

## ÜRETİM SİSTEMLERİNDEKİ DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN İŞ ETÜDÜ TEKNİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Aylin ADEM<sup>1</sup>, Burcu YILMAZ KAYA<sup>2</sup>, Erman ÇAKIT<sup>3</sup>, Metin DAĞDEVİREN<sup>4</sup>

### ÖZET

**Amaç:** Endüstri 4.0 ile hızlı bir dijitalleşme süreci emek yoğun işletmeler le birlikte tüm işletmeler için kaçınılmaz olmuştur. Öte yandan geleneksel iş etüdü teknikleri verimlilik ölçüm ve izlemede oldukça kritik bir role sahiptir. Bu çalışmada iş etüdü tekniklerinin dijitalleşme sürecindeki rolü ve değişimine yönelik bir araştırma ve değerlendirme yapılması amaçlanmıştır.

**Yöntem:** İlgili değerlendirmeyi yapmak için ele alınan tekniklere ilişkin kapsamlı literatür araştırması ve gerçek dünya örneklerinin incelenmesi şeklinde bir yol izlenmiştir.

**Bulgular:** Dijitalleşen iş süreçleri karşısında iş etüdü tekniklerinin gösterdiği tepki incelendiğinde, geleneksel tekniklerinin bu dönüşüm sürecine büyük oranda adapte olduğu söylenebilir. Endüstri devriminde işletmelerin dijitalleşmesinde kritik rol oynayan yapay zekâ tekniklerinin iş ölçümü tekniklerindeki dijitalleşmeyi de tetiklediği görülmektedir. Dahası, geleneksel iş etüdü tekniklerinin, işletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş süreçlerinde ortaya çıkan ihtiyaçlarına yapay zekâ ve Endüstri 4.0 ile birlikte gelen diğer dijital teknikler ile bütünleşerek uyum sağladığı görülmektedir.

**Özgünlük:** Üretim ortamlarındaki dijital dönüşüm süreçlerinin geleneksel iş etüdü teknikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi, değişimin analiz edilmesi, bununla birlikte ilgili tekniklere yönelik bir gelecek projeksiyonunun sunulması bu çalışmayı özgün kılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İş Etüdü, Endüstri 4.0, Dijital Dönüşüm, Yapay Zekâ, Süreç Yönetimi.

**JEL Kodları:** M1, O32, D24, J24.

## THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION IN MANUFACTURING SYSTEMS ON WORK-STUDY TECHNIQUES

### ABSTRACT

**Purpose:** With Industry 4.0, a rapid digitalization process has become inevitable for all businesses, including labor-intensive ones. On the other hand, traditional work-study techniques have a critical role in productivity measurement and monitoring. In this study, it is aimed that a research and evaluation study is conducted on the new role of work-study techniques in this digitalization process.

**Methodology:** In order to make this evaluation, a way of comprehensive literature survey and examination of real-world examples of handled techniques were followed.

**Findings:** When the response of work study techniques to digitalized business processes is examined, it is possible to say that traditional techniques have largely adapted to this process. It is seen that artificial intelligence techniques, play a critical role in the digitalization of businesses in the industrial revolution, also trigger the digitalization of work measurement techniques. In addition, it is seen that traditional work study techniques adapt to the changing needs of enterprises that arise during the transition to Industry 4.0 by integrating with artificial intelligence and other digital opportunities that come with Industry 4.0.

**Originality:** Examining the effect of digital transformation processes in production environments on traditional work-study techniques, analyzing the change, and besides this presenting a future projection for the related techniques make this study original.

**Keywords:** Work Study, Industry 4.0, Digital Transformation, Artificial Intelligence, Process Management.

**JEL Codes:** M1, O32, D24, J24.

<sup>1</sup> Öğr.Gör.Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, aylinadem@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4820-6684 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

<sup>2</sup> Dr.Öğretim Üyesi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, burcuyilmaz@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5088-5842.

<sup>3</sup> Doç. Dr, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ecakit@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0974-5941.

<sup>4</sup> Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, metindag@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2121-5978.

## 1.GİRİŞ

Rekabetin her geçen gün daha da artması işletmeler özelinde her türlü kaynağın en verimli şekilde kullanılmasını bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu zorunluluk; verimlilik ölçümlerinin, alınması gereken önlemlerin ve atılması gereken adımların işletmelerde daha da ciddiye alınmasına neden olmuştur. Öte yandan sürekli bir gelişim gösteren teknolojinin de etkisiyle üretim ortamlarında gerek üretim teknolojileri ve kalite kontrol faaliyetleri, gerekse de işletme içindeki organizasyonel ve operasyonel faaliyetlerde önemli değişimler yaşanmıştır. Bu değişimlerin yaşandığı her alanda değişimi yakalamak isteyen işletmeler için verimliliğin ölçülmesi ve izlenmesi de zorunlu hale gelmiştir.

Üretime ait herhangi bir olgunun etkin bir biçimde yönetilebilmesi için, ilgili olgunun ölçülmesi ve sayısal değerlerle ifade edilmesi gerekir. Tipik bir üretim ortamında -emek yoğun bir üretim ortamında- üretim faktörlerine ilişkin verimlilik kalemlerinin (iş gücü verimliliği, makina verimliliği vb.) ölçümü için izlenebilecek birden çok teknik bulunmaktadır (Prokopenko, 2001;47). Ancak ölçülen bu verimlilik değerlerinin anlamlı olması ve dönemsel bazda karşılaştırılabilir olması için üretim ortamında standart bir iş akışının elde edilmiş olması gerekir. Bu noktada Frederic Taylor tarafından ilk kez bilimsel metotların uygulandığı iş etüdü çalışmaları devreye girer. İş etüdü en genel olarak; üretim faktörleri (insan, makine, malzeme, sermaye ve yönetim) arasındaki tüm etkileşimleri verimliliğe dönüştürmeyi hedefleyen, işi yapmanın yeni ve ekonomik yollarını bularak kaliteyi artıran sistematik iş ölçüm teknikleri olarak tanımlanabilir (Kurt ve Dağdeviren, 2020;3). İş etüdü çalışmalarıyla bir işi yapmanın en ekonomik yolunu bulmak, üretime, sürece ya da ürüne doğrudan katkı sağlamayan tüm gereksiz faaliyetleri elimine etmek, üretimde kullanılan her türlü kaynağın kullanım etkinliğinin artırılması ve eğitilmiş bir çalışanın bir işi yapmasının standart zamanını tespit etmek gibi birçoğu doğrudan verimlilikle ilgili olan sonuçların hedeflendiği bilinmektedir (Kurt ve Dağdeviren, 2020; 6).

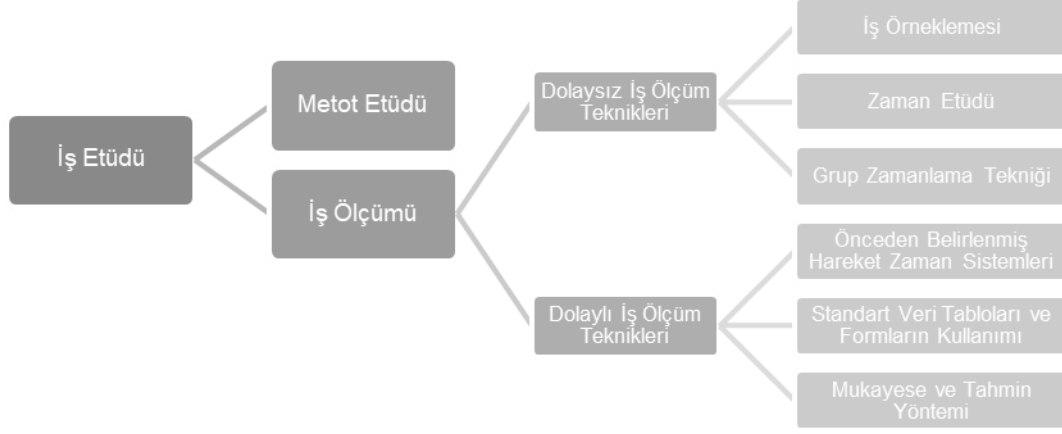
Bu çalışma kapsamında verimlilik kavramı ile iç içe olan iş etüdü çalışmalarının üretim ortamlarında teknolojik gelişmeler ve endüstriyel devrimlerin de etkisiyle yeni konununun ne olduğu/olacağı, iş etüdü çalışmalarının teknolojik gelişmelerden nasıl etkilendiği, gösterdiği değişimin üretim ortamlarının ihtiyacını karşılayıp karşılamadığı gibi sorulara yanıt aranmıştır. Literatürde konu ile ilgili yer alan az sayıdaki çalışmalarda, dijitalleşen iş etüdü tekniklerinin uygulamalarına işletme ve sektör özelinde yer verildiği görülmektedir (Westbrook ve Ampt, 2009; Ghafoorpoor Yazdi ve diğerleri, 2018; Ghafoorpoor Yazdi ve diğerleri, 2019; Wierschem ve diğerleri, 2020). Bu çalışma kapsamında ele alınan konu özelinde literatürde daha önce yapılmış bir çalışma yoktur ve bu durum makalenin özgün yönünü oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında aranan yanıtları bulmak için izlenen yol şu şekilde ifade edilebilir; çalışmanın ikinci bölümünde, iş etüdü çalışmalarında kullanılan tekniklere ilişkin detaylar ve bu tekniklerin dijital dönüşüm sürecindeki değişimine yönelik bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, buharlı makinelerin icadı ile başlayan Sanayi Devrimi'nin Endüstri 4.0'a doğru evrimleşmesi sırasındaki kademeli geçişi ve bu kademeli gelişim içinde dijitalleşen iş etüdü tekniklerinin yeri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümünde, Endüstri 4.0'ın ortaya çıkardığı bir olgu olarak da ifade edebileceğimiz yapay zekâ tekniklerinin iş etüdü çalışmalarının dijitalleşmesi üzerindeki rolü incelenmiş ve bu amaçla yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümünde ise çalışma boyunca verilen bilgiler ışığında dijital dönüşüm ve iş etüdü çalışmalarının bu dönüşümdeki yeterliliği hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. İŞ ETÜDÜ TEKNİKLERİ

