Üretimde insan yerine makine kullanımının daha da artırılması hedeflenen bu dönüşümde kritik hammadde kullanımı ve montajda kullanılan sabit diğer malzeme giderlerinin de düşürülmesi hedeflenmektedir. Fabrika-1’de ve Fabrika-2’de öngörülen ve elde edilen tecrübe ile de bu üretim tesisinde de enerji giderlerinin artması beklenmektedir.

Ancak yapılan teorik planlamalar sonucu enerji maliyetlerindeki artışın dönüşüm sonrası artan verimliliğin oldukça altında kalacağı için önemli bir dezavantaj olarak öngörülmemektedir. Fabrika-1 ve Fabrika-2 örneğinde olduğu gibi bu tesisi de aynı şekilde analiz edeceğiz.

4.3.1.1. FABRİKA-3 VERİMLİLİK ANALİZİ – MEVCUT ÜRETİM METODU

$$\text{TOPLAM VERİMLİLİK} = \frac{\text{TOPLAM ÇIKTI}}{\text{TOPLAM GİRDİ}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_1 = \frac{80\text{M}}{8\text{M} + 5\text{M} + 0,5\text{M} + 2\text{M} + 12\text{M} + 8\text{M} + 1\text{M}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_1 = 2,19$$

Yapılan çok faktörlü verimlilik hesabı sonucu Fabrika-3 dönüşüm öncesi üretim verimliliği “2,19” olarak hesaplanmıştır. Bu verimlilik değeri İşletme bünyesinden alınan kararla yapılan Endüstri 4.0 dönüşümü sonucu gelen verimlilik değeri ile kıyaslama yapılarak Endüstri 4.0 yaklaşımın getirdiği sonuç yorumlanacaktır. Endüstri 4.0 dönüşümü Fabrika-3’ün Fabrika-1 ve Fabrika-2’ye kıyasla az da olsa daha önemli ve mali ve açıdan riskli bir yatırım olması sebebi ile yapılan inceleme ve ortaya çıkacak tablo akademik açıdan daha net ve Endüstri 4.0 yaklaşımın üretim süreçlerinde sunduğu verimliliğe dair daha net sonuçlar verecektir.

Fabrika-3’e ait dönüşüm öncesi diğer verimlilik hesapları da aşağıdaki gibidir;

İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ:

$$\text{İVO}_1 = \frac{80\text{M}}{8\text{M}}$$

$$\text{İVO}_1 = 10$$

HAMMADDE VERİMLİLİĞİ:

$$HVO_1 = \frac{80M}{20M}$$

$$HVO_1 = 4$$

ENERJİ VERİMLİLİĞİ:

$$EVO_1 = \frac{80M}{1M}$$

$$EVO_1 = 80$$

ALAN VERİMLİLİĞİ:

$$AVO_1 = \frac{80M}{5M}$$

$$AVO_1 = 16$$

Fabrika-3 'e ait dönüşüm öncesi İşgücü, hammadde, enerji ve alan verimlilik değerleri de yukarıda hesaplanmıştır. Bu verimlilik analizleri dönüşüm sonrası ortaya çıkan veriler önceki uygulamalarda ile kıyaslanarak yorumlanacaktır.

4.3.2. FABRİKA-3'ÜN ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI DURUMU

4.3.2.1 ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ

OPERATÖR SAYISI	%50 AZALTILDI
CİHAZ/MAKİNE PARKI YATIRIMI (10 YIL)	€ 14.000.000
DİJİTAL DÖNÜŞÜM	€ 2.500.000
SİBER GÜVENLİK YATIRIMI	€ 2.000.000
ÜRETİM PLANLAMA	€ 1.000.000
DANIŞMANLIK	€ 500.000
TOPLAM DÖNÜŞÜM MALİYETİ	€ 20.000.000
PLANLANAN EKONOMİK ÖMÜR	10 YIL

