

Aşağıdan Yukarıya Endüstri 4.0 Dönüşüm Yaklaşımı: Yalın Yönetim

Atakan GERGER^{1*}

¹Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu Otomotiv Teknolojileri Bölümü, İzmir

¹<https://orcid.org/0000-0002-3782-7613>

*Sorumlu yazar: atakangerg@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.02.2022

Kabul tarihi: 16.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Endüstri 4.0 dönüşüm stratejileri

Aşağıdan yukarıya yaklaşım

Yalın yönetim

Büyük veri

ÖZ

Endüstri 4.0 çağıyla birlikte; dijitalleşme çok hızlı bir şekilde hem kişisel hem de iş yaşantımızı etkilemeye başlamıştır. Özellikle endüstriyel firmalar küresel piyasalardaki değişimlere tepki verebilmek, rekabetçi konumlarını koruyabilmek ve güçlendirebilmek amacıyla Endüstri 4.0 bileşenlerini kullanmak istemektedirler. Bu doğrultuda firmalar; Endüstri 4.0 uygulamalarının belirlenmesi, bunlara karşılık gelen çözümleri üretebilmesi ve uygulanması için metodolojik bir yaklaşıma ihtiyaç duymaktadırlar. Bunun için firmalar, Endüstri 4.0 dönüşümlerinde kullanılan 'yukarıdan aşağıya' ve 'aşağıdan yukarıya' yaklaşımlarından birini tercih etmektedir. Yukarıdan aşağıya dönüşümler strateji üretme, strateji uygulama ve strateji geliştirme olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Kültürel değişim bu yaklaşımın temel omurgasını oluşturmaktadır. Buna karşın; Yalın Yönetim prensipleri ve araçları üzerine dijital dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım ile sürekli iyileştirme anlayışı baz alındığından Endüstri 4.0 dönüşüm çalışmaları daha kolay ve etkin olmaktadır. Aynı zamanda bu yaklaşımla dijital israfların oluşmasının önüne geçilebilmektedir. Bu çalışmada; Endüstri 4.0 dönüşüm metodu olarak 'aşağıdan yukarıya yaklaşım' tercih edilmiştir. Bunun üç önemli nedeni bulunmaktadır. Birincisi; Endüstri 4.0 fikrinin ortaya çıktığı ve çok başarılı uygulamaların gerçekleştirildiği Almanya'da Endüstri 4.0 dönüşümünde aşağıdan yukarıya yaklaşımının öncelikli tercih edilmesidir. Almanya, Endüstri 4.0 dönüşümlerde firmalarına destek olmak ve aşağıdan yukarıya yaklaşımı teşvik etmek amacıyla VDA Endüstri 4.0 kitapçığını yayınlamıştır. Dönüşüm çalışmalarını bu kılavuz doğrultusunda desteklemekte ve yönlendirmektedir. İkincisi; Türkiye'deki Endüstri 4.0 dönüşüm çalışmaları ile ilgili literatür incelendiğinde her iki yaklaşım ile ilgili bir kaynak tespit edilememiştir. Bu nedenle; hem literatürdeki bu boşluğu doldurmak ve hem de literatüre Endüstri 4.0 dönüşüm stratejisinden biri olan 'aşağıdan yukarıya yaklaşım' hakkında özgün bir kaynak sağlanmak istenmesidir. Üçüncüsü; literatürde yer alan kaynakların daha çok Endüstri 4.0'ın önemini vurgulayan ve yararlarını anlatan bir nitelik taşıdığı görülmektedir. Bu çalışmada ise sadece Endüstri 4.0'ın önemini ya da gerekliliğini vurgulamak için amaçlanmamış aynı zamanda Endüstri 4.0 dönüşümlerin gerçekleştirilmesinde aşağıdan yukarıya yaklaşımın uygulanması için gereklilikler belirtilmektedir. Bu çalışmanın bir kılavuz olarak endüstriye ve akademiye temel teşkil etmesi hedeflenmektedir.