İş etüdü çalışmaları metot etüdü ve iş ölçümü olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir (Kurt ve Dağdeviren, 2020,17). Metot etüdü ile bir işin yapılması sırasındaki gereksiz iş elemanları ortadan kaldırılarak gerekli iş elemanlarını yapmanın en kolay ve en hızlı yolu bulunmaya çalışılır (Kurt ve Dağdeviren,2020,18). Metot etüdü ile tüm çalışanlar tarafından izlenecek standart iş adımlarının oluşturulması hedeflenir. Aslında standartlaştırılmış bir sürecin elde edilmesi metot etüdü'nün çıktılarında biri olarak da ifade edilebilir. Wierschem ve diğerleri, (2020) yaptıkları çalışmada tekrarlı hareketlerin yapıldığı işletmelerde hareket etüdü çalışmaları için hareket yakalama tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri insan hareketi analiz sistemi, imalat işçileri ve malzeme taşıma işçileri tarafından gerçekleştirilen tekrarlayan fiziksel hareketlerden veri toplamak, dönüştürmek, depolamak ve analiz etmek için hareket yakalama teknolojisini kullanmaktadır. Sistem, istatistiksel süreç kontrolü ve veri analitiği tekniklerini kullanmakta ve tekrarlayan hareket kalıplarını ve bu kalıplardan istatistiksel olarak anlamlı sapmaları belirleme yeteneğine sahiptir. Bu çalışma, iş etüdü çalışmalarında standart zaman hesaplama aşamasının bir önceki kritik aşaması olan hareket-metot etüdü için dijitalleşme ve bilgisayar destekli programların kullanımına bir örnek olarak verilebilir. Endüstri 4.0'a işletmelerin hazır olup olmadıklarının belirlenmesi ve bu konuda ön hazırlıkların yapılması aşamalarında sıkça iş etüdü çalışmalarına başvurulduğu da bilinmektedir (Ghafoorpoor Yazdi ve diğerleri, 2018; Ghafoorpoor Yazdi ve diğerleri, 2019).

Standartlaştırılmış iş üzerinde bir takım süre ölçümleri ile istatistiksel analizler yapılması ve özellikle üretimdeki verimliliğin ölçülebilir ve izlenebilirliğinin sağlanabilmesine olanak sağlayan çalışmalar iş ölçüm çalışmaları olarak adlandırılır. İş ölçüm çalışmaları için temel bir sınıflandırma şu şekilde yapılabilir: a) Dolaylı iş ölçüm teknikleri (Önceden belirlenmiş hareket zaman sistemleri), b) Dolaysız iş ölçüm teknikleri (Zaman etüdü, İş örnekleme) (Şekil-1).



**Şekil 1. İş etüdü tekniklerinin sınıflandırılması**

Bu tekniklerden zaman etüdü belirli koşullar altında belirli bir işin öğelerinin zamanını ve derecesini kaydederek, toplanan verileri çözümleyerek, bu işin tanımlanan bir performans düzeyinde yapılabilmesi için gereken zamanı saptamakta kullanılan bir iş ölçme tekniğidir.

Klasik bir zaman uygulamasında bir iş etütçüsünün bir zaman ölçer ile çalışanın işi yapması sırasında doğrudan onu izlemesi ve ölçümleri kaydetmesi gerekir. Belli parçalara ayrılan işin her ögesi için belirli bir istatistiki doğruluğu sağlayacak sayıda ölçüm alınması gerekir. Ölçümler kaydedildikten sonra işin normal zamanı ve normal zaman üzerine dağılım ve dinlenme zaman paylarının eklenmesiyle standart zaman hesaplanır. Westbrook ve Ampt'in (2009) yaptıkları çalışma, iş ölçümünde özellikle veri toplama aşamasında insan emeği yerine kişisel cep bilgisayarlarından faydalanılması nedeni ile dijitalleşen iş ölçümü uygulamalarına iyi bir örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada iş ölçümünde, çok karmaşık işlemler için bile veri toplamayı verimli, doğru ve güvenilir bir zeminde gerçekleştirmek için elektronik veri toplama aracının kullanımını içeren gözlemsel bir yöntemin tasarlanması amaçlanmış ve klinisyenlerin iş görevlerinin birçok boyutunu (Hangi görev kiminle, nasıl yapılıyor? Paralel görev yapılıyor mu? İşi yaparken kesintiler nasıl oluyor? Toplam görev süresi nedir?, vb.) yakalayan kişisel dijital asistanlar için gözlemsel bir yöntem ve yazılım geliştirmişlerdir. Windows Mobile 2003 çalıştıran bir HP iPAQ rx3000 cep bilgisayarı kullanılarak bir iş ölçümü veri toplama aracı tasarlanmış ve 15-20 hafta süresince hemşireler üzerinde ölçümler alınarak, elde edilen verilerin istatistiki geçerliliği test edilmiştir.

Yine dolaysız ölçüm tekniklerinden birisi olan iş örnekleme daha önceden belirlenmiş akış türlerinin sıklıklarının rassal olarak gözlemlenmesine dayanır (Kurt ve Dağdeviren 2020,105). İş örnekleme tekniğinin temeli istatistiğe dayanır. İstatistiksel olarak güvenilir ve anlamlı sonuçlar elde edebilmek için yapılacak iş örnekleme çalışmalarının uzun bir periyodu kapsayacak şekilde planlanması gerekir. Tıpkı zaman etüdü çalışmalarındaki gibi istenilen güven derecesine göre yapılacak gözlem sayısı, iş örnekleme tekniğinde de değişkenlik gösterir. Önceden belirlenen akış türlerine örnek olarak tezgâh çalışıyor ya da çalışmıyor, personel çalışıyor ya da çalışmıyor gibi örnekler verilebilir. İş örnekleme ile elde edilen bilgiye dayanarak da standart zaman hesaplaması yapmak mümkündür. Ancak iş örnekleme performans dereceleri hakkında bilgi vermez.

Dolaylı iş ölçüm teknikleri grubuna dâhil olan tekniklerden biri olan önceden belirlenmiş hareket zaman sistemleri sentetik zaman sistemleri olarak da bilinir (Kurt ve Dağdeviren, 2020,117). Bu sistemlerde belirli bir işlemi inceleyerek tıpkı zaman etüdünde olduğu gibi işlemi oluşturan iş öğeleri ve temel hareketler belirlenerek, bu hareketlere ilişkin süreleri standart tablolardan okumak ve işlemin tümü için standart zamanı hesaplamak mümkündür. İşlemlere ilişkin temel hareketlere örnek olarak Method Time Measurement-Metot Zaman Ölçümü sisteminde yer alan uzanma, kavrama ve yerleştirme gibi örnekler verilebilir. Bu teknik için işlemler otomatik kamera sistemleri ile kaydedilerek elde edilen görüntüler yapay zekâ teknikleri ve görüntü işleme tekniklerinin bütünleşik kullanımı ile yeni bir bilgisayar destekli sentetik zaman sistemi oluşturulabilir.

Literatürde yer alan akademik çalışmaların yanı sıra, ticari yazılımlar ile iş ölçümü çalışmalarını dijitalleştiren teknoloji şirketleri de bulunmaktadır. Özellikle, üretim ortamındaki süre ölçüm verilerinin depolanması, veri kayıtlarının iş gücünden bağımsız tutulması ve bilgisayar programları yardımı ile işlere ilişkin standart zamanların hesaplanmasına imkân sağlayan yazılımlar mevcuttur.

### 3. ENDÜSTRİNİN GELİŞİMİ ve DİJİTALLEŞEN İŞ ETÜDÜ TEKNİKLERİNİN BU GELİŞİMDEKİ YERİ

Endüstri 4.0 yeni bir kavram olarak tüm iş zinciri için yeni organizasyon ve yönetim operasyonları oluşturmuş, sürekli değişkenlik gösteren üretim parametreleri ve çeşitli itici güçler doğrultusunda dalgalanan talep yapısına çevik ve etkin şekilde uyum sağlayabilecek sanayileşme uygulamaları, yeni üretim yöntemleri, analiz ve ölçüm teknikleri ile işletmeler için her anlamda bir değişim dalgası haline gelmiştir (Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2019a).

Sanayinin 18. yüzyıl sonlarında başlayarak günümüze dek sürdürdüğü sürekli gelişim, bilim ve teknolojinin etkisi ile birbirini takip eden evreler çerçevesinde incelenebilmektedir. Sanayi devrimleri bilim ve teknolojideki gelişmelerin yalnızca sanayileşme düzeyindeki etkilerini değil bu gelişmelerin ekonomik ve sosyal sistemler, iş gerekleri ve operasyonlar, iş piyasası ve iş gücü kalifikasyonu seviyeleri üzerindeki etkilerini de temsil etmektedir.

