



THE INDUSTRY 4.0 VISION AND THE PRODUCTIVITY IT PROVIDES IN THE PRODUCTION PROCESSES

Murat Taha BİLİŞİK*

*Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İ.İ.B.F. İşletme Bölümü, m.bilisik@iku.edu.tr

Received Date:19.12.2019, Revised Date:11.01.2020, Accepted Date:17.01.2020

Copyright © 2020 Murat Taha BİLİŞİK. This is an open access article distributed under the Eurasian Academy of Sciences License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT

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points; so the manufacturers that adjust themselves to a new environment keep alive and do not even expend while outdated ones disappear from the industry.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, Üretim Süreçleri, Üretimde Verimlilik

JEL-Classification: L60, L68, O14

ENDÜSTRİ 4.0 VİZYONU VE ÜRETİM SÜREÇLERİNE GETİRDİĞİ VERİMLİLİK

ÖZET

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 getirdiği bu sayısal verimlilik değerleri kıyaslanarak tartışılmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Verimlilik, Üretim Yönetimi, Üretim Süreçleri, Üretimde Verimlilik.



JEL-Sınıflama: L60, L68, O14

1. GİRİŞ

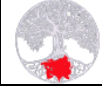
İnsanlık tarihinin bilinen en eski yaşamsal devrimi M.Ö. 8000 yıllarında olduğu saptanan “Tarım Devrimi” dir. Bu devrimin önemi ise o dönemde göçebe bir yaşam tarzını benimseyen ve avcı toplayıcı olarak anılan dönem insanların yerleşik hayata geçtiği dönem olmasıdır. Bu dönemde toprak sermaye görevi görmüş ve sonrasındaki binlerce yıl gerek hayvanların gücü gerek insanların kas gücü ve bunu daha verimli kullanma amaçlı aletler geliştirilmiştir. 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. Sanayi Devrimi olarak adlandırılan bu süreç günümüzde 4. aşamaya kadar gelmiştir (Günay, 2002, s.8-14).

Çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 dönüşümünü başarıyla gerçekleştiren 3 farklı üretim tesisinde, bu dönüşümün özellikle verimlilik ve iş gücü verimliliği konusunda yarattığı faydaları bir uygulamaya ile gözler önüne sermektir. Çalışmanın bir sonraki bölümünde literatür taraması yer almaktadır. Ardından, endüstri devrimlerinin geçmişten bugüne kadar evrimi incelenmiştir. Bu bölümü takiben metodoloji ve uygulama sonucunda elde edilen bulgular neticesinde oluşturulan sonuç kısmı takip etmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

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.

(Quin vd, 2016) 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. Ayrıca, endüstri 4.0 üretim anlayışını bir alüminyum üretim tesisinde uygulanmasını incelemiş ve yapay zeka ve ERP teknolojilerinin uygulanabilirliğini görmüştür ki bu sayede imalat yönetim faaliyetlerinin binlerce kat artırılabilirliğini, mavi yaka işsizliğinin de bu sebeple artabileceğini tespit etmiştir.



(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.

(Günther vd. 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.

(Kılıç ve Alkan, 2018) yeni sanayi devrimi Endüstri 4.0'ın Dünya ve Türkiye'deki yansımalarını incelemiştir. Çalışmada, Türkiye'nin 2023 vizyonu çerçevesinde Endüstri 4,0 ve benzeri sanayileşme hamlelerini uygulamasında önem arz eden Ar-Ge, inovasyon ve katma değeri yüksek teknoloji-yoğun ürün üretimi ve ihracatına daha da ağırlık verilmesi konuları kapsamında, Dünya ve Türkiye'deki Ar-Ge harcamaları, yüksek teknoloji katma değeri yüksek endüstriyel robot üretimi ve ihracatı, Ar-Ge personeli istihdamı konuları incelenmiştir.