Bottom-Up Industry 4.0 Transformation Approach: Lean Management

Review

ABSTRACT

Article History:

Received: 19.02.2022

Accepted: 16.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Industry 4.0 transformation strategies

Bottom-up approach

Lean management

Big data

With the age of Industry 4.0; Digitalization has started to affect both our personal and business life very quickly. Especially industrial companies want to use Industry 4.0 components to react to changes in global markets and to maintain and strengthen their competitive position. In this direction, companies; need a methodological approach to identify Industry 4.0 applications and produce and implement corresponding solutions. For this, companies prefer one of the 'top-down' and 'bottom-up' approaches used in Industry 4.0 transformations. Top-down transformations are carried out in three stages: strategy generation, strategy implementation, and strategy development. Cultural change is the backbone of this approach. Despite that, in the 'bottom-up' approach, which is based on the Lean Management philosophy, digital transformation is carried out on Lean Management principles and tools. Since this approach is based on the understanding of continuous improvement, Industry 4.0 transformation studies are easier and more effective. At the same time, with this approach, the formation of digital waste can be prevented. In this study, the 'bottom-up approach' was preferred as the industry 4.0 transformation method. There are three important reasons for this. First, in Germany, where the idea of Industry 4.0 has emerged and very successful applications have been realized, the bottom-up approach is the priority in the industry 4.0 transformation. Germany has published the VDMA Industry 4.0 booklet to support its companies in Industry 4.0 transformations and to encourage the bottom-up approach. It supports and directs the transformation efforts in line with this guide. Secondly, when the literature on Industry 4.0 transformation studies in Turkey was examined, a source related to both approaches could not be identified. Because the aim is to fill this gap in the literature and to provide a unique resource on the bottom-up approach, which is one of the industry 4.0 transformation strategies. Third; It is seen that the sources in the literature mostly emphasize the importance of Industry 4.0 and explain its benefits. This study, it is not only aimed to emphasize the importance or necessity of Industry 4.0, but also the requirements for the implementation of the bottom-up approach in the realization of Industry 4.0 transformations. It is aimed that this study will form the basis of industry and academia as a guide.

To Cite: Gerger A. Aşağıdan Yukarıya Endüstri 4.0 Dönüşüm Yaklaşımı: Yalın Yönetim. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023;6(1): 908-930.

1. Giriş

Teknolojinin çok hızlı bir şekilde değişip gelişmesi endüstrilerde kaçınılmaz bir dönüşümün yaşanmasına neden olmaktadır. Bu dönüşüm sadece yaşayış biçimlerini değil aynı zamanda iş yapış şekilleri, tüketim alışkanlıkları, ürün yaşam süreleri, vb. konuları da derinden etkilemektedir (Gerger, 2019a). Teknolojinin ilerlemesi ile bilginin, endüstriyel internet nesnelere (IIoT), radyo frekansı ile tanımlama (RFID) çipleri, çeşitli uygulamalar, yazılımlar, vb. kaynaklar tarafından son derece hızlı bir şekilde, büyüklükte ve eş zamanlı olarak elde edilmesini olanaklı hale getirmektedir (Gerger, 2021a). Dolayısıyla bu kaynaklardan dijital olarak elde edilen verinin miktarı çok ciddi boyutlara ulaşabilmekte ve dijitalleşme seviyesi arttıkça sahip olunan bilgi miktarı artarak neredeyse verinin tümüne sahip olunabilmektedir. Bu denli büyük verinin analizini gerçekleştiren firmalar avantaj elde ederek Endüstri 4.0 (E4.0) dönüşüm hedeflerine ulaşabilmektedir. E4.0, üretim tesislerini daha akıllı, verimli ve esnek hale getirmeyi amaçlayan yerleşik bir küresel inovasyon programıdır (Blayone ve VanOostveen, 2021). Almanya'nın Hannover fuarında 2011 yılında gündeme gelen E4.0, dijital teknolojilerin üretimle bütünleştirilmesi amacıyla gerçek dünya ile sanal dünya arasında bağ kurarak,