Sanayi Devrimi'nin ilk evresinde küçük işletmelerin büyük fabrikalara dönüştürülmesiyle makinelerle donatılmış büyük fabrikalar oluşturulmuş (Dombrowski ve Wagner, 2014), ikinci sanayi devrimi evresinde ise elektriğin kullanılması ile kimya, petrol, plastik ve çelik sanayileri güçlenmiş, üretimde montaj hattı üretim bandı gibi üretim modellerine geçiş yapılmasıyla sanayileşme seviyeleri ve iş yapıları temelden değişmiştir (Tunzelmann, 2003). Üçüncü sanayi devrimi evresi ise iki dünya savaşı sonrasındaki ihtiyaç ve teknolojik gelişmeler üzerine temellerini atarak bilgi ve iletişim teknolojileri, biyoinformatik ve nanoteknoloji gibi alanlarında gelişmeleri tetiklemiştir (Dombrowski ve Wagner, 2014; Tunzelmann, 2003). İlk üç sanayi devrimi evresinin bazı belirleyici özellikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de özetlenmektedir.

**Tablo 1. İlk üç sanayi devrimi evresinin karşılaştırmalı analizi (Tunzelmann, 2003).**

Parametreler	Endüstri 1.0	Endüstri 2.0	Endüstri 3.0
Yer	<i>Birleşik Krallık</i>	Amerika Birleşik Devletleri	Japonya
Teknoloji	Makinele	Petrokimya	Bilgi ve iletişim teknolojileri
Enerji	Su, Buhar	Elektrik, Petrol	Nükleer, Yenilenebilir
Malzeme	Demir	Çelik, Plastik	Silikon, Akıllı malzemeler
Süreç	Emek yoğun	Sermaye yoğun	Bilgi yoğun
Ölçekler	Küçük	Büyük	Küçük, Büyük
Avantajlar	Uzmanlaşma	İç bütünleşme	Dış bütünleşme
Sanayi yapısı	Rekabetçi	Oligopolistik	Karma

Endüstri 4.0 evresi ise, nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT), siber-fiziksel sistemler, bulut teknolojileri, üç boyutlu (3 Dimensional-3D) tasarım ve akıllı fabrikalar gibi ileri teknolojilerin keşfi ve sanayide yaygın olarak uygulanmaya başlamasıyla geçilen evredir (Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2019b). Her bir sanayileşme evresi kendi itici güçleri ve iş yapıları ile verimlilik optimizasyonu için farklı iş etüdü tekniklerinin geliştirilmesini gerektirmiştir.

#### 3.1. Endüstri 1.0

1765'te James Watt'ın atmosferik buhar makinasını ticari olarak kullanılacak düzeyde geliştirmesi ile İngiltere'de başlayan Endüstri 1.0 evresi, kısa süre içerisinde Avrupa ve ABD'de görülen yeni Sanayi Devrimi uygulamaları ile sanayileşme, üretim organizasyonu ve süreç analizlerinin tanımlandığı dönemdir. Sanayi Devrimi öncesinde üretim, basit aletlerle ve insan ya da hayvan gücü yani kas gücü ile gerçekleştirilmekteydi (Günay, 2002). Endüstri 1.0 evresi ile el zanaatları ve atölye tarzı üretim, insan ve hayvan gücüne/enerjisine dayalı üretimin yerini su ve buhar gücüyle çalışan mekanik tezgâhların almasıyla, makineleşmiş endüstri haline gelmiş ve bu sayede kitle üretimi doğmuştur (Aksoy, 2017; Pamuk ve Soysal, 2018). Buhar makinasının geliştirilmesi ve tekstil sanayiinde uygulanmasına giden süreç İngiltere'de bir işçi olan John Kay'ın, 1733'te icat ettiği 'uçan mekik' adı verilen düzenek dokuma makinelerinin bulunmasıyla dokuma hızının ve iplik ihtiyacının artması ile başlamıştır. 1766'da çoklu iplik eğirme makinasının, 1769'da su gücüyle çalışan eğirme tezgâhının, 1779'da 'eğirme katırı' denen bir eğirme makinasının icadı ile ham madde olan dokuma ipliği üretim hızı artırılmış ve 1785'de Edmund Cartwright'ın su gücüyle çalışan mekanik dokuma tezgâhını tanıtması ile dokuma sanayi hızla gelişmeye başlamıştır (Günay, 2002). 1802 yılında Trevitchik yüksek basınçlı buhar makinasını geliştirerek su ve buhar gücünün sanayide kullanımında fosil yakıtlardan faydalanmıştır. Bu teknoloji sanayi üretiminin yanı sıra gemi ve trenlerde de kullanılmış, bu sayede fosil yakıtlardan kimyasal enerji dönüştürülerek elde edilen mekanik enerji, hem üretim hem

ulaşımda kas gücünün yerine geçmiş, özellikle tekstil ve demir sanayiinde büyük atılımlar yaşanmış, çok miktarda ve kaliteli ham maddeye ulaşma imkânları doğmuş, tedarik süreleri kısalmıştır. Bu durum doğal kaynakların yanı sıra parasal sermaye, ham madde, donanım ve emek kaynaklarını başlıca üretim faktörleri haline getirmiştir (TÜSİAD, 1994: 29-31). Makine ve teçhizatın sermayenin asli ürünü haline gelmesi ve kitle üretim ile atölyelerden çıkarak fabrikalarda çalışmaya başlayan işçiler verimlilik olgusunu doğurmuş, kâr maksimizasyonu için var olan donanımların var olan iş gücü tarafından verimli kullanılmasını sağlamak sanayinin ana hedefi haline gelmiştir. İşçilerin atölyelerden çıkarak fabrikalarda toplanmaları ile iş bölümü ve uzmanlaşma uygulamalarının temelleri atılmaya başlanmış, sanayide verimlilik ve iyileştirme çalışmalarının araştırılması için gereken zemin oluşmuştur. Fabrika üretim sisteminin ortaya çıktığı 19. ve 20. yüzyıllarda sermayenin üretimi ve insanları yönetmesi için birçok zorluk oluşmuş ve daha önce karşılaşılmamış olan bu süreçle birlikte çeşitli Klasik Yönetim Teorilerinin temelleri atılmaya başlanmıştır.

### 3.2. Endüstri 2.0

İkinci Sanayi Devrimi'nde endüstriyel faaliyetlerde kullanılan enerji kaynağı geleneksel buhar gücünden petrol ve elektriğe dayalı enerji kaynaklarına doğru değişim göstermiştir (Kılıç ve Alkan, 2018). En büyük kömür kullanıcısı endüstrilerden biri olan demir ve çelik sanayisinde ham çelik üretimi için 1856'da İngiltere'de, 1867'de ise Almanya'da yeni prosesler önerilmiştir. Önerilen her iki proseste de ortaya çıkan demir filizindeki yüksek kükürt oranı probleminin 1879'da çözülmesi ile çelik üretimi uygulamalarında büyük bir gelişme sağlanmıştır (Günay, 2002). Enerji kaynağı olarak elektrik ve petrolün kullanılması üretimde daha yüksek bir hıza ulaşılmasını sağlamıştır. Bu durum kitle üretimini etkilemiş, Henry Ford yeni enerji türü elektriği üretimde kullanarak hareketli akış bantlarını fabrikalarında kullanmaya başlamış ve seri üretime geçişte önemli bir rol oynamıştır (Alizon ve diğerleri, 2009).

Sanayide kullanılan enerji kaynaklarının değişmesi ve teknoloji seviyesindeki ilerleme iş gücü optimizasyonu ve verimlilik çalışmalarını da etkilemiştir. İş bölümü ve uzmanlaşmanın yaygın olarak uygulanması Klasik Yönetim Teorileri olarak adlandırılan çeşitli yönetim öngörülerini oluşturmuştur.

Klasik Yönetim Teorilerinde, işçilerin davranışları makine gibi tahmin edilmiş, bir işçi öngörülmüş olan standarda göre çalışıyorsa performansı kabul edilebilir olarak görülmüştür (Mahmood ve Basharad, 2012). Frederick W. Taylor, Harton Emerson, Henry L. Gantt, Frank ve Lillian Gilbreth işçi performansını, çalışan verimliliğini ve etkinliğini artırabilen yöntemlere yoğunlaşan bir bilimsel yönetim olarak kodlamışlar, somut teşviklerin yanı sıra iş bölümü, çalışanların eğitimi ve uzmanlık konularına yoğunlaşmışlardır (Kitana, 2016; Ekinci, 2019).

Taylor 1911 yılında geliştirdiği Bilimsel Yönetim Teorisi temelinde üretim hattı zaman çalışmalarına dayanarak her işi ve bileşenlerini, bir işin kalite kaybı olmadan mümkün olan en iyi sürede gerçekleştirilebilmesi için bölümlere ayırmış, mevcut makine ve teçhizat ile atanmış görevi yapmak için gerekli işveren sayısını hesaplamış, zaman etüdü çalışmalarının ilk uygulayıcısı olmuştur. Taylor geliştirdiği kronometraj zaman etüdü deneyi ile kürek büyüklüğü, süre, mola sayısı ve çalışma süresi parametrelerini değiştirerek kömür işçilerinin verimliliğinde ciddi bir artış elde etmiştir (Meyers ve Stewart, 2002: 26-28). Bu çalışmalar bilinen zaman etüdü çalışmalarının ilk uygulamaları olma özelliği taşımaktadır. 1907'de Frank ve Lillian Gilbreth, Taylor sistemini izleyerek "zaman" yerine "harekete" odaklanmışlar, hareket ve mikro-hareket çalışmalarına yön vermişlerdir. Metod etüdü ve hareket çalışmalarında siklograf, kronosiklograf, hareket kameraları, akış diyagramlarını kullanmışlar, yorgunluk, monotonluk, iş basitleştirme ve beceri geliştirme konularını incelemişlerdir (Meyers ve Stewart, 2002: 29-31). İnşaat işçileri üzerinde gerçekleştirdikleri deneyde işçilerin verimliliklerini tuğla döşeme işini basitleştirerek artırmışlar, verimsiz hareketleri ortadan kaldırmışlar, işi daha az hareket ile yapmanın yollarını bulmuşlardır (Ekinci, 2019). Zaman ve hareket etüdü ile işletmelerin genel verimliliğine doğrudan katkı sağlamanın temelleri ikinci sanayi devriminden beri hayatımızda yer edinmiştir.