3. ENDÜSTRİ DEVRİMİ

Sanayi Devrimi bir diğer adıyla Endüstri Devrimi, Avrupa'da 18. - 19. yüzyıllarda geliştirilen icatların üretilmesi ve buharlı makinelerin üretimde kullanılarak endüstri mantığını doğurması, bu ortaya çıkan gelişmelerin de Avrupa'da sermaye birikimi oluşturan tarihsel ve bilimsel sürece verilen isimdir. (Sander, 2010). Bu üretim anlayışı 18. yy'da Birleşik Krallık' ta ağırlıklı olarak tekstil sektöründe uygulanmış bu sayede üretim hızları artarak üretim şekli ve miktarı da artmıştır. (Küçükcalay, 1997, s.51-68) Büyük makineler ev üretimi için elverişsizdi. Bu nedenle 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.

3.1 ENDÜSTRİ 1.0'DAN ENDÜSTRİ 4.0'A SANAYİ DEVRİMLERİ

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 vd. 2013, s.10)

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: Kitlesele üretim için otomatik hayvan besleme sistemi – 20. Yüzyılın başları

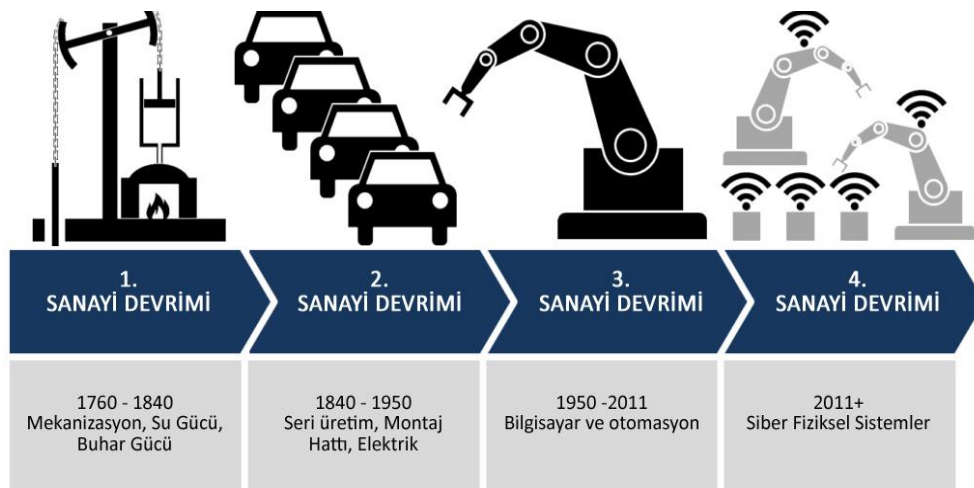


3. Endüstri Devrimi: Üretimde otomasyonu daha ileri seviyeye çıkaran elektronik sistemler ve bilişim teknolojilerinin kullanılması. Örnek: İmalatta otomasyon ve sanayi robotu kullanımı – 1970 sonrası

4. Endüstri Devrimi: Siber-Fiziksel sistemlere (SFS) ve dinamik veri işlemeyle dayalı üretim anlayışı. Dijital ve fiziksel ve arasında bağlantılı yani birbiri ile iletişim kuran imalat makineleri – Bugün ve yakın gelecek

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 (Arkan, 2018). 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 (Quin, Jian, ve Grosvenor). Endüstride yaşanan bu üç büyük devrim sonucu üretimde verimlilik artışı meydana gelmiştir (Kıymaz, 2016). Yapılan inovasyonlarla hızlı adaptasyon taşıyan siber ve fiziksel sistemlerle desteklenmesi gerekiyordu (Schumacher, Erol ve Sihni, 2016). 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 1'de gösterilmektedir (Lu, 2017).