Tablo 9 – FABRİKA – 3 Endüstriyel Dönüşüm Yatırım Aksiyonları

Yukarıda yer alan Tablo-9 'da görüldüğü üzere Fabrika-3 'ün Endüstri 4.0 dönüşümü için “20.000.000 €” değerinde ve 10 yıllık ömür biçilen bir yatırım yapılmıştır. Tablo-9 'da yatırım kalemlerinin daha anlaşılır olması açısından aynı Fabrika-1 ve Fabrika-2'ye ait tablolarda olduğu gibi büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Bu tabloya bakıldığında en büyük yatırım bedelinin cihaz parkına yapıldığı görülmekte ve bu yatırım ve diğer planlamalar sonucu makine operatörü sayısında %50 oranında çok önemli bir azalma olduğu görülmektedir. Tablo-10'da bu dönüşümün operatör maliyetlerine ne kadar etki ettiği gösterilmektedir. Çünkü Endüstri 4.0 tabanlı üretim anlayışı Fabrika-1 ve Fabrika-2'nin dönüşümü sonrasında da bahsedildiği gibi daha nitelikli ve dolayısı ile daha maliyetli operatör çalıştırmayı gerektirmektedir. Bu sonuç az da olsa operatör sayısı düşüşü oranı ile operatör maliyeti düşüş oranının aynı seviyede olmasına engel olmaktadır. Endüstri 4.0'ın en önemli noktalarından biri operatör sayısı ve maliyetindeki düşüştür. Çünkü gelişmiş sanayi toplumlarında operatör maliyetleri oldukça yüksek olup bu çalışmada Endüstri 4.0 dönüşümünün getirdiği verimlilik artışının yanı sıra yüksek maliyetli makine parkı yatırımı mı yoksa daha yüksek maliyetli de olsa operatör çalıştırmanın mı daha avantajlı olduğunu bu sayede anlayabiliriz.

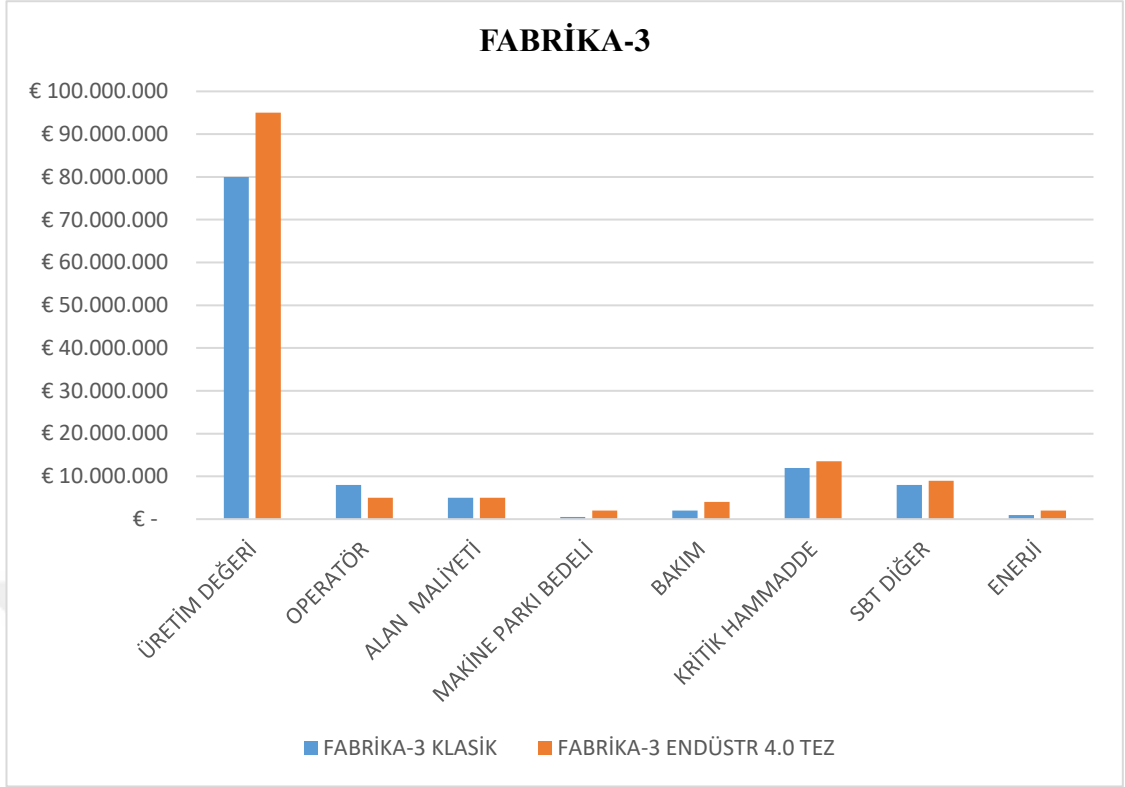
Ancak bunun yanında Endüstri 4.0 ‘ın dijital dönüşümü için “2.500.000 €” ve siber güvenlik altyapısı için de “2.000.000 €” gibi daha önce yer almayan önemli bir yatırım bedeli de ortaya çıkmış olup değerlendirilmesi gereken bir diğer noktadır. Fabrika-3 kısmen 3. seviye endüstriyel yapıya sahip olmasına rağmen dijital dönüşüm ve siber güvenlik altyapısı gibi üretimde oldukça yeni ihtiyaçların olduğu burada görülmektedir.