teknoloji ve ekonomi boyutlarının geliştirilmesine odaklanmakta (Ferreira ve Serpa, 2018) ve birbirine bağlı üç amaç için kullanılmaktadır. Bunlar; karmaşık ağların sayısallaştırılması ve entegrasyonu, sunulan hizmetlerin ve ürünlerin dijitalleştirilmesi ve yeni pazar modellerinin oluşturulmasıdır (Zezulka ve ark., 2016). E4.0 seviyesine gelene kadar modern üretim sistemlerinin, Taylor'ın seri üretiminden Ford'un konveyör bandı aracılığıyla Toyota üretim sistemine evrilmiş olduğu görülmektedir (Cil ve Turkan, 2013). Dolayısıyla; E4.0'ın hedeflerine bakıldığında Yalın Yönetimin hedefleriyle benzerlik göstermiş olduğu görülmektedir. Yalın Yönetim'de müşteri değerini en üst seviyeye çıkartmak için temel fikir kayıpları (Muda¹) ortadan kaldırmaktır (Lean Enterprise Institute, 2022). Yalın Yönetim'in basitliği ve %25'e varan üretim artışı sağlaması küresel ölçekte benimsenmesine neden olmaktadır (Dickmann, 2007). Daha gelişmiş bir üretim yönetimine duyulan ihtiyaç ve daha talepkar müşterilerin varlığı Yalın Yönetim felsefesinin ortaya çıkmasının başlıca nedenleri arasında olup (Jasti ve Kodali, 2015), üreticilerin ve hizmet sunanların operasyonlarında ortaya çıkan kayıpları büyük ölçüde azaltmalarına yardımcı olmaktadır. Ancak; günümüzün mevcut ihtiyaç ve taleplerini karşılamada Yalın Yönetim'in sınırları bulunmaktadır. Özellikle son derece özelleştirilmiş ürünlerin seri üretimi için yeterince değişken değildir. Bu nedenle; Yalın Yönetim, modern bilgi ve iletişim teknolojilerin potansiyelini kullanmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu gereksinimden ötürü endüstride çarpıcı bir değişime neden olan E4.0 teknolojileri ile bütünleşmiş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Pereira ve Sachidananda, 2021). Çünkü; E4.0 çağında gerçekleşen dijital üretim, Yalın Yönetim'in uygulanabilmesi için daha güçlü araçlar sağlamaktadır. Aynı zamanda başta üretim işletmelerinde olmak üzere Yalın Yönetim'in uygulandığı tüm alanlarda E4.0'ın uygulanma kapsamını daha da genişletmektedir (Yang ve Liu, 2021).

Makale konusu olarak E4.0 dönüşümünde Yalın Yönetim seçilmesinin nedeni; E4.0 konusuyla ilgili olarak hatırı sayılır miktarda çalışma bulunmasına rağmen bu çalışmalarda dönüşümün nasıl yapılması gerektiğiyle ilgili olarak Türkiye'de herhangi bir kaynak ile karşılaşılma olmamasıdır. Bununla birlikte; E4.0 alanında lokomotif görevi gören Almanya'da firmaların E4.0'a geçişlerine destek olmak üzere VDMA Endüstri 4.0 kılavuzu yayınlanmıştır. Bu kılavuzla Yalın Yönetim üzerine E4.0 dönüşümleri teşvik edilmekte ve VDMA tarafından firmaların gereksinim duyduğu destek sağlanmaktadır. Böylece; firmaların E4.0 dönüşümlerinde başarıyı yakalama şansını arttırarak küresel boyutta rekabet edebilirlikleri amaçlanmaktadır. Bir diğer önemli nedende; genel literatür taramasında E4.0 dönüşümlerinde sistematik bir yaklaşımın uygulanması ile ilgili bir çalışma tespit edilememesidir. Bu çalışma ile alandaki boşluğu doldurmak üzere endüstriyel tecrübeye eklenerek aşağıdan yukarıya yaklaşım dönüşümü hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın içeriği giriş bölümünü takiben; ikinci bölümde Yalın Yönetim, E4.0 ve Yalın Yönetim ve E4.0 entegrasyonu konularında literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde; araştırma yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde bulgular ve tartışma kısmına yer verilmiştir. Son

¹ Yalın Yönetim literatüründe kelimenin Japonca'sı olan Muda kelimesi ile ifade edilmektedir.

bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçların genel değerlendirmesi yapılmış ve gelecekte tamamlayıcı olarak gerçekleştirilmesi planlanan araştırma konusu/konuları hakkında bilgi verilmiştir.