H. L. Gantt'ın çalışmaları da Taylor'un yanı sıra, zaman ve hareket etüdü çalışmalarında öncü olmuştur. Gantt, görev ve ödül sistemlerini oluşturmuş, yüksek performans için ödül sunan iyileştirilebilir ücret sistemini savunmuş, işe uygun işçi seçimi, çalışan eğitimi ve motivasyon seviyeleri üzerinde durmuştur. Birinci Dünya Savaşı esnasında iş çizelgeleme çalışmaları için bir teknik geliştirmiş, önerisi denizaltı gemi filosunun yeniden düzenlenmesinde kullanılmıştır (Meyers ve Stewart, 2002: 31).

Fayol (1916) tarafından geliştirilen Yönetim İlkeleri Teorisi ile çaba ve dikkatin çalışmanın belirli kısımlarına odaklanmasını sağlamak için çalışmanın bireyler ve gruplar arasında bölünmesi; Mayo (1924-1932) tarafından gerçekleştirilmesine liderlik edilen dört aşamalı Hawthorne deneyleri (aydınlatma, röle montaj odası, görüşme programı ve tel bağlama gözlem odası deneyleri) ile insan ilişkilerinin ve sosyal insan modelinin yönetim alanında ele alınması Endüstri 2.0 evresinde teknolojik gelişmeler çerçevesinde iş etüdü ve iş analizi uygulamalarında yaşanmış diğer gelişmelerdir (Meyers ve Stewart, 2002: 31-33).

### 3.3. Endüstri 3.0

Endüstri 3.0 Sanayi Devrimi evresinin başlamasında en büyük itici güç İkinci Dünya Savaşı ve sonrasında ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda hızla gelişen elektronik ve bilgi teknolojileri olmuştur. Teknolojik altyapıda yaşanan bu büyük ve hızlı gelişim ile programlanabilir makineler üretimde ilk kez kullanılarak sanayide otomasyon dönemine geçilmiştir.

Endüstri 3.0 evresinde telekomünikasyon teknolojileri daha da güçlü hale gelmiş, mekanik ve elektronik teknolojiye dayalı makinelerin yerini dijital teknolojiye dayalı makineler almış, sanayide kullanılmakta olan enerji tipi kullanılan kaynakların tükenme tehlikesine karşın elektrik ve petrolden büyük ölçüde nükleer ve yenilenebilir enerjilere dönmüştür. Endüstri 3.0 evresinde özellikle güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerji kaynağı alternatiflerinin kullanımı yaygınlaştırılmaya çalışılmış, bu çağda ortaya çıkan sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir büyüme kavramları büyük önem kazanmıştır (Redcliff, 2005; Pamuk ve Soysal, 2018).

Nükleer enerji ve elektronik endüstrisinde yaşanan gelişmeler atom enerjisine dayalı araştırmalar, ileri bilgisayar teknolojileri, mikro-elektro mekanik sistemler ve fiber-optik ağlara dayalı alanlarda gelişmelerin yaşanmasını sağlamıştır (Kagermann ve diğerleri, 2013).

Endüstri 3.0 evresi ile sağlanan kazançlar Sarıkulak (2018) tarafından, yalın üretim ve otomasyonun temellerinin atıldığı Toyota fabrikasında gerçekleştirilen üretim üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 1987 yılında Amerika'da bulunan General Motors (GM) şirketinin fabrikalarında araba üretimi için gerekli olan süre 31 saat iken Toyota fabrikalarında bu sürenin 16 saat olduğu, stok tutma sürelerinin GM'de 2 hafta iken Toyota'da 2 saat, 100 araba için ortalama hata sayılarının ise GM'de 135 iken Toyota'da 45 olduğu belirtilmiştir. Endüstri 3.0 Sanayi Devrimi'nin 1990 sonrası diğer üretim sektörlerinde de uygulanmaya başlamasıyla 1996-2004 yılları arasında iş gücünde %2,46 emek verimliliği artışı sağlanmıştır (Sarıkulak, 2018: 31-32).

Otomasyon ve ileri teknoloji bilgi sistemlerinin üretimde kullanılması ile birlikte dijitalleşmeye başlayan üretim süreçleri, iş etüdü ve iş ölçümü uygulamalarının da buna uygun olarak evrilmesine neden olmuştur. M. E. Mundel'in iş ölçümü alanındaki çalışmaları ve önerdiği araçlar bu sanayi devrimi evresinde gerçekleştirilen iş etüdü uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir. Shingo (1960) otomasyon ve yalın üretim çerçevesinde geliştirdiği yeni teknikler ile farklı sanayi kollarında çok önemli iyileştirmeler sağlamış, Matsushita ve Toyota gibi müşterilerle çalışmış, fabrika verimliliğini iki katına çıkarmıştır (Meyers ve Stewart, 2002: 33). Yalın üretim kavramının da hedeflediği, üretime doğrudan katkı sağlamayan gereksiz faaliyetlerin elimine edilmesi fikri aslında metot etüdü'nün de temel fikridir. Bir işletmede başarılı bir yalın üretim uygulanması hareket ve zaman etüdü tekniklerinin de başarılı bir biçimde kullanılmasını gerektirir.

### 3.4. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0, 2011 yılında geleceğin bilgisayarlı imalatı ile ilgili projeden türetilen ve Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından yürütülen Dördüncü Sanayi Devrimi evresini ifade etmektedir (Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2019b). Bulut teknolojileri, IoT uygulamaları ve siber-fiziksel sistemler gibi yeni teknolojilerin sanayide kullanılması akıllı ürün, akıllı fabrika ve insansız üretim kavramlarını doğurmuş; çeşitli elektro-mekanik sistemlerin, çip ve sensör teknolojilerinin ve internet erişiminin entegre kullanılması ile canlı ve cansız nesnelerin aracısız iletişime ve etkileşime geçebildiği tam otomasyonlu yeni üretim sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Endüstri 4.0 Sanayi Devrimi evresinin temel itici güçleri; sermayenin anlık değişen tüketici talebine uyum sağlama yeteneği kazanma isteği, küreselleşmiş olan ekonomik pazardaki ürün çeşitliliği ile rekabet etme ihtiyacı duyması, iş gücü maliyetini düşürme, tükenmekte olan doğal kaynakların korunması ve üretim, dağıtım ve tedarik süreçlerinde sürdürülebilirliğin sağlanması mecburiyeti olarak gösterilebilir (Herter ve Ovtcharova, 2016; Sinan, 2016; Yıldız, 2018).

Endüstri 4.0 ile birlikte üretimde yeni iş süreçlerinin oluşması ve yeni iş ölçümü tekniklerinin uygulamaya konması gerekmiş, geleneksel teknikler ile bu sistemlerde süreç yönetilememiştir. Ayrıca akıllı fabrikaların oluşması ve kullanılan ileri teknoloji otomasyon ve izleme sistemleri ile birlikte sanayide düşük nitelikli iş gücüne olan ihtiyacın azalacağı, fabrika içi hareketin sınırlandırılması, hata oranlarının en azlanabileceği ve bu teknolojilerin kullanımı ile verimlilik oranlarının artacağı öngörülmektedir.

Bu bağlamda iş ölçümü ve iş planlaması süreçleri, yeni sanayi devrimi çağının içermekte olduğu teknolojik araçlar ile unsurlar gereğince değişime uğramaktadır. Endüstri 4.0 sayısız yeni teknolojiyi ve ilişkili araçları kapsamaktadır, bu yeni teknolojiler Endüstri 4.0 uygulamalarını kapsayan bileşenler olarak farklı başlıklar altında incelenebilmektedir.

*Nesnelerin İnterneti (IoT)*, içerisinde ağ bağlantısı bulunan fiziksel cihazların birbiriyle iletişimini ve bu nesnelerin uzaktan kontrol edilmesini ifade ederken, makine ile makine (Machine to Machine-M2M) iletişimini mümkün kılan bu sistem Endüstri 4.0 uygulamalarının bel kemiğini oluşturmaktadır (Pamuk ve

Soysal, 2018). IoT kavramı ilk olarak 1999'da Kevin Ashton tarafından literatüre kazandırılmıştır (Ashton, 2009) ve International Telecommunication Union tarafından 2005 yılında yayınlanan "The Internet of Things. ITU Internet Reports" raporu ile birlikte "IoT" bir kavram olarak kamuoyuna duyurulmuştur (Sayar, 2019: 44-46). Endüstri 4.0 çağında yeni internet protokolü IPv62'nin 2012 yılında devreye girmesi ile akıllı nesnelerin direk ağlarda iletişim halinde olabilmesi için yeterli adres sağlanmış, ayrıca ağ kaynakları, bilgi, nesneler ve insanlar etkileşime girerek IoT ortamını oluşturmaları mümkün olmuştur (Akben ve Avşar, 2018). IoT teknolojilerinin iş ölçümünde kullanımı ile radyo frekansı tanımlama (RFID) cihazları gibi düşük maliyetli sensör teknolojileri ile "nesneleri" etiketlemek ve izlemek fiziksel üretim ortamlarında mümkün hale getirilmiştir, bu sayede düşük maliyetli bilgi işlem faaliyetleri iş ölçümü ve iş planlamada kullanılabilir kılınmıştır.

*Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT)* bileşeni ise belirli IoT teknolojilerinin (siber-fiziksel sistemler içindeki belirli türdeki akıllı nesnelerin) endüstriyel bir ortamda, sanayiye özgü hedeflerin desteklenmesi için kullanılması, yani IoT teknolojilerinin imalatta kullanılması olarak tanımlanabilmektedir (Boyes ve diğerleri, 2018). IIoT, en kritik sistemlere dahi tamamen yeni altyapılar getirerek, etkinliği büyük ölçüde iyileştirebilen akıllı dağıtılmış makineler oluşturma fırsatı ve neredeyse tüm endüstrilerde verimlilik artışı olanağı sunmaktadır (Schneider, 2016). IIoT teknolojilerine; aktuatörler, robotlar, freze makineleri, 3D yazıcılar ve montaj hattı bileşenleri, kimyasal karıştırma tankları, motorlar, insülin ve infüzyon pompaları örnek gösterilebilir (Thames ve Schaefer, 2016; Yıldız, 2018).

Endüstri 4.0'ın bir diğer bileşeni olan *Siber-Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical Systems-CPS)* fiziksel dünya ile siber dünya arasındaki iletişim ve koordinasyonu içeren yapıların bütünü olarak tanımlanabilir ve yeni sanayi çağının getirisi ile makineleri ekstra zeki ve esnek yazılımlar sayesinde kontrol etmeyi ifade etmektedir. Siber-fiziksel sistemlerde, yerleşik üretim faktörlerine gömülü yazılımlar ve sensörler sayesinde daha önceden programlanan sistemler M2M iletişimi ile herhangi bir müdahale gerektirmeden otonom çalışabilmektedir (Oesterreich ve Teuteberg, 2016). Siber-fiziksel sistemler fiziksel süreçlerle hesaplanan bütünlüştürülmesiyle üretim sürecinde kontrol, gözetim, şeffaflık ve verimliliğin çok daha iyileştirilmiş yeni bir derecesini sağlamaktadır (Yıldız, 2018). Sistemin başlangıcında yapılan programlamayla sistem tüm süreci hiçbir müdahale ya da düzenleme gerekmeden otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir. Geçmiş tecrübelerden edindikleri bilgilerle mevcut bir problemi çözebilen, programcılar tarafından sunulan veri setleri ile çalışan ve ortaya çıkabilecek sorunları çözebilen robotlar olan öğrenen robotlar (Akben ve Avşar, 2018) siber-fiziksel süreçlerde önemli rol oynamaktadır. Bu süreçte, günümüzde özellikle hali hazırda yer alan öğrenen robotların da içinde bulunduğu birçok makine üretim sürecinin içerisine dâhil olmakta, bu süreçlerde gerçekleştirilecek iş ölçümü ya da iş planlama faaliyetlerinde ise simülasyon teknikleri, derin öğrenme algoritmaları, yapay sinir ağları ve yapay zekâ tekniklerinden faydalanılmaktadır.

*Büyük Veri* ya da *Veri Analitiği* Endüstri 4.0 çağının temel bileşenlerinden bir diğeri olarak görülmektedir. Büyük veri terimi, geleneksel yöntemlerde çok büyük veya karmaşık veri kümelerini analiz etmek için kullanılan, makineler ve cihazlar aracılığıyla üretilen ve yetersiz kalan geleneksel tablo programları yerine bulut altyapılı sistemler içerisinde depolanabilen, büyük veri analitiği kullanımıyla çözümlendirilerek anlamlandırılabilen her türlü veri kümesi olarak tanımlanabilmektedir (Kagermann ve diğerleri, 2013). Genel bir bakış açısıyla, siber-fiziksel sistemlerde akıllı makineler için sürekli olarak bilgi üretimi ve bilgi depolaması yapılması gerektiğinden, bu bilgilerin analiz edilmesi, ölçülmesi ve yapılandırılması gerektiğinde büyük veri analizi bir başka isimle veri madenciliği ön plana çıkmaktadır. Büyük verilerin analizi ve kullanımı ile temel olarak etkinliğin artırılması, hata oranlarının azaltılması, esnekliğin artırılması, müşteri etkileşiminin artırılması ve yeni ürün geliştirmede avantajlar sağlanabilir (Akben ve Avşar, 2018; Pamuk ve Soysal, 2018).

*Bulut Tabanlı İmalat* müşteri tarafından oluşturulan değişken talebe yanıt vermek için verimliliği artıran, ürün ömrü maliyetlerini düşüren ve optimum kaynak tahsisine izin veren, geçici, yeniden yapılandırılabilir siber-fiziksel üretim hatları oluşturmak için paylaşılan çeşitlendirilmiş ve dağıtılan üretim kaynaklarının bir paylaşım kümesinde talep üzerine erişimden yararlanan bir ağa bağlı üretim modeli olarak tanımlanan önemli bir diğer Endüstri 4.0 bileşenidir (Yıldız, 2018).

*Akıllı Ürün* ve *Akıllı Fabrika* bileşenleri de Endüstri 4.0 çağının en önemli ve uygulamada kendilerine yeni yerler edinmekte olan bileşenlerindedir. Akıllı ürün; yaşam döngüsü boyunca farklı ortamlarda kendi kendini organize etmek için tasarlanmış, bağlam farkındalığı, anlamsal öz tanımlama, proaktif davranış, çok modlu doğal arayüzler, yapay zekâ planlaması ve makine öğrenmesi sayesinde gelişmiş ürünler arası (product to product - p2p) ve kullanıcı ve ürün arası (Product to User - p2u) etkileşim aracılığıyla ileri seviyede etkinlik, verimlilik ve kullanım kolaylığı sağlayan bir maddi nesne, yazılım veya hizmettir (Mühlhäuser, 2007). Akıllı ürünler, mikroçipler, yazılımlar ve sensörler gibi ileri teknoloji bileşenler içeren ve bu nedenle bilgi toplayabilen, işleyebilen ve üretebilen ürünlerdir. Bu sayede akıllı olmayan ürünlerde yalnızca sınırlı ölçüde bulunabilen bir dizi yeteneği üst seviyelerde sağlayabilirler (Rijsdijk ve Hultink, 2009).

Akıllı ürünler, tüm üretim süreciyle entegredir, üretim süreçlerini aktif olarak destekler, bireysel üretim aşamalarını bağımsız olarak kontrol eder. Ayrıca, bitmiş ürünler olarak akıllı ürünler, kullanım parametrelerinin farkındadır ve tüm yaşam döngüleri boyunca durumları hakkında bilgi verebilir. Bu gömülü sistemler, akıllı fabrikayı lojistik, üretim, bakım ve iş yönetimi süreçlerine göre optimize ederek tüm değer zinciri boyunca gerçek zamanlı olarak yönetilebilir (Nunes ve diğerleri, 2017). Akıllı ürün üretiminde iş ölçümü ve iş planlama faaliyetleri, üretim sürecinin içine entegre edilmiş halde, büyük veri işlemleri ve yapay sinir ağları uygulamaları gibi teknikler ile gerçekleştirilebilmektedir.

*Akıllı Fabrikalar* ise dinamik ve hızlı bir şekilde yüksek karmaşıklıkla pazar gereksinimlerini karşılamaya uygun esnek ve uyarlanabilir süreçlerin performansına izin veren Endüstri 4.0 üretim bileşenleridir (Nunes ve diğerleri, 2017). Akıllı fabrika, akıllı sensörler ve algılama, hesaplama ve tahmine dayalı analitik ve esnek kontrol teknolojilerinden oluşan IoT ve endüstriyel internet teknolojilerini kullanarak büyük ölçekli üretimde yeni bir yaklaşım tanımlamaktadır (Calp ve diğerleri, 2018). Her bir endüstri devrimiyle birlikte, fabrikaların üretim süreçlerinde değişim yaşanmış ve otomasyonun devreye girmesiyle üretimdeki insan faktörünün rolü değişmiştir (Pamuk ve Soysal, 2018). Akıllı fabrika ortamı, insan kaynakları, makine ve akıllı ürünler gibi nesnelere arasında bir ağdaki iletişim ile karakterize edilir. Akıllı fabrikalar operasyon ve süreç karmaşıklığını yönetebilmekte ve bu sayede hata oranını azaltarak üretim verimliliğini artırabilmektedir (Nunes ve diğerleri, 2017). Her fiziksel bileşen ve makine, siber uzayda, sensör ağlarından ve manuel girişlerden üretilen verilerden oluşan ikiz bir modele sahiptir. Akıllı fabrikalar üretimi yüksek verimli, atak ve esnek bir şekilde gerçekleştirmek için birbirine bağlı sistemlerden bilgi ağını güçlendirir. Akıllı bir fabrikada imalatçı üretimdeki son dakika değişikliklerini ve geleneksel fabrikalarda elde edilemeyecek esneklik seviyelerini destekleyerek, herhangi bir üretim hızında müşteri şartnamelerini karşılayabilmektedir. Akıllı fabrikalar ayrıca prototip ürün çıkarmada, yatırımcılara ürün üretilmeden önceki ilk halini sipariş edebilme, müşterilere ise kendi tasarımını yapabileme imkânı tanıma gibi önemli yararlar sağlamaktadır (Calp ve diğerleri, 2018).