Şekil 1. Endüstri Devrimleri

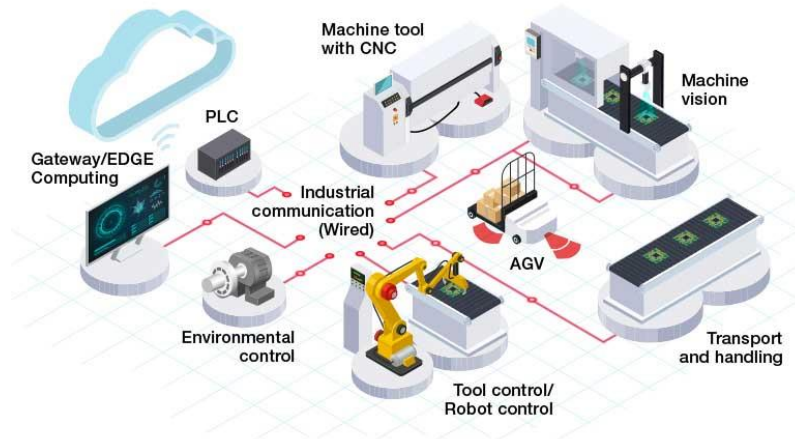


Kaynak: Lu,2017

3.2 ENDÜSTRİ 4.0 – YENİ NESİL SANAYİ DEVRİMİ VE 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, 2017). 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 ve Wyrwicka, 2017). 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. Dördüncü Sanayi Devrimi olarak anılan endüstri 4.0 terimi dünyadaki endüstriler ve akademisyenler arasında en popüler imalat konularından biri olmuş ve tüm sektörleri etkileyebilecek potansiyele sahip olduğu kabul edilmektedir (Trappey vd. 2017). Endüstri 4.0 başlangıçta bir teknoloji denemesi olarak düşünülürken, şimdi sürekli değişen ve gelişen endüstriyel faaliyetlerde rekabette geri kalmamak için bir gereklilik olmuştur (Trappey vd. 2017). Çünkü endüstri 4.0 sayesinde elektronik cihazların kullanılması ve yazılımların karar verme süreçleri ve akıllı sistemlerin üretiminde daha aktif yer alması beklenmektedir (Erol, vd. 2016, s.13-18). Bu sayede gireceği her sektörün Endüstri 4.0 dan yıkıcı boyutta etkilenerek bilinen tüm üretim yönetimi, bilişim, yönetim sistemlerinde zorunlu değişiklikler getirmesi öngörülmüyor (Scwhab, 2017, s.7-12).



Şekil 2 . Endüstri 4.0 İşleyişi

Kaynak: Scwab, 2017

3.3 DÜNYA'DA ENDÜSTRİ 4.0

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 haritası ile Endüstri 4.0 yatırımlarına 200 milyon Euro ‘luk bütçe sanayi için ayrılmıştır. Pazarının en büyüğü olarak görülen ve hızla büyüyen ekonomisini gelecekte de ayakta tutmak isteyen 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.

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 adından çok fazla söz ettirmese de endüstri 4.0 ile ilgili ciddi çalışmalar gerçekleştirmektedir. Finlandiya’nın inovasyon ve teknoloji mali destek ajansı tarafından yürütülen Ar-Ge programı ve ayrıca farklı firmaları birbirine bağlayabilmek adına “Fin Endüstriyel Internet Forumu (FIIF)” bulunmaktadır (Arkan, 2018, s.546-556). Türkiye’nin endüstri devrimleri arasındaki konumunu tespit etmek ve atılması gereken adımları belirlemek amacıyla 2016 yılında TÜBİTAK’ın yapmış olduğu yol haritası çalışması, sanayimizin dijital olgunluk seviyesinin Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 arasında olduğunu göstermektedir.

3.4 ENDÜSTRİ 4.0 VE AKILLI ÜRETİM SİSTEMLERİ

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, 2017). 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, 2016, s.19-30).

4.METODOLOJİ VE VERİMLİLİK

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

Verimlilik hesaplamaları sonucu Endüstri 4.0 vizyonunun getirdiği verimlilik değerleri önceki üretim süreçlerine ait verimlilikler ile kıyaslanmış ve ortaya çıkan sonuçlar yorumlanmıştır. 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 oranlamasıyla elde edilen bir katsayıdır. Buna göre verimlilik göstergeleri üç grupta toplanmaktadır (Kayar, 2013);

- a. Toplam Verimlilik Oranı: Belirli bir dönemde elde edilen toplam üretimin (çıktının) bu üretim için kullanılan toplam girdiye oranıdır.