2. Literatür Araştırması

2.1. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0, üretim süreçlerin, bilgi teknolojilerin ve tekniklerin başarılı bir şekilde entegrasyonu ile sağlanan dijital üretim sistemini ifade etmektedir. E4.0'ın birincil amacı, üretim sisteminin verimliliğini ve yanıt verebilirliğini iyileştirmektir (Ahuett-Garza ve Kurfess, 2018). Literatürde endüstri çağların dört grup altında toplanmış olduğu görülmektedir. Bunlardan birincisi; makineleşmenin ve buhar enerjisinin endüstriye girmesiyle birlikte başlamıştır. İkinci sanayi devrimiyse; elektriğin endüstride kullanılması ve Henry Ford'un üretimde bant sistemini devreye almasıyla başlamıştır. Üçüncü sanayi devrimiyse; bilgi teknolojileri sistemlerinin ve otomasyonun devreye girmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu devrimi; amacı, fiziksel üretim ve operasyonlarını akıllı teknolojiler (temel olarak akıllı fabrikalar, bulut bilişim, IIoT, büyük veri, yapay zekâ, siber-fiziksel sistemler, vb.) ile entegre etmek olan sanayi devriminin yeni aşamasına karşılık gelen E4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devrimi izlemiştir. E4.0 çağında; firmalar, operasyonları üzerinde daha iyi kontrol sahibi olabilmekte, üretkenliklerini arttırabilmekte ve genel kurumsal büyümeyi iyileştirmeye yardımcı olan büyük veri analitiğini kullanmaktadırlar. Bu çağda; bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, firmaların büyük bir veri havuzuna erişmelerine olanak tanımaktadır (Pereira ve Sachidananda, 2021). Verinin üretim ve hizmet alanında doğru kullanılmasıyla firmalar süreçlerini optimize edebilmekte ve karlılıklarını arttırabilmektedir. Konunun önemi dolayısıyla literatürde E4.0 ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. E4.0 literatür araştırması

| Yazar | Konu |
|---------------------------|---|
| Adam ve ark. (2016) | E4.0'ın, endüstriyel çevre üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve bu durumun iş yapış biçimlerinde önemli değişikliklere neden olduğunu belirtmektedir. |
| Keliang ve ark. (2015) | E4.0'ın, üretim sürecinde mal ve hizmetler arasında doğrudan temasa izin veren elektronik mal ve hizmetlerin yanı sıra bireyselleştirilmiş dinamik bir üretim sistemi oluşturduğunu aktarmaktadır. |
| Heiner ve ark. (2014) | Dijital dönüşümün getirdiği değişikliklerin sadece modern inovasyon için geçerli olmadığını aynı zamanda işletmeler için de sonuçları olduğunu savunmaktadır. Geleneksel işletmelerde dahi ürün odaklılıktan hizmet odaklılığa geçişin beklendiğini aktarmaktadır. |
| Ray ve ark. (2017) | Akıllı üretimin, üretimde esnekliği nasıl artırdığını ve şirketlere bireysel kişiselleştirilmiş ürünlerin üretimi gibi seçenekler sunduğunu belirtmektedir. |
| Gerger (2021b) | E4.0 bileşenlerinden siber güvenlik konusunun temelini oluşturan blok zinciri teknolojisini ele almaktadır. Otomotiv endüstrisinde kullanım alanları incelenmektedir. |
| Sinay ve Kotianova (2018) | Üretim sektörüne fayda sağlayabilecek E4.0 teknolojileri arasında artırılmış gerçeklik, sanal montaj, otonom robotlar ve makineler, büyük veri, akıllı lojistik sistemleri, 3D baskı, vb. E4.0 teknolojilerinin kullanılmakta olduğu aktarılmaktadır. |
| Rossit ve ark. (2019) | Çalışmada; E4.0, fiziksel dünyanın sanal bir kopyasının oluşturulması ve merkezi olmayan kararların alınması olarak tanımlanmaktadır. Anında, esnek ve verimli üretim programları sağlamayı amaçlayan yeni bir karar verme şeması olan akıllı programlama konusunu detaylı olarak ele almaktadır. |
| Pereira ve ark. (2019) | Çalışmada; E4.0, yıkıcı bir teknoloji olarak vurgulanmaktadır. E4.0'ın, Yalın Yönetim uygulamalarını nasıl geliştirebileceğini araştırılmaktadır. |

| | |
|----------------------------------|---|
| Tiep ve ark. (2020) | E4.0'in iş süreçler üzerindeki rolü ve Yalın Yönetim'e olan etkisi incelenmektedir. |
| Brunheroto ve ark. (2021) | E4.0'a geçişin firmaların performansı üzerine etkileri araştırılarak Almanya ve Brezilya uygulama örneklerini kıyaslanmaktadır. |
| Çetin Gerger (2019) | Makine öğrenme, nesnelerin interneti, bulut bilişim gibi E4.0 teknolojilerin ülkelerin vergi yönetim sistemlerinde kullanılmasını ele almaktadır. |