Sanayileşmede geline son dönemin şartları çerçevesinde Endüstri 4.0 sanayi devrimi ile bu süreçte uygulanacak iş etüdü ve iş ölçümü yöntemleri de dijitalleşmektedir. Akıllı fabrikalarda gerçekleştirilecek iş ölçümü ve zaman etüdü çalışmaları için Yapay Sinir Ağları (YSA), 3D modelleme ve simülasyon teknikleri, tesis tasarımı ve hareket çalışmaları için IoT temelli derin öğrenmeli hareket algılama sistemleri, kümeleme analizleri ve kinematik analizler kullanılabilir. Ayrıca, IoT temelli iletişim uygulamaları ve siber-fiziksel sistem tasarımları ile M2M ve insan-makine arasında iyileştirilmiş etkileşimin sağlanmasının da akıllı fabrika uygulamalarının getireceği bir diğer avantaj olacağı öngörülmektedir. İş ölçümü, zaman ve hareket çalışmaları ve iş etüdü analizlerinin büyük veri, IoT temelli teknolojiler, sensörler, veriye duyarlı analitik modüller ve çeşitli yazılımların kullanılmasıyla işlem, bekleme ve ortalama çalışma süreleri ile hata oranları düşürülürken, çıktı miktarlarının, dolayısıyla da verimlilik oranlarının artırılabilirliği öngörülmektedir.

Üretim sistemlerinde yaşanan dijital dönüşümün iş etüdü teknikleri üzerindeki etkisini analiz ederken, kilit nokta, fiziksel iş gücünün yerini makinelerin alması, üretimde fiziksel iş gücünün kontrol edici bir araç olarak kullanımının söz konusu olması olarak ifade edilebilir. Geleneksel iş etüdü tekniklerinin emek yoğun işletmelerde uygulanarak, işletmelere verimlilik ve maliyet açılarından ciddi katkılar sunduğu bilinmektedir. Ancak, makinelerin otomatikleşmeye başlaması, kendi hatalarını tespit edebilen ve bunları kontrol ederek sürece uyarılar gönderen makinelerin üretim sistemlerinde yer almaya başlaması ile iş etüdü tekniklerinin de modernize olması ve bu sürece entegre olması kaçınılmaz olmuştur. Önümüzdeki yıllarda, vasıfsız fiziksel iş gücüne olan talebin gittikçe azalması, nitelikli iş gücünün ön plana çıkmasına ve insanın üretim sürecinde bir kontrolör olarak yer almasına neden olacaktır. Fakat bu noktada bile, iş etüdü tekniklerinin kullanımı kaçınılmaz olacaktır. Emek yoğun işletmelerde, çalışanın üretim ortamında fiziki dolaşımını minimize etmek için uygulanan metot etüdü teknikleri, yeni düzende kontrolör olarak görev yapan çalışanın görevini en az hareket ve süreyle en verimli yapabileceği şekilde tasarlanabilecek, süreçteki makro-hareket etütleri yerini mikro-hareket etütlerine bırakacaktır. Benzer şekilde otomatik kontrollü makinelerin yer aldığı üretim sistemlerinde, ki bu durum aslında Endüstri 3.0 ile başlayan ve özellikle yalın üretim tekniklerinin devreye girmesi ile verimliliğin hızla arttığı döneme işaret etmektedir, insan-makine etkileşimi temelindeki iş etüdü tekniklerinin uygulanma alanları genişleyecektir.

## 4. YAPAY ZEKÂ ve YAPAY ZEKÂNIN İŞ ETÜDÜ TEKNİKLERİNİN DİJİTALLEŞMESİ ÜZERİNE ETKİSİ

### 4.1. Yapay Zekâ Kavramı

Yapay zekâ, farklı alanlardaki problemleri öğrenirken ve çözerken insan zekâsı gibi düşünebilen ve karar verebilen makinelerdir (Hemalatha ve diğerleri, 2021). Başka bir ifadeyle tanımlanacak olursa, yapay zekâ çevresinde olanları anlayabilir, analiz edebilir, çevresindekilerle etkileşim kurabilir, geçmiş verilerden öğrenebilir ve karmaşık problemleri dışarıdan müdahale olmadan kendi başına çözebilir (Hmoud ve Laszlo, 2019). Yapay zekâ tekniklerinin kullanımı; deneyimi, karar verme özelliği, sözel verileri dikkate alması ve yapay sinir ağlarının öğrenme kabiliyeti ile beraber bir bütündür. Tüm bu bileşenler yardımıyla uygulayıcı,



geçmiş deneyimlerini sisteme aktararak karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerin çözümlenmesini yapabilmekte ve model oluşturma yeteneklerini daha ileriye götürebilmektedir. Bu nedenle, yapay zekâ teknikleri günümüzde birçok alanda başarıyla uygulanabilmektedir.

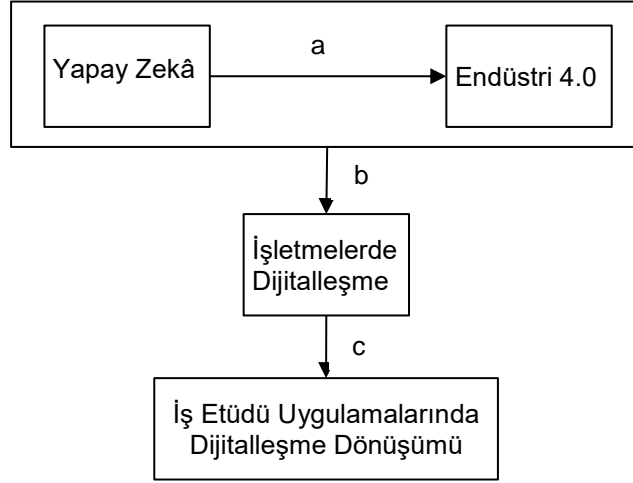
#### 4.2. Yapay Zekâ Teknikleri ile Zaman Ölçümü

Yapay zekâ, işletmelerin üretim modellerinin süreç kalitesinden ödün vermeden gelişmelerine imkân verir. Pazarda artan rekabet göz önüne alındığında bu gelişme oldukça önemlidir. Makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi yapay zekâ teknikleri doğru ve yerinde kullanıldığında, işletmelerin yatırım getirisi üzerinde çok önemli etkilere sahip olunabilir. Makine öğrenimi, Endüstri 4.0 kapsamında akıllı üretimi destekleyen gelişmiş çok farklı ve kullanışlı algoritmalar sunmaktadır. Örneğin, üretim sırasında toplanan verilerin analiz edilip, analiz sonucu ortaya çıkan değişikliklerin otomatik olarak fabrika sürecine uyarlanabilir olması günümüz işletmeleri için büyük avantaj sağlamaktadır. Makine öğreniminden ortaya çıkan ve bir alt küme olan derin öğrenme, denetimsiz öğrenmeye izin veren kendi sinir ağlarını oluşturur ve bu yöntemlerin özerkliğini daha da ileri götürür. Dijitalleşme ile birlikte robotların, fiziksel iş yükünün, yapay zekânın ise zihinsel iş yükünün yerini alacağı iş yeri çalışma ortamlarında iş etüdü ve ergonomi uygulamaları için yeni alanlar ortaya çıkmaktadır (Çakıt ve diğerleri, 2020).

İş etüdü uygulamaları kapsamında, standart zamanı doğru belirlemeyen firmalarda, üretim planları ve programları, kısa ve uzun vadeli tahminler, fiyatlandırma ve diğer teknik ve yönetsel faaliyetleri hazırlamak çok zordur. Ne yazık ki, doğrudan veya dolaylı iş ölçüm yöntemleri çoğu durumda standart zamanı belirlemede yetersiz kalmaktadır. Doğru zaman ölçümünün mevcut iş etüdü teknikleri ile çok karışık, maliyetli ve zaman alıcı olmasından dolayı literatürde yapay zekâ tekniklerinin kullanım avantajlarından yararlanılmıştır. Eraslan (2009) ve Dağdeviren ve diğerleri (2011) yaptıkları çalışmalarda yapay zekâ tekniklerinden olan yapay sinir ağlarına (YSA) dayalı, maliyeti olmayan ve kolaylıkla uygulanabilir alternatif bir dolaylı iş ölçüm yöntemi önermişlerdir. Bu şekilde, önerilen yapay zekâ tahmin yönteminin ilgili yapay sinir ağları algoritmalarını kullanarak birçok benzer süreçte standart zamanların doğru belirlenmesinde yapay zekâ algoritmalarının uygulanabileceği sonucuna varmışlardır. Benzer şekilde Atalay ve diğerleri (2015), dolaylı standart zamanın tahmini için bulanık regresyon analizini uygulamışlardır. Adizue ve diğerleri (2020) bir başka çalışmada yapay sinir ağları kullanarak süreç zaman kısıtlamalarını dikkate almış ve elde ettikleri tahmin değerleri ile daha hızlı ve güvenilir sonuçlar ortaya çıkarmışlardır. Susanto ve diğerleri (2012) tekstil sektöründe ürün teslim sürelerini yapay sinir ağları kullanarak modellemişlerdir. Shao ve diğerleri (2021) destek vektör makineleri yardımıyla parçacık sürü optimizasyonu uygulayarak standart zamanı tahmin etmişlerdir.