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

- b. Kısmi Verimlilik Oranı: Toplam çıktının ya da bir bölüm çıktının, ayrı ayrı her bir girdi türüne oranlanması ile elde edilir.

İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ:

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

HAMMADDE VERİMLİLİĞİ:

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

ALAN VERİMLİLİĞİ:



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

ENERJİ VERİMLİLİĞİ:

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

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. 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 incelenmiş ve tartışılmıştır.

Uygulama Tesisi Fabrika -1

Çalışmanın ilk aşaması üreticinin yüksek kapasiteli ısıtma cihazları üreten fabrikasında yapılmıştır. İşletmeye ait yüksek kapasiteli ısıtma cihazlar üreten fabrikası seçilerek Uygulama – 1 adı verilmiştir. Tesis Endüstri 4.0 'a geçiş için pilot uygulama merkezi olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. FABRİKA – 1 MEVCUT ÜRETİM VERİLERİ

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



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-1 Endüstri 4.0 Dönüşümü

Tablo 2. FABRİKA – 1 Endüstriyel Dönüşüm Yatırım Aksiyonları

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	YIL 10

Tablo-2'e 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-3'te bu düşüşün operatör maliyetlerine ne kadar etki ettiği gösterilmektedir. Endüstri 4.0'ın önemli noktalarından biri operatör sayısıdır çünkü gelişmiş sanayi toplumlarında operatör maliyetleri oldukça yüksek ve bu çalışmada yüksek maliyetli makine parkı yatırımı mı yoksa yüksek maliyetli de olsa operatör çalıştırmanın mı avantajlı olduğunu göreceğiz (Aktan, 2003). Tablo-3'de Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-1'e ait üretim verileri yer almaktadır:

Tablo 3. FABRİKA – 1 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri

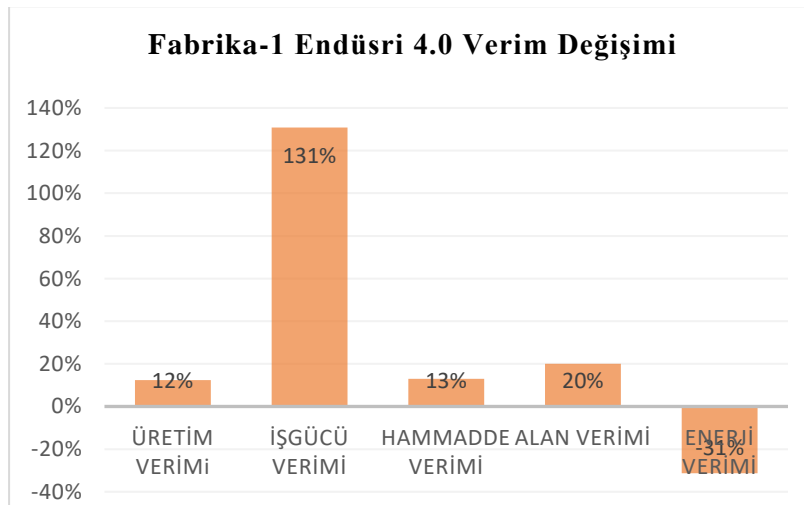


FABRİKA -1 ENDÜSTRİ 4.0	YILLIK
ADET ÜRETİM KAPASİTESİ	4.000 ADET
ÜRETİM ÇIKTISI DEĞERİ	€ 25.000.000
OPERATÖR GİDERİ	€ 1.300.000
ALAN KİRALAMA GİDERİ	€ 1.000.000
CİHAZ BEDELİ/10 YILLIK ÖMÜR	€ 400.000
BAKIM GİDERİ	€ 1.000.000
KRİTİK HAMMADDE GİDERİ	€ 1.770.000
SABİT DİĞER MALZEME GİDERİ	€ 5.300.000
ENERJİ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

Yukarıda verilen “Tablo-3“ incelediğinde operatör gideri ve üretim alanı maliyetlerde düşüş yer almaktadır. Bunun yanında kritik hammadde ve sabit malzeme giderlerinde az olsa düşüş görülmektedir. Yıllık işletme bakım ve enerji giderlerinin yükseldiği görülmektedir. Ancak yüksek yatırım bedeline rağmen en önemli hususların başında gelen birim maliyette de düşüş olduğu görülmektedir.