2.2. Yalın Yönetim

Yalın Yönetimin kökeni, Japon otomobil endüstrisinde önemli bir yere sahip olan Toyota'da ortaya çıkan 'Toyota Üretim Sistemi'nden gelmektedir (Hines ve ark., 2004). Yalın Yönetim, üretim sistemi içindeki israfı yok etmeye ve/veya en aza indirmeye odaklanan, kuruluşa hiçbir değer katmayan aktiviteleri ortadan kaldırılarak sistem içindeki verimliliği en üst düzeye çıkaran bir yönetim felsefesidir. Kayıpların ortadan kaldırılmasıyla bir organizasyondaki maliyetin ve karmaşıklığın azaltmasına yardımcı olmaktadır. Bu da gerçekleştirilen faaliyetlerde daha yüksek verimlilik, etkinlik ve karlılık ile sonuçlanmaktadır (Pereira ve Sachidananda, 2021). Yalın Yönetim'in temel fikri, müşterilerin talebine göre minimum kayıpla ürün üretmek için basitleştirilmiş bir süreç akışına sahip olmaktır (Shah ve Ward, 2007). Bunu başarabilmek için Just in Time (JIT), Kanban, toplam üretken bakım (TPM) ve Heijunka gibi Yalın Yönetim tekniklerin kullanımına dayanmaktadır (Shah ve Patel, 2018). Yalın Yönetim, değeri maksimize etmeye odaklanarak operasyonel mükemmelliği amaçlamaktadır (Villalba-Diez ve ark. 2019). Yalın Yönetim ile ilgili literatür araştırıldığında birçok endüstride farklı amaçlar için başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir. Ancak; tüm bu başarılı uygulama örneklerine ve Yalın Yönetim'in elde etmiş olduğu üne rağmen modern dünyanın gereksinimlerine ve müşteri taleplerine ayak uydurmada yetersiz kaldığı noktaların varlığını savunan yazarlar da bulunmaktadır. Bunun nedeni olarak; Yalın Yönetimin çok etkili sonuçlar vermiş olmasına rağmen kişisel ürünlerin üretimi açısından yeterince etkili olamadığını, değişkenlik taleplerine hızlı reaksiyon veremediğini ve Yalın Yönetim teknikleri için teknolojik düzeyin yetersiz olduğunu ileri sürmektedirler. Yalın Yönetim hakkında gerçekleştirilen çalışmalardan bir kısmı Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Yalın Yönetim literatür araştırması

| Yazar | Konu |
|--------------------------------------|---|
| Kumar ve Mathiyazhagan (2020) | Yalın Yönetimin uygulanmasındaki güçlüklerden bahsetmektedir. Yalın Yönetimin israfları azaltmak için hızlı ve çekici bir araç olsa da şirketler uzun vadeli başarıyı sürdürmekte zorluk çekebileceği vurgulanmaktadır. Yalın Yönetimin sürdürülebilirliği için kapasitenin geliştirilmesi ve performansın iyileştirilmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. Ayrıca; Yalın Yönetimi uygulamanın çok zorlu olduğunu ve çeşitli engellerin üstesinden gelmek için tutarlı çabalar ve finansal destek gereksinimi duyulduğunu aktarmaktadır. |
| Gerger, 2019b | Yalın Yönetimin önemli tekniklerinden olan hat dengeleme ve iş yükü düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan Heijunka tekniği detaylı olarak ele alınmaktadır. Bu tekniğin kullanılmasının başlıca amacının küçük partiler halinde üretimin gerçekleştirilebilmesi olarak tanımlanmaktadır. Heijunka'nın daha etkin olarak uygulanması için yapılması gerekenler aktarılmaktadır. |
| Gerger, 2021c | Çeşitli yönetim seviyeleri tarafından gerçekleştirilen ve çalışanların, kontrol planlarına, çalışma talimatlarına, vb. iş gereksinimlerine uyup uymadığını gözlemlemek için gerçekleştirmiş olduğu denetimleri ifade eden seviyelendirilmiş süreç denetimi (LPA) konusu incelenerek Havacılık Endüstrisinde örnek bir uygulama paylaşılmaktadır. |
| Emiliani, 2011 | Yalın Yönetim'in sürekli iyileştirme ve insana saygı olmak üzere iki temel koşulunun olduğunu aktaran yazar başarısızlığın nedenini iki temel nedene bağlamaktadır. Bunlar, Yalın Yönetim'in kısa |