Aşağıda yer alan Tablo-10 ‘da Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-3’e ait üretim verileri yer almaktadır. Tabloyu dikkatlice inceleyerek dönüşüm sonrası işletmede ortaya çıkan üretim durumu ve giderleri görülmektedir.

FABRİKA - 3 ENDÜSTRİ 4.0	YILLIK
ADET ÜRETİM KAPASİTESİ	950.000 ADET
ÜRETİM ÇIKTISI DEĞERİ	€ 95.000.000
OPERATÖR GİDERİ	€ 5.000.000
ALAN KİRALAMA GİDERİ	€ 5.000.000
CİHAZ BEDELİ/10 YILLIK ÖMÜR	€ 2.000.000
BAKIM GİDERİ	€ 4.000.000
KRİTİK HAMMADDE GİDERİ	€ 13.500.000
SABİT DİĞER MALZEME GİDERİ	€ 9.000.000
ENERJİ GİDERİ	€ 2.000.000
BİRİM MALİYET	€ 43

Tablo 10 – FABRİKA – 3 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri

Yukarıda verilen “Tablo-10“ incelediğinde yüksek oranda operatör maliyetinde düşüş gözlenirken, kritik hammadde ve sabit malzeme giderlerinde az olsa düşüş görülmektedir. Bunun yanında işletmenin bu dönüşüm sonrası aynı Fabrika-2 uygulamasında olduğu gibi kapasite artırımına gitmesine rağmen fabrika üretim alanında herhangi bir değişiklik yaşanmaması dikkate alınması gereken bir noktadır. Bu durum ayrıca verimlilik analizinde de incelenecektir. Yıllık işletme bakım gideri ve enerji giderlerinin Endüstri 4.0 dönüşümünün etkisiyle yükseldiği görülmektedir. Ancak yüksek yatırım bedeline rağmen en önemli hususların ve hedeflerin başında gelen birim maliyette de Fabrika-1’deki dönüşümde olduğu gibi düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 16 – FABRİKA – 3 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Kıyaslama

Fabrika-3 'e ait Endüstri 4.0 dönüşümünün öncesi ve sonrasına ait yıllık verileri grafiğe döktüğümüze “Şekil 16” da yer alan grafiği elde etmekteyiz. Bu grafikten hareketle en çok operatör giderinde ve bunun yanı sıra bu kritik hammadde ve diğer sabit giderlerde de düşüş meydana geldiği gözlenmiştir. Fabrikanın adet başına kapasite artırımı sonucu üretim değerinde yaşanan artışa rağmen kullanım alanı maliyetinin değişmediği de gözlenmektedir. Ancak bu yüksek maliyetli dönüşüm sonucu yaşanan düşüşün yanı sıra makine parkı bakım maliyetleri ve enerji giderlerinin de arttığı görülmektedir.