Fabrika-1 Endüstri 4.0 Verimlilik Analizi

Şekil 3. FABRİKA – 1 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişim Grafiği

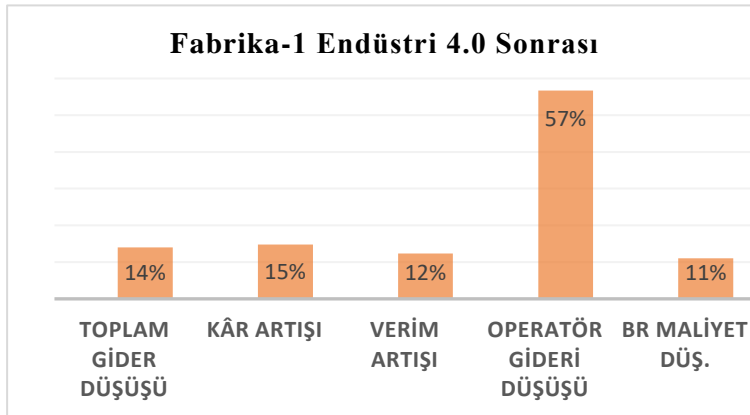




Yapılan verimlilik analizleri sonucu üretimdeki verimliliğin “%12,36” oranında arttığı görülmektedir. İşgücünde “%131” çok ciddi bir artış gözlenirken hammadde verimliliğinde artış yaşanmıştır ancak enerji verimliliğinde de beklenen bir düşme gözlenmektedir. Bunun yanında alan verimliliğinde de artış 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. Yukarı yer alan Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-1’de elde edilen sonuçların faydalarına ait “Şekil-3” te yer alan grafik incelendiğinde dönüşümün amacına ulaştığı açıkça 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.

Uygulama Tesisi Fabrika -2

Şekil 4. FABRİKA – 1 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Etki Grafiği



Çalışmanın ikinci aşaması üreticinin orta kapasiteli ısıtma cihaz 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. Tesis, Endüstri 4.0’ a geçiş için son derece önemli ve kritik bir noktadır çünkü yıllık üretim kapasitesi çok daha yüksek olup, ortaya çıkacak her sonuç işletmeyi ciddi oranda etkileyecek kapasitededir.

Tablo 4. FABRİKA – 2 DÖNÜŞÜM ÖNCESİ ÜRETİM VERİLERİ

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

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. 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-2 Endüstri 4.0 Dönüşümü

Tablo 5. FABRİKA – 2 Endüstriyel Dönüşüm Yatırım Aksiyonları

OPERATÖR SAYISI	%35 AZALTILDI
CİHAZ/MAKİNE PARKI YATIRIMI (10 YIL)	€ 18.000.000
DİJİTAL 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



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-5’de bu düşüşün operatör maliyetlerine ne kadar etki ettiği gösterilmektedir. Tablo-6’da Endüstri 4.0 dönüşümü sonrası Fabrika-2’e ait üretim verileri yer almaktadır.