| | |
|---------------------------------|--|
| | vadeli bir strateji olarak düşünülmesi ve insana saygı eksikliği olarak belirtilmektedir. İnsan olmadan sürekli iyileştirmenin yapılamayacağını aktarmaktadır. |
| Fullerton ve ark. (2014) | Yalın Yönetim'in bütünsel bir yönetim strateji olduğunun aktarıldığı çalışmada; muhasebe işlemlerinde Yalın Yönetim uygulamanın faydalı olup olmadığını araştırmaktadır. Bunun için ABD'deki 244 firmaya anket uygulayarak sonuçlarını Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) ile modellemektedir. Çalışmanın sonucunda; Yalın muhasebe uygulayan firmaların, istenen faydaları elde etmek için operasyonlarla bütünleşen ve operasyonları destekleyen temel finansal kontrolleri daha başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini aktarmaktadır. |
| Shin ve Alam (2022) | Çalışmada; Yalın Yönetim stratejisinin organizasyonel inovasyon üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Yalın Yönetim ve insan kaynakları yönetiminin entegre edilerek; istenmeyen işten ayrılımların Yalın Yönetim felsefesi kullanılarak kurumsal inovasyon arasındaki ilişkileri farklı şekillerde nasıl ve neden etkileyebileceği ele alınmaktadır. Çalışmanın sonucunda; Yalın Yönetim felsefesinin organizasyonel inovasyonla önemli ölçüde ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, işten çıkarmaların ve toplu gönüllü işten ayrılımların, Yalın Yönetim felsefesi ile örgütsel yenilik arasındaki ilişki üzerindeki etkilerinin bulunduğu aktarılmaktadır. |
| Pearce ve Pons (2019) | Yalın Yönetim'in daha iyi anlaşılması ve başarılı uygulamalar yapılması için gereken konular ele alınmakta ve YEM ile modellenmektedir. Bununla birlikte; Yalın Yönetim uygulamanın avantajları ele alınmaktadır. |
| Rotter ve ark. (2019) | Makalede, sağlık hizmetlerinde Yalın Yönetim'in operasyonel bir tanımını geliştirmek, test etmek ve uygulamak için kullanılan süreç özetlenmektedir. Ayrıca; sağlık endüstrisinde veriye dayalı ilk operasyonel tanımın bu çalışma ile yapıldığı belirtilmektedir. |