4.3.2.1.1 REVİZYON SONRASI FABRİKA – 3 VERİMLİLİK ANALİZİ

$$\text{TOPLAM VERİMLİLİK} = \frac{\text{TOPLAM ÇIKTI}}{\text{TOPLAM GİRDİ}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_2 = \frac{95\text{M}}{5\text{M} + 5\text{M} + 2\text{M} + 4\text{M} + 13,5\text{M} + 9\text{M} + 2\text{M}}$$

$$\text{VERİMLİLİK}_2 = 2,19$$

ÜRETİM ÇOK FAKTÖRLÜ VERİMLİLİK ARTIŞI

$$\frac{\text{VERİMLİLİK}_1 - \text{VERİMLİLİK}_2}{\text{VERİMLİLİK}_2} \times 100 = \%7,02$$

FABRİKA-3 ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK ARTIŞI:
%7,02

İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ:

$$\text{İVO}_2 = \frac{95\text{M}}{5\text{M}}$$

$$\text{İVO}_2 = 19$$

$$\frac{\text{İVO}_1 - \text{İVO}_2}{\text{İVO}_2} \times 100 = \%90$$

HAMMADDE VERİMLİLİĞİ:

$$HVO_2 = \frac{95M}{22,5M}$$

$$HVO_2 = 4,22$$

$$\frac{HVO_1 - HVO_2}{HVO_2} \times 100 = \%6$$

ENERJİ VERİMLİLİĞİ:

$$EVO_2 = \frac{95M}{2M}$$

$$EVO_2 = 47,50$$

$$\frac{EVO_1 - EVO_2}{EVO_2} \times 100 = -\%41$$

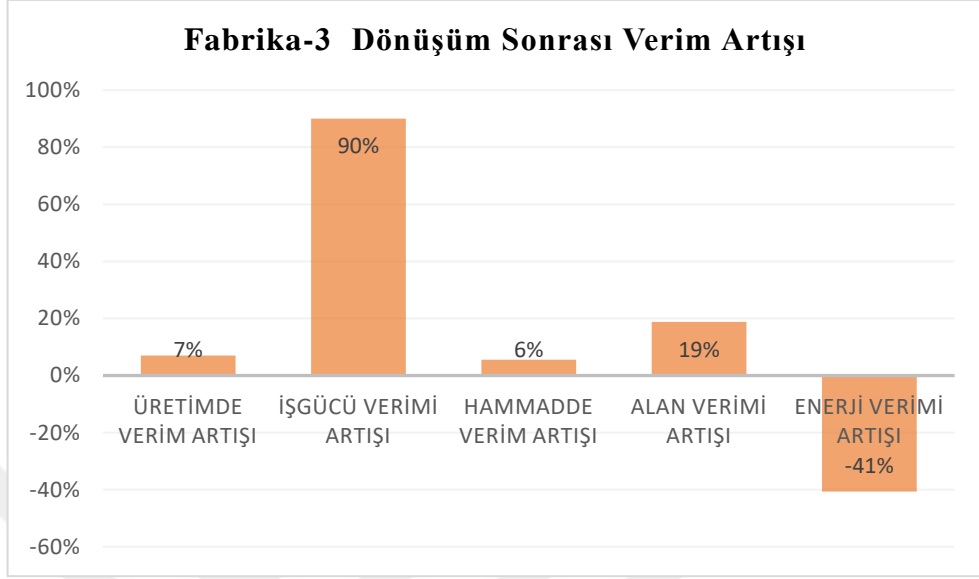
ALAN VERİMLİLİĞİ:

$$AVO_2 = \frac{95M}{5M}$$

$$AVO_2 = 19$$

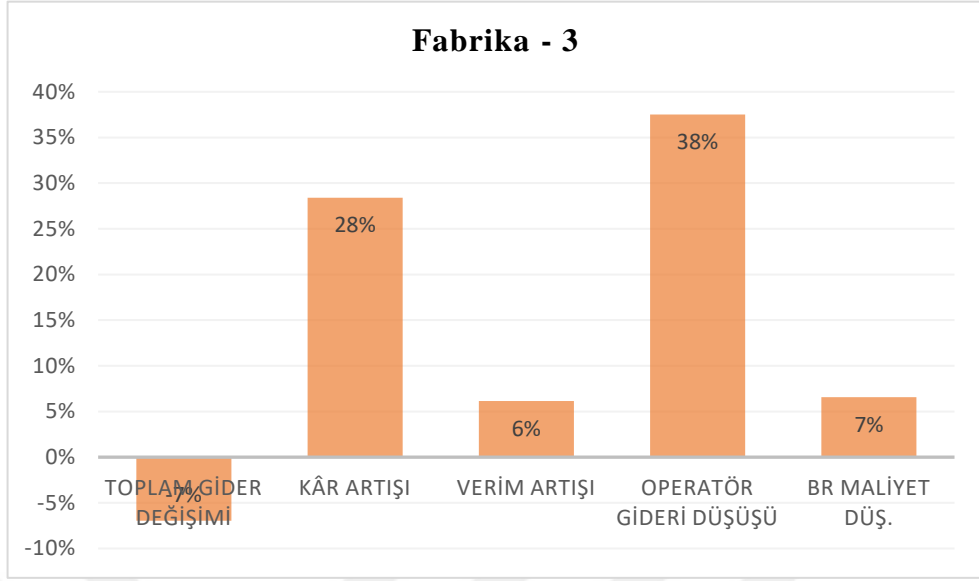
$$\frac{AVO_1 - AVO_2}{AVO_2} \times 100 = \%19$$