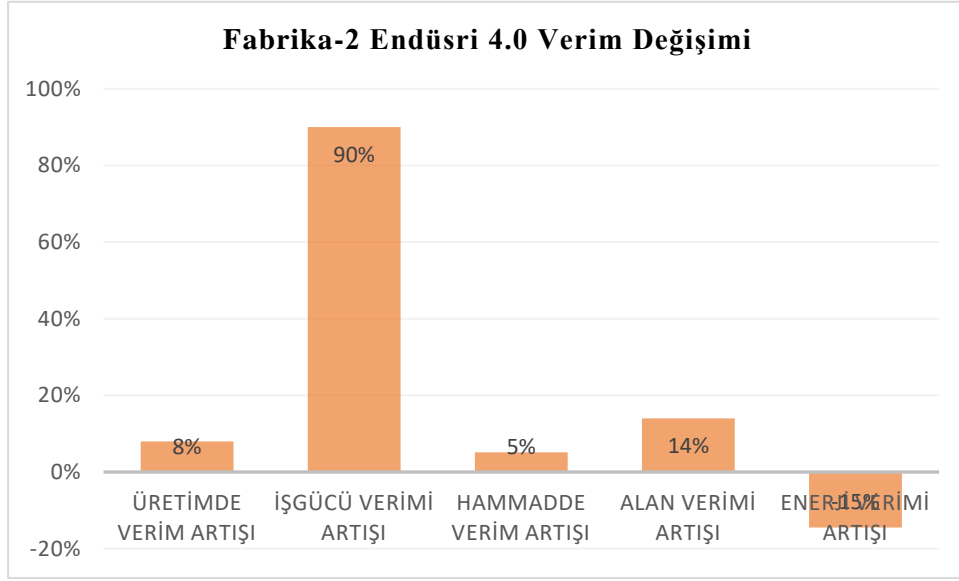
Tablo 6. FABRİKA – 2 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri

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

Yukarıda verilen “Tablo-6“ 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. Ancak yüksek yatırım işletme bedeline rağmen en önemli hususların ve hedeflerin başında gelen birim maliyette de Fabrika-1’deki dönüşümde olduğu gibi düşüş meydana gelmiştir.

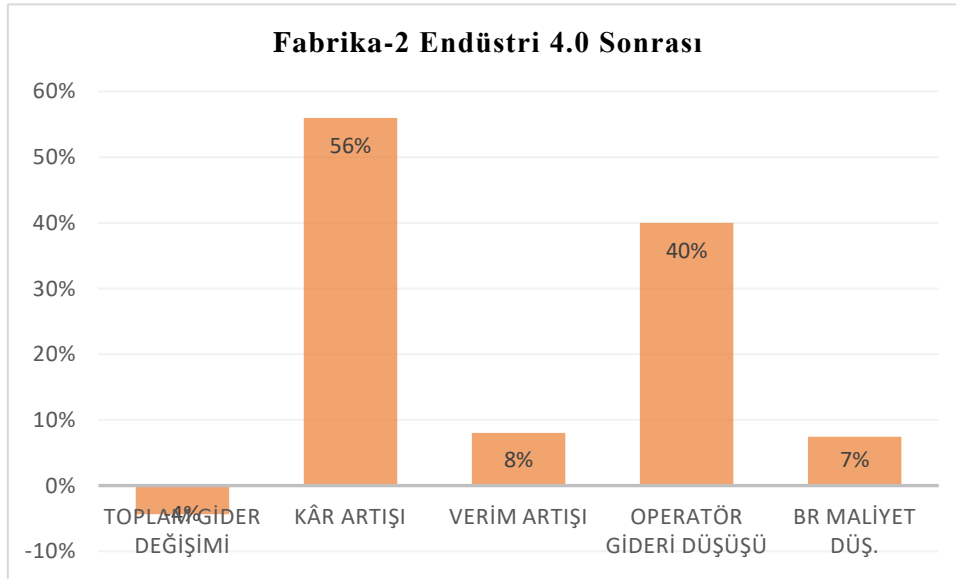
Fabrika-2 Endüstri 4.0 Verimlilik Analizi

Şekil 5. FABRİKA – 2 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişimi



Fabrika-2'nin endüstriyel dönüşüm sonrası verimlilik analizleri üretimdeki verimliliğin “%8,01” oranında arttığı görülmektedir. Aynı şekilde Fabrika-1’de olduğu gibi özellikle işgücünde “%90” gibi çok önemli bir artış ve hammadde verimliliğinde de artış gözlenmektedir. Ancak enerji verimindeki düşüşün bu dönüşümün getirdiği üretim verimliliğine engel teşkil etmediği görülmektedir.