Tüm bu çalışmalarda kullanılan yapay zekâ teknikleri geleneksel ölçüm yöntemleriyle karşılaştırıldığında birçok avantaj ve uygulanan sektörlere sağlanan faydalar ortaya çıkmıştır. Bu avantajlar sırasıyla, i) standart zamanı tahmin etmek için ürün ile ilgili uzun süreli deneyim gerektirmemesi, ii) zaman ve para israfından kaçınmak için çalışma süresini en aza indirmesi, iii) çok sınırlı hata aralığı ile yüksek doğrulukta sonuçlar vermesi, iv) önceden ölçülen değerlerle zamanı etkileyen tüm faktörleri göz önünde bulundurması ve daha objektif tahminlerde bulunması ve v) standart zaman üzerinde daha fazla etkisi olan faktörlerin izlenmesinin sağlanması şeklinde sıralanmıştır (Eraslan, 2009).

Yapay zekâ, Endüstri 4.0 ve dijitalleşen iş etüdü uygulamaları arasındaki kavramsal ilişki literatürdeki çalışmalar (Eraslan, 2009; Dağdeviren ve diğerleri, 2011; Susanto ve diğerleri, 2012; Atalay ve diğerleri, 2015; Adizue ve diğerleri, 2020; Shao ve diğerleri, 2021) kapsamında belirlenmiş ve aşağıdaki gibi oluşturulmuştur (Şekil 2):



**Şekil 2. Yapay Zekâ, Endüstri 4.0 ve dijitalleşen iş etüdü uygulamaları arasındaki kavramsal ilişki**

Şekil 2'de verilen kavramsal ilişki aşağıda verilen maddeler çerçevesinde özetlenebilir:

- Yapay zekâ teknolojisi Endüstri 4.0 uygulamalarını etkiler. Yapay zekâ teknolojileri ile makineler programlanıp akıllı makinelere dönüştürülürken, birbirleriyle etkileşime geçen makineler Endüstri 4.0 uygulamalarında yaşanan yeniliklerin temellerini oluşturmaktadır.
- Yapay zekânın Endüstri 4.0'a olan etkisi işletmelerde dijitalleşmeyi önemli kılar. Yapay zekânın Endüstri 4.0'a olan etkisi ile genelde insan gücü ile tamamlanan görevler yapay zekâ teknolojisiyle ön plana çıkan akıllı robot işçilere bırakılırken, hâlihazırda akıllı bilgisayar ve otomasyon sistemleri üretim ekosisteminin vazgeçilmez unsurları arasında gösterilmektedir.
- Yapay zekâ tekniklerinin endüstride kullanımının artması ile iş etüdü uygulamalarında dijitalleşme hızlanır. İşletmelerin dijitalleşme süreci ile daha esnek, hızlı ve tahmin edilenden daha verimli bir sürece katkı sağlamak amaçlanmaktadır. Yapay zekâ bu amacın gerçekleşmesi için çok önemli bir yerde bulunmaktadır. Verimlilik artırma yaklaşımlarından olan iş etüdü uygulamalarında yapay zekâ teknikleri ile standart zaman ölçümünün daha doğru, daha az maliyetli ve daha kısa sürede tamamlanması ile iş etüdü uygulamalarında dijitalleşme hızlanmaktadır.

## 5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Endüstri 2.0 ile emek ve sermaye yoğun olarak görülen iş süreçlerinde klasik iş etüdü tekniklerini uygulamak ve verimlilik hesapları için bir temel oluşturmak oldukça kullanışlı bir yoldu. Devamında yaşanan hızlı sanayileşme insan gücünün yerine makine gücünün kullanımını hızlandırdı, ancak yine de geleneksel iş etüdü teknikleri süreçlerin verimlilik ölçümü için temel oluşturmaya devam etti. Üretim sistemlerindeki makineleşme arttıkça geleneksel gözlem, ölçüm ve hesaplama yöntemlerini, bu dijitalleşmiş sistemlerde uygulamak yine mümkün olmuştur ancak neredeyse her türlü işlemin teknolojidene faydalanarak yürütüldüğü bir üretim ortamında, klasik bir iş etüdü çalışmasını yürütmek iş gücü ve zaman kaybı olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, üretim ortamındaki dijitalleşme arttıkça, geleneksel iş etüdü tekniklerinin de bu dijitalleşmeye ayak uydurduğunu, üretim ortamındaki değişen ihtiyaca cevap verebilmek için klasik gözlem ve hesaplama tekniklerinin de dijital ortamlara taşındığını söylemek mümkündür. Akıllı telefonlara kurulan birtakım uygulamalar ile üretim ortamındaki iş ölçümü verilerine ve hesaplamalarına anında ulaşma imkânı sağlayan ticari yazılımların geliştirilmesi, üretimi izleme ve verimliliği değerlendirme açısından işletmelere oldukça kolaylık sağlamıştır.

Öte yandan her türlü üretim faaliyetini fiziksel iş gücünü en az düzeyde kullanarak gerçekleştirmeye çalışan, Endüstri 4.0 kavramıyla hayatımıza giren, akıllı ve karanlık fabrikalarda, tasarım aşamalarında hareket etüdü tekniklerinin hala kullanıldığını söylemek yanlış olmaz. Büyük veri işleme ve yapay zekâ kavramları ile geçmiş dönemlerdeki iş ölçümü verilerinden geleceğe yönelik gerçekçi ve akıllı tahminlerin yapılması, tekrarlayan hareketlerden yola çıkarak farklı ürün grupları için belki de hiç ölçüm alınmadan standart zaman hesaplarının yapılabilir hale gelmesi, iş etüdü tekniklerinin de dijitalleşme sürecine uyum sağladığının ciddi örnekleri olarak gösterilebilir. Sonuç olarak üretim ortamlarında yaşanan dijital dönüşüm süreçleri karşısında, iş etüdü tekniklerinin geleneksel ölçüm alma ve elle hesaplama aşamasında kalmasını beklemenin gerçekçi olmayacağını, iş etüdü tekniklerinin de gerek ölçüm alma gerek hesaplama gerek hesaplanan verilere anlık erişim ve geçmiş verilerden geleceğin projeksiyonunu yaparak doğru tahmin mekanizmalarının kurulması gibi kendi iç süreçlerinde bir dijital dönüşüm geçirerek daha da gelişeceğini

söylemek mümkündür. Dördüncü Endüstri Devrimi ile müşterinin değişen ihtiyaçlarına anlık bir şekilde uyum sağlayacak esnek üretim sistemlerinin kurulması hedefleniyor ise üretimdeki verimliliği kontrol etmenin kritik anahtarlarından biri olan iş etüdü çalışmalarının da üretim ortamlarının değişen ihtiyaçlarına uyum sağlayacak şekilde dijitalleşmesi gerekmektedir.

Gelinen noktada önemli bir tespit de üretime yönelik yapay zekâ ve dijitalleşme süreçlerinde söylemden eyleme geçilememesidir. Yapılan araştırmalar makine öğrenmesi, yapay sinir ağları vb. yapay zekâ araçlarının bilinirliğinin çok fazla olduğunu, ancak sanayide kullanımının hala çok düşük seviyelerde olduğunu ve önemli fırsatlar içerdiğini göstermektedir (Business Advantage Group, 2018). Bu fırsatlardan biri de geleneksel olarak çok fazla zaman ve iş gücü gerektiren iş etüdü tekniklerinde yapay zekâ araçlarının kullanımının artırılmasıdır. Bu çalışma kapsamında yapılan araştırma yapay zekâ temelli iş etüdü uygulamalarının çok kısıtlı ve gelişmeye açık bir alan olduğunu göstermiştir. Bu gelişimi yakalayabilmek birçok parametre ile birlikte, süreçleri yönetecek olan mühendislerin yetiştirildiği eğitim programlarındaki müfredatın dijital dönüşüme bağlı olarak güncellenmesini de gerektirmektedir. İşletmeler hızla dijitalleşirken ilgili programların önemli bir kısmında hala geleneksel yöntemlerin dışına çıkılamaması, yapay zekâ araçlarının bilinme oranının yüksek olmasına rağmen kullanma oranlarının düşük olmasının nedenlerinden biridir. Çağın gereklerine uygun yetkinlikte insanların yetiştirilmesi ülkeler için stratejik bir konudur. Sistemler ne kadar dijital ve mükemmel olursa olsun sistemi yönetecek insanın gerekli yetkinlikte olmaması beklenen faydayı geçersiz kılacaktır. Sistemlerin dijitalleşmesi insana duyulan ihtiyacı ortadan kaldırmamakta sadece beklenen yetkinliği farklılaştırmaktadır. Bu değişimi yönetmek, süreçte görev alan tüm karar vericilerin sorumluluğundadır.