4.3.3. ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ SONRASI VERİMLİLİK - FABRİKA – 3



Şekil 17 – FABRİKA – 3 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişim Grafiği

Fabrika-2'nin endüstriyel dönüşüm sonrası verimlilik analizleri üretimdeki verimliliğin “%7” oranında arttığı görülmektedir. Aynı şekilde Fabrika-1’de olduğu gibi özellikle işgücü veriminde “%90” gibi çok önemli bir artış ve hammadde verimliliğinde de artış gözlenmektedir. Enerji verimliliğinde de önceki iki uygulamada da olduğu gibi düşüş gözlenmektedir. Bunun yanında alan verimliliğinde de artış sağlanmıştır. Çünkü Fabrika-3’te endüstriyel dönüşümle birlikte Fabrika-2’de olduğu gibi kapasite artırımına gitmiş ve bunu yaparken de üretimde kullandığı alanda artışa gidilmemiştir. Buradan hareketle aynı fabrika-1’de olduğu gibi fabrika-2’de de Endüstri 4.0 dönüşümünün işgücü, hammadde ve üretim alanı açısından fayda sağladığı ancak enerji ihtiyacını artırdığı görülmektedir. Ancak enerji verimindeki düşüşün bu dönüşümün getirdiği üretim verimliliğine engel teşkil etmediği görülmektedir.



Şekil 18 – FABRİKA – 3 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Etki Grafiği

Yukarıda yer alan Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-3’de elde edilen sonuçların faydalarına ait “Şekil-18” de yer alan grafik incelendiğinde dönüşümün amacına ulaştığı açıkça görülmektedir. 10 yıllık kullanım ömrü biçilen Endüstri 4.0 yatırım bedeline rağmen üretim verimliliğinde ve birim maliyetlerde ciddi oranlarda düşüş meydana geldiği ilk iki uygulamada olduğu gibi burada da sayısal olarak görülmektedir. Yapılan tüm analizlerin yer aldığı bu grafiğe bakarak Endüstri 4.0 dönüşümünün yüksek yatırım maliyetine rağmen işletme için kârlı bir dönüşüm olduğunu görebiliriz. Bu tablonun ortaya çıkmasındaki en kritik noktalardan bir tanesi Avrupa’da yer alan bu fabrikanın buna bağlı operatör maliyetlerinin oldukça yüksek olması ve Endüstri 4.0 dönüşümünün getirdiği üretim hızı ve üretim verimliliğinin bir sonucudur. Kısacası Endüstri 4.0 dönüşümü yüksek yatırım bedeli gerekmesine rağmen üretim sürecinde getirdiği verimlilikle Avrupa’daki işgücü maliyetinin etkisiyle avantajlı konuma geçtiği anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Üretim süreçleri için henüz çok yeni ancak küresel rekabet ortamında endüstriyel açıdan devrim niteliğinde bir yeniliğin kaçınılmazlığından ortaya çıkan Endüstri 4.0 yaklaşımının akademik açıdan sayısal bulgularla toplam verimliliği artırdığı bilimsel olarak gösterilmiştir. Genel olarak Endüstri 4.0'a geçiş için gerekli yüksek yatırım maliyetleri, artan bakım ve enerji ihtiyaçlarının, Endüstri 4.0'ın pozitif getirileri ile kolaylıkla tölere edilebildiği sayısal olarak gözlenmiştir.