Şekil 6. FABRİKA – 2 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Etki Grafiği



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.

Uygulama Tesisi Fabrika -3

Çalışmanın üçüncü aşaması üreticinin pazarda lider konumda olduğu ısıtma cihazları üreten fabrikasında yapılmıştır. 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.

Tablo 7. FABRİKA -3 DÖNÜŞÜM ÖNCESİ ÜRETİM VERİLERİ

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

Tesisin üretim verilerini incelediğimizde aynı ilk iki incelenen tesiste de olduğu gibi sabit malzeme giderlerinin ve operatör maliyetlerinin yüksekliği göze çarpmaktadır. 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 artırımı da hedeflenmektedir.

Fabrika-3 Endüstri 4.0 Dönüşümü

Tablo 8. FABRİKA – 3 Endüstriyel Dönüşüm Yatırım Aksiyonları



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

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-9'da bu düşüşün operatör maliyetlerine ne kadar etki ettiği gösterilmektedir.

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.

Tablo 9. FABRİKA – 3 Endüstriyel Dönüşüm Sonrası Üretim Verileri

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

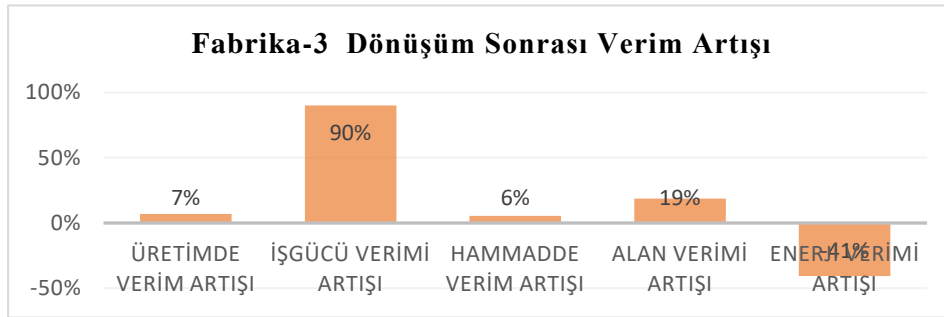


BİRİM MALİYET	€ 43
---------------	------

Yukarıda verilen “Tablo-9“ incelediğinde yüksek oranda operatör maliyetinde düşüş gözlenirken, kritik hammadde ve sabit malzeme giderlerinde az olsa düşüş görülmektedir. Fabrika-2 uygulamasında olduğu gibi kapasite artırımına gitmesine rağmen fabrika üretim alanında herhangi bir değişiklik yaşanmaması dikkate alınması gereken bir noktadır. Ancak en önemli hususların ve hedeflerin başında gelen birim maliyette de Fabrika-1’deki dönüşümde olduğu gibi düşüş meydana gelmiştir.

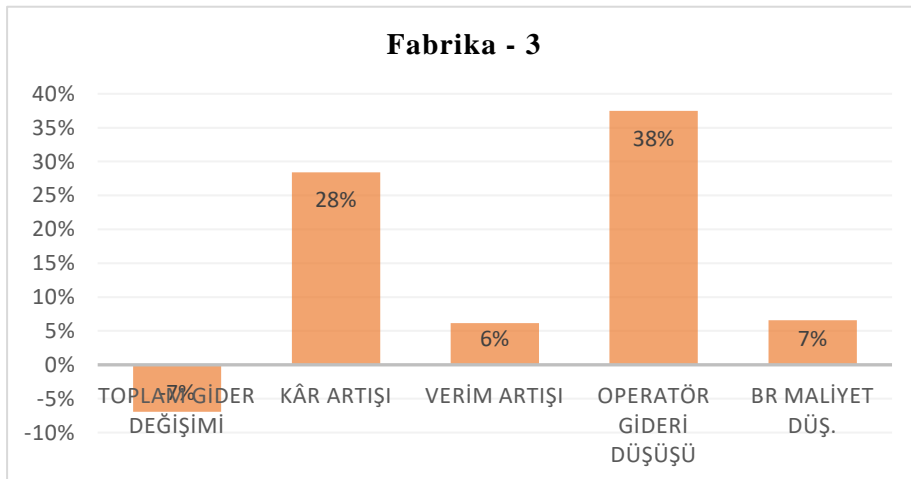
Fabrika-3 Endüstri 4.0 Verimlilik Analizi