Bu çalışma kapsamında özetle, üretim ortamında yaşanan dijitalleşmenin, iş etüdü teknikleri üzerindeki etkisi literatürdeki çalışmalar temel alınarak araştırılmış ve analiz edilmiştir. Ancak çalışma elbette ki birtakım kısıtlar içermektedir. Bu kısıtlardan ilki, yerli ve yabancı yazında, makalede ele alınan konuyu derleyen başka bir çalışmanın bulunmamasıdır. Böyle bir çalışmanın bulunmaması bir yandan çalışmanın özgün yönünü oluştururken diğer yandan çalışmadaki çıkarımların karşılaştırılarak, tartışılmamasına neden olmuştur. Çağın gereklerine adapte olarak, dijital imkânlardan faydalanan işletmelerde uygulanan revize iş etüdü tekniklerinin uygulamaya dönük kalması ve akademik yazına aktarılamaması ise çalışmanın bir diğer kısıtı olarak değerlendirilebilir. Bu durum, dijitalleşen iş etüdü teknikleri açısından mevcut durumun tam olarak değerlendirilerek analiz edilmesine engel olmuş olabilir. Gelecekte, bu kısıtların önüne geçebilmek için, saha uygulamalarının akademik yazına kazandırılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKÇA

- Adizue, U.L., Nwanya, S.C. ve Ozor, P.A. (2020). "Artificial Neural Network Application to a Process Time Planning Problem for Palm Oil Production", *Engineering and Applied Science Research*, 47(2), 161-169.
- Akben, İ. ve Avşar, İ. (2018). "Endüstri 4.0 ve Karanlık Üretim: Genel Bir Bakış", *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 26-37.
- Aksoy, S. (2017). "Değişen Teknolojiler ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı Anlamaya Dair Bir Giriş", *SAV Katkı Teknoloji*, 34-44.
- Alizon, F. Shooter, S. B. ve Simpson, T.W. (2009). "Henry Ford and the Model T: Lessons for Product Platforming and Mass Customization", *Design Studies*, 30(5), 588-605.
- Ashton, K. (2009). "That 'Internet of Things' Thing", *RFID Journal*, 22(7), 97-114.
- Atalay, K. D., Eraslan, E. ve Cinar, M.O. (2015). "A Hybrid Algorithm Based on Fuzzy Linear Regression Analysis by Quadratic Programming for Time Estimation: An Experimental Study in Manufacturing Industry", *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 182-188.
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J. ve Watson, T. (2018). "The Industrial Internet of Things (IIoT): An Analysis Framework", *Computers in Industry*, 101, 1-12.
- Business Advantage Group (2019). "2018-19 Global CAD Trends", <https://www.business-advantage.com/2018-19%20Global%20CAD%20Trends%20-%20Version%201.0%20DOWNLOAD.pdf>, (Erişim Tarihi: 24.08.2021).
- Calp, M.H., Bahçekapılı, E. ve Berigel, M. (2018). "Endüstri 4.0 Kapsamında Akıllı Fabrikaların İncelenmesi", *The Fifth International Management Information Systems Conference*, October 24-26 2018, Ankara.
- Çakıt, E., Adem, A. ve Dağdeviren, M. (2020). "Endüstri 4.0 Ergonomi için Tehdit mi Fırsat mı?", *Verimlilik Dergisi*, 3, 43-57.
- Dağdeviren, M., Eraslan, E. ve Çelebi, F.V. (2011). "An Alternative Work Measurement Method and Its Application to a Manufacturing Industry", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 563-567.
- Dombrowsi, U. ve Wagner, T. (2014). "Mental Strain as Field of Action, In the 4th Industrial Revolution Variety Management in Manufacturing", *Procedia CIRP*, 17, 100-105.
- Ekinci, N. (2019). "Klasik, Neoklasik Teori, Sistem ve Durumsallık Yaklaşımları ile Bunların Karşılaştırılması ve Toplam Kalite Yönetimi İçerisindeki Yerlerinin Değerlendirilmesi", *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(11), 16-38.
- Eraslan, E. (2009). "The Estimation of Product Standard Time by Artificial Neural Networks in the Molding Industry", *Mathematical Problems in Engineering*, 1-12.
- Ghafoorpoor Yazdi, P., Azizi, A. ve Hashemipour, M. (2018). "An Empirical Investigation of the Relationship between Overall Equipment Efficiency (OEE) and Manufacturing Sustainability in Industry 4.0 with Time Study Approach", *Sustainability*, 10(9), 3031.
- Ghafoorpoor Yazdi, P., Azizi, A. ve Hashemipour, M. (2019). "A Hybrid Methodology for Validation of Optimization Solutions Effects on Manufacturing Sustainability with Time Study and Simulation Approach for SMEs", *Sustainability*, 11(5), 1454.
- Günay, D. (2002). "Sanayi ve Sanayi Tarihi", *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 31, 8-14.
- Hemalatha, A., Kumari, P.B., Nawaz, N. ve Gajenderan, V. (2021). "Impact of Artificial Intelligence on Recruitment and Selection of Information Technology Companies", *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*, March 2021, 60-66.
- Herter J. ve Ovtcharova, J. (2016). "A Model Based Visualization Framework for Cross Discipline Collaboration in Industry 4.0 Scenarios", *Procedia CIRP*, 57, 398-403.
- Hmoud, B. ve Laszlo, V. (2019). "Will Artificial Intelligence Take Over Humanresources Recruitment and Selection?", *Network Intelligence Studies*, 7(13), 21-30.
- Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). "Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry", Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Forschungsunion.
- Kılıç, S. ve Alkan, R. (2018). "Dördüncü Sanayi Devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye Değerlendirmeleri", *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 29-49.
- Kitana, A. (2016). "Overview of the Managerial Thoughts and Theories from the History: Classical Management Theory to Modern Management Theory", *Indian Journal of Management Science*, 6(1), 16-19.
- Kurt, M. ve Dağdeviren, M. (2003). "İş Etüdü", Gazi Kitabevi, Ankara.

- Mahmood, Z. ve Basharad, M. (2012). "Review of Classical Management Theories", *International Journal of Social Sciences and Education*, 2(1), 514-517.
- Meyers, F.E. ve Stewart, J.R. (2002). "Motion and Time Study for Lean Manufacturing, Upper Saddle River", Prentice Hall, New Jersey.
- Muhlhäuser, M. (2007). "Smart Products: An Introduction", *AMI 2007 Workshops European Conference on Ambient Intelligence*, November, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 158-164.
- Nunes, M.L., Pereira, A.C. ve Alves, A.C. (2017). "Smart Products Development Approaches for Industry 4.0", *Procedia Manufacturing*, 13, 1215-1222.
- Oesterreich, T.D. ve Teuteberg, F. (2016). "Understanding the Implications of Digitisation and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Con-Struction Industry", *Computers in Industry*, 83, 121-139.
- Pamuk, N. ve Soysal, M. (2018). "Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 Üzerine Bir İnceleme", *Verimlilik Dergisi*, 1, 41-66.
- Prokopenko, J. (2001). "Verimlilik Yönetimi: Uygulamalı El Kitabı", MPM Yayınları, Ankara.
- Redclift, M. (2005). "Sustainable Development (1987-2005): An Oxymoron Comes of Age", *Sustainable Development*, 13(4), 212-227.
- Rijsdijk, S.A. ve Hultink, E.J. (2009). "How Today's Consumers Perceive Tomorrow's Smart Products", *Journal of Product Innovation Management*, 26(1), 24-42.
- Sarıkulak, Ö. (2018). "Endüstri Devrimlerinin Performans Göstergelerine Etkilerinin İncelenmesi ile Endüstri 4.0 Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sayar, S. (2019). "Dijitalleşme ile Yeni Oluşan Kavramlar Endüstri 4.0, IOT ve Blockchain Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Schneider, S. (2016). "The Industrial Internet of Things (IIoT)", *Internet of Things and Data Analytics Handbook*, Editör: Geng, H., Wiley, 41-81.
- Shao, Y., Ji, X., Zheng, M. ve Chen, C. (2021). "Prediction of Standard Time of the Sewing Process Using a Support Vector Machine with Particle Swarm Optimization", *AUTEX Research Journal*, DOI: 10.2478/aut-2021-0037.
- Sinan, A. (2016). "Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0", *Journal of Life Economics*, 8, 19-30,
- Susanto, S., Tanaya, P.I. ve Soembagijo, A.S. (2012). "Formulating Standard Product Lead Time at a Textile Factory Using Artificial Neural Networks", *2012 2<sup>nd</sup> International Conference on Uncertainty Reasoning and Knowledge Engineering*, 99-104.
- Thames, L. ve Schaefer, D. (2016). "Software-Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0", *Procedia CIRP*, 52, 12-17.
- Tunzelmann, N.V. (2003). "Historical Coevolution of Governance and Technology in the Industrial Revolutions", *Structural Change and Economic Dynamics*, 14(4), 365-384.
- TÜSİAD (1994). "Türkiye'de ve Dünyada Yükseköğretim Bilim ve Teknoloji", Yayın No. 94.6-167, İstanbul.
- Westbrook, J.I. ve Ampt, A. (2009). "Design, Application and Testing of the Work Observation Method by Activity Timing (WOMBAT) to Measure Clinicians' Patterns of Work and Communication", *International Journal of Medical Informatics*, 78, 25-33.
- Wierschem, D.C., Jimenez, J.A. ve Mediavilla, F.A.M. (2020). "A Motion Capture System for the Study of Human Manufacturing Repetitive Motions", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 110(3), 813-827.
- Yıldız, A. (2018). "Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 546-556.
- Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2019a). "Strategy Selection for Smoothing the Transition Period of Industry 4.0 Applications Implementation", *10<sup>th</sup> International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems*, Sakarya, Türkiye, 728-737.
- Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2019b). "A Guiding Analysis to Accomplish the Challenges for Implementation of Industry 4.0", *10<sup>th</sup> International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems*, Sakarya, Türkiye, 738-746.