Uygulamalarda yapılan dönüşüm sonrası verimliliği kısmi olarak ele aldığımızda daha detaylı ve somut sonuçlar görmekteyiz. Çalışmamız sonucunda üç tesiste de işgücü verimliliğinin kayda değer oranda arttığını görmekteyiz. Bu dayanağımızdan hareketle Endüstri 4.0 dönüşümünün fabrikalarda işgücü verimliliğini ciddi manada artırdığını net bir şekilde savunabiliriz. Özellikle çalışmamızın incelendiği tesislerin Avrupa'da yer alıyor olması yüksek işgücü maliyetinden tasarrufa gidebilmek için Endüstri 4.0 yaklaşımının önemini savunabiliriz.

Uygulama yapılan üç tesiste de hammadde ve alan verimliliği açısından Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası artış gözlenmiştir. Buna dayanarak hammadde kaynakların verimli kullanımı ve çeşitli sebeplerce üretim alanından tasarruf edilmesi açısından Endüstri 4.0'ın hammadde ve alan verimliliği sağladığını savunabiliriz.

Endüstri 4.0'ın yoğun makineleşme, siber ve dijital altyapısından dolayı enerji ihtiyacını artırması öngörülmekte idi. Üç uygulamaya da baktığımızda enerji verimliliğinde geçiş sonrası düşüş yaşandığını ancak toplam verimliliğe etki etmediğini görmekteyiz.

Sonuç olarak yüksek yatırım maliyeti ve yüksek enerji gideri gibi haklı endişelerin yer almasına rağmen bu yeni nesil endüstriyel seviyenin getirdiği verimlilik sayesinde Endüstri 4.0 üretim yaklaşımının üretim süreçlerine verimlilik ve değer kazandırdığı üç ayrı uygulamanın toplam ve kısmi verimlilik analizlerine dayanarak Endüstri 4.0 dönüşümünün üretim süreçlerinde verimliliği artırdığını sayısal sonuçlara dayanarak savunabiliriz.

KAYNAKÇA

Akal, Zühal *İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi – Çok Yönlü Performans Göstergeleri*. (Ankara: MPM Yayın, 2000) 473.

Aksoy, Suat (2017). “Değişen teknolojiler ve endüstri 4.0: endüstri 4.0’ı anlamaya dair bir giriş”, *SAV Katkı*, 4, 2017: 34-4.

Aktan, Coşkun, (2003) “Avrupa Birliği’nin Rekabet Gücü”, *Mercek Dergisi*, Ekim.

Alçın, Sinan, (2016) “Üretim için yeni bir izlek: sanayi 4.0”, *Journal of Life Economics*, 8, 19-30.

Arkan (2018). *Endüstri 4.0 Dönüşümünün Üretim Maliyetlerine Etkisi Üzerine Bir vaka Çalışması*, Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Muhasebe ve Finansman Bölümü, İstanbul.

Aslan, Yasemin ve Aspaslan Hande (2017), Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası, *TÜBİTAK*

Aytaç Yıldız, “Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2018): 546-556.

Banger, Gürcan, (2016). *Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme*. Ankara: Dorlion Yayınları

Bartodziej, Christoph. (2017). *The Concept Industry 4.0 An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*. Berlin: Springer Gabler Press
S. Pollard, *Peaceful Conquest: "Industrialization in Europe" 1760-1770*, Oxford: 1981.

Baysal, İsmihan (2015). “PWC Endüstri 4.0 Dijital Dönüşümü Raporu” *14. Çözüm Ortaklığı Platformu*, 16 Aralık

Çetiner, Gültekin. (2016). “Endüstri 4.0: Fırsatlar ve Tehditler” <www.drçetiner.org>, Marmara Üniversitesi

Collins, Jan (2018). “Tesla's Weak Financials Are Being Exposed By Stock Price” *Forbes*, March(27), 16-19

Doğan, Mesut (2013). “Türkiye Sanayileşme Sürecine Genel Bir Bakış” *Marmara Coğrafya Dergisi*, 28:211-231

Ege Bölgesi Sanayi Odası Araştırma Müdürlüğü, (2015) “Sanayi 4.0: Uyum Sağlayamayan kaybedecek, Ekim

Erol, Selim. Jäger, Andreas. Hold, Philipp. Ott Karl and Sihn, Wilfried (2016). “Tangible Industry 4.0: a scenariobased approach to learning for the future of production”, *Procedia CIRP*, vol. 54, 13- 18.