2.3. Endüstri 4.0 ve Yalın Yönetim

Mevcut üretim ve iş süreçlerinin göreceli olarak yaratıcılıktan yoksun olması ve veri analitiğindeki bilgi eksikliği E4.0'ın ortaya çıkma nedenlerinin başında gelmektedir. E4.0, düşüncelerin hayata geçirilmesi ile ortaya çıkmış bir dijital çağdır. Yalın Yönetim ve E4.0'a birlikte bakıldığında bu iki kavramın birbirinden çok da farklı olmayan, birlikte kullanıldığında daha çok yarar sağlayan ve birbirine yardımcı kavramlar olduğu görülmektedir. Örneğin; Yalın Yönetim'de kullanılan çok önemli bir araç olan 'otonomasyon' E4.0 teknolojilerini büyük ölçüde etkileyebilecek bir Yalın Yönetim tekniğidir (Roy ve ark., 2015). Bu teknikte bir kusur tespit edildiğinde, otomatikleştirilmiş süreç tamamen durmakta ve kusurun montaj hattında daha fazla ilerlemesine izin verilmemektedir. Yalın Yönetim'in bu aracının aktif olarak kullanılabilmesi ancak bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmelerle mümkün olabilmektedir. Çünkü; Yalın Yönetim'in 1950'lerde icat edilmiş olması dolayısıyla o dönem dijitalleşmenin potansiyeli çok fazla hesaba katılmamıştır. Bu nedenle; geleneksel Yalın Yönetim uygulamalarında üretim süreçlerindeki ara stoklardaki veya çevrim sürelerindeki değişiklikler zahmetli ayarlamalar gerektirmektedir. Dolayısıyla; Yalın Yönetim daha kısa ürün yaşam döngüleri ve son derece özelleştirilmiş ürünler için uygunluğu sınırlı olmaktadır (Kolberg ve ark., 2017). İş de tamda bu noktada; E4.0, bu ihtiyaçları karşılayabilen bir endüstriyel otomasyon kavramı olarak ortaya çıkarak Yalın Yönetim ile bir sinerji oluşturmaktadır (Kolberg ve Zühlke, 2015; Mrugalska ve Wyrwicka, 2017). Bu önem son zamanlarda literatürde Yalın Yönetim ve E4.0 sinerjisini anlatan yayınların sayısındaki artış ile de görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Yalın Yönetim ve E4.0 literatür araştırması

| Yazar | Konu |
|--------------------------|---|
| Sanders ve ark. (2016) | Çalışmada; modern teknolojilerin, üretim organizasyonlarında Yalın Yönetim tekniklerinin benimseme engelini azaltmalarına yardımcı olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca; Yalın Yönetim ve akıllı üretim teknolojilerinin birleşik etkisinin üretkenliği artırma ve israfı azaltma potansiyeline sahip olduğu aktarılmaktadır. |
| Ana ve ark. (2019) | E4.0'ı içeren çeşitli teknolojilerden Yalın Yönetim felsefesini etkileyebilecek ve geliştirebilecek olanların IIOT, veri yönetimi (büyük veri), bulut hizmetleri, yapay zekâ ve otomasyon olduğu aktarılmaktadır. Ayrıca; E4.0 teknolojilerinin sadece imalat ve sanayi sektörünü etkilemek için değil aynı zamanda ürün ve hizmetler, beceri geliştirme, yeni iş modelleri vb. diğer alanlarda daha büyük bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmektedir. |
| Sanjib (2018) | Bir Yalın Yönetim tekniği olan Andon'un E4.0 teknolojileriyle birlikte kullanılmasıyla hatanın görünmesi ve raporlanması arasındaki sürenin kısaltılabileceği aktarılmaktadır. |
| Kolberg ve ark. (2017) | Yalın Yönetim sürecinin üretimde E4.0 teknolojilerinin benimsenmesi konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu ileri sürülmektedir. |
| Matteo ve ark. (2019) | E4.0 teknolojilerinin; aşırı üretimi en aza indirmeye ve ortadan kaldırmaya, bekleme süresini en aza indirmeye ve ortadan kaldırmaya, envanteri en aza indirmeye ve aşırı işlemeyi en aza indirmeye yardımcı olduğu aktarılmaktadır. Ayrıca; E4.0 çağında kişiselleştirilmiş ürünler bir trend haline geldiğinden, Yalın üretimin müşterilerin taleplerine ayak uydurmasının daha hızlı olacağı aktarılmıştır. |
| Kolberg ve Zühlke (2015) | E4.0 ile Yalın Yönetim entegrasyonunun oldukça uygulanabilir olduğunu ve Yalın felsefeye örtüştüğü belirtilmektedir. |
| Kamble ve ark. (2020) | Yalın Yönetim uygulamalarının E4.0 teknolojilerinin sürdürülebilir kurumsal performans üzerindeki etkisini büyük ölçüde artırabileceği vurgulanmaktadır. |
| Sony (2018) | Yalın Yönetim'in E4.0'ın uygulanmasına katkıda bulunabileceğini ancak, E4.0'ın Yalın Yönetim ile entegrasyonunu öneren literatürde çalışma eksikliğinden bahsedilmektedir. Bu çalışma ile E4.0 ve Yalın Yönetim'i bütünleştirici bir model önerilmektedir. Endüstri 4.0'ın Yalın Yönetim ile dikey, yatay ve uçtan uca mühendislik entegrasyon kuruluşlara E4.0'ı uygularken yardımcı olabileceği aktarılmaktadır. |

Tüm bu çalışmalar göstermektedir ki; Yalın Yönetim ve E4.0 çözümlerinin başarılı bir şekilde birlikte uygulanması pozitif sonuçlar doğurmaktadır. Dolayısıyla; Yalın Yönetim ve E4.0 sinerjisi çok hızlı bir şekilde değişen müşteri taleplerinin karşılanmasını ve üretim verimliliklerinin artmasını sağlamaktadır.