Şekil 7. FABRİKA – 3 Endüstri 4.0 Dönüşümü Sonrası Verim Değişim Grafiği



Fabrika-3’ün 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. Ancak enerji verimindeki düşüşün bu dönüşümün getirdiği üretim verimliliğine engel teşkil etmediği görülmektedir.

Şekil 8. 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-8” 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.

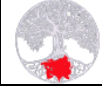
5.SONUÇ

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 tolere 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.

REFERENCES

- Alçın, S. (2016) “Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0”, Journal of Life Economics, 8, 19-30.
- Arkan, Y.(2018). “Endüstri 4.0 Dönüşümünün Üretim Maliyetlerine Etkisi Üzerine Bir vaka Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Muhasebe ve Finansman Bölümü, İstanbul.
- Bartodziej, C. (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.
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott K. & Sihm, W. (2016). "Tangible Industry 4.0: A Scenariobased Approach To Learning For The Future of Production", *Procedia CIRP*, 54, 13-18.
 - Günay, D. (2002). "Sanayi ve Sanayi Tarihi" *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 31 (2002): 8-14, İstanbul.
 - Günther S. Till P., Cathrin W., Anja R. W., Jan-Philipp (2014) "Collaboration Mechanisms To Increase Productivity in the Context of Industrie 4.0", *Prote Robust Manufacturing Conference (RoMaC 2014)*.
 - Kılıç, S. ve Alkan, R. M. (2018) "Dördüncü Sanayi Devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye Değerlendirmeleri", *Girişimcilik, İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2 (3),29-49.
 - Kıymaz, C. (2016) "Bilişim Teknolojilerinin Perakende Mağazacılık Sektörüne Yansımaları: Muhasebe Departmanlarında Endüstri 4.0 Etkisi", *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, CİEP Özel Sayısı*, 107-117.
 - Küçükkalay, M. (1997). "Endüstri Devrimi ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi" *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.*, 2: 51-68
 - Lu, Y. (2017). "Industry 4.0: A Survey On Technologies, Applications and Open Research Issues", *Journal of Industrial Information Integration*.
 - Mrugalska, B. & Wyrwicka, M. (2017) "Towards Lean Production in Industry 4.0", *Procedia Engineering*, vol. 182, 2017: 466- 473.
 - Qin, J., Liu, Y. & Grosvenor, R.,(2016). "A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond", *Procedia CIRP*, 52 (2):173-178.
 - Sander O. & Armaoğlu F. (2010). "Siyasi Tarih 1918-1994". İstanbul: İmge
 - Sayer, S. & Aydın Ü. (2014) "Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi", *Mühendis ve Makina*, (55) 657, :65-72.
 - Schumacher, A., Erol, S. & Sihm, W. (2016). "A Maturity Model For Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises", *Procedia CIRP*, 52, (2016): 161-166.
 - Scwab, K. (2017). "Fourth industrial Revolution". New York: Penguin Group, 7-12.
 - Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T. S. (2013) "Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0", *Fraunhofer Verlag*: 150.
 - Trappey, A., Trappey C., U. H. Govindarajan, A. C. Chuang & Sun J. J. (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, K. (2017), "Internet of things, big data, industry 4.0–innovative solutions in logistics and supply chains management", *Procedia Engineering*, 182, 763-769.