Görçün, Ömer Faruk, *Endüstri 4.0*. İstanbul: Beta Basım Yayım, 2017.

Günay, Durmuş “Sanayi ve Sanayi Tarihi” *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 31 (2002): 8-14, İstanbul.

Günther Schuh, Till Potente, Cathrin Wesch-Potente, Anja Ruth Weber, Jan-Philipp (2014) “Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0 “, *Prote Robust Manufacturing Conference (RoMaC 2014)*.

Hofmann, Erik and Rüsç, Marco (2017) “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics”, *Computers in Industry*, vol. 89: 23-34.

Kahya, Emin, (2005). “Verimlilik Yönetimi”, Yayınlanmamış ders notları, Osmangazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Endüstri Müh. Bölümü, Eskişehir.

Kayar, Mahmut (2013). *Üretim ve Verimlilik* (Bursa: Ekim Basım Yayın).

Kennedy Paul (1991). *Büyük Güçlerin Yükseliş ve Çöküşleri*. Ankara: İş Bankası Yayınları.

Kılıç, Kadriye (2017) “Endüstri 4.0 ile Yönetim ve Bilişim Sistemleri” *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*

Kıymaz, Can, “Bilişim teknolojilerinin perakende mağazacılık sektörüne Yansımaları: Muhasebe departmanlarında endüstri 4.0 etkisi”, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, CİEP Özel Sayısı, (2016): 107-117.

Küçükkalay, Mesud. (1997). ‘Endüstri Devrimi ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi’ *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.*, 2: 51-68

Lu, Yang, (2017). “Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues”, *Journal of Industrial Information Integration*.

Mrugalska, Beata ve Wyrwicka, Magdalena (2017) “Towards lean production in industry 4.0.”, *Procedia Engineering*, vol. 182, 2017: 466- 473.

Oral Sander, Fahrettin Armaoğlu, *Siyasi Tarih 1918-1994* (İstanbul: İmge Yayınları, 2010).

Qin, Jian., Liu, Ying and Grosvenor, Roger,(2016). “A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond”, *Procedia CIRP*, vols., 52, 2:173-178.

Schumacher, Andreas., Erol, Selim and Sihm, Wlfried, (2016). “A Maturity Model For Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises”, *Procedia CIRP*, vol. 52, (2016): 161-166.

Scwab, Klaus, (2017) *Fourth industrial Revolution*. New York: Penguin Group, 7-12.

Stock, Seliger, “Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0”, *Procedia CIRP*, 40 vols., 2016: 536-541.

Spath, Dieter., Ganschar, Oliver, Gerlach, Stefan, Hämmerle, Moritz, Krause, Tobias, SchlundS (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0 2013*; *Fraunhofer Verlag*: 150.

Tesla Motor Global Web Sitesi

<<https://www.tesla.com/gigafactory>> adresinden alınmıştır. (Son erişim tarihi: Mayıs 2019)

The Boston Consulting Web Site

“Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries”
The Boston Consulting - <www.bcgperspectives.com> adresinden alınmıştır. (Son erişim tarihi: Mayıs 2019)

Trappey, Amy., Trappey, Charles U. H. Govindarajan, A. C. Chuang and J. J. Sun, (2017). “A review of essential standards and patent landscapes for the internet of things: a key enabler for industry 4.0”, *Advanced Engineering Informatics*.

Witkowski, Krzysztof, (2017), “Internet of things, big data, industry 4.0–innovative solutions in logistics and supply chains management”, *Procedia Engineering*, vol. 182, 763-769.

Wang, Shiyong., Wan, Jiafu.,and Zhang, Chunhua (2016). “Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination”, *Computer Networks*, vols. 101, 2016: 158-168.

Yazıcı, Erdiñç ve Düzkaya, Hıdır, (2016). “Endüstri Devriminde Dördüncü Dalga ve Eğitim: Türkiye Dördüncü Dalga Endüstri Devrimine Hazır mı?”, *Eğitim ve İnsani Bilimler Dergisi* 7(13):49-88