3. Yöntemin Seçilmesi

E4.0 dönüşümlerini gerçekleştirmek isteyen kuruluşların önünde iki stratejik yaklaşım bulunmaktadır. Birincisi; yukarıdan aşağıya yaklaşımdır. Bu yaklaşımda; özellikle geliştirilmiş bir kurumsal strateji gerekmektedir. Burada istenen hedef, durumun bir görüntüsünü oluşturmak ve ardından bu duruma nasıl ulaşılabileceğini adım adım açıklamaktır. Bu yaklaşımın uygulanması; strateji geliştirme, stratejiyi uygulama ve stratejiyi değerlendirme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Değişim yönetimi bu yaklaşımda önemli bir etken olması dolayısıyla öncelikli olarak firmada kültürel değişime gereksinim duyulmaktadır. Yukarıdan aşağıya yaklaşım bu çalışmanın kapsamında olmadığından burada detaylı olarak ele alınmamıştır. İkinci yaklaşım ise 'aşağıdan yukarıya' yaklaşımdır. Bu yaklaşım; son derece güçlü bir yönetim stratejisi olan ve doğru uygulandığında çarpıcı başarıların elde edildiği Yalın Yönetim felsefesi üzerine kurulmaktadır. Bu çalışmada aşağıdan yukarıya yaklaşım tercih edilmiştir. Bu yaklaşımın tercih edilmesinin başlıca nedenlerinden biri olarak; E4.0 devrimini ilk dile getiren Almanya'nın yöntem olarak aşağıdan yukarıya yaklaşımı öncelikli olarak tercih etmesidir. Alman endüstrisinin E4.0 dönüşümü için gereksinim duymuş olduğu destekler VDMA tarafından sağlanmaktadır. VMDA, E4.0 dönüşüm projelerinin başarılı olması ve küresel rekabet

yarışında Alman firmalarının en azından mevcut konumlarını korumasını ve pazardan daha yüksek pay almasını amaçlamaktadır. Bunun için Almanya endüstrisinde yaygın olarak ve başarılı bir şekilde uygulanmakta olan Yalın Yönetim temelleri üzerine kurulu aşağıdan yukarıya yaklaşımı teşvik edilmektedir (Regber & Zimmermann , 2007). Yalın Yönetim fikrine dayanan bu yaklaşım aynı zamanda bu fikri daha da geliştirmektedir. Bu yaklaşımda; tüm işlemler değer yaratan ve değer yaratmayan (kayıplar) aktiviteler olmak üzere iki kategoriye ayrılmasına dayanmaktadır. Bir ürün veya hizmet için müşterinin para ödemeye razı olduğu kısım katma değerli aktiviteler olarak tanımlanmaktayken (Regber ve Zimmermann, 2007) diğer yapılan tüm aktiviteler ise katma değersiz olarak değerlendirilmektedir. Bir örnek olarak çamaşır makinesi son montaj hattı üzerinden bakıldığında katma değerli faaliyetler aşağıdaki gibidir:

- Gövdenin şekillendirilmesi.
- Gövdenin boyanması.
- Motor milinin sertleştirilmesi.
- Motor milini taşlanması.

Bu işlem adımları müşterinin fiilen kullandığı, üründe gerçek bir değer artışının üretildiği ve müşterinin para ödemeyi kabul ettiği faaliyetlerdir. Bu işlemler dışında kalan tüm faaliyetler ise katma değersiz faaliyetlerdir. Taichi Ohno'nun 'Toyota Üretim Sistemi' adlı kitabında bu kayıplar yedi başlık altında toplanmıştır. Bunlar (Ohno, 1988):

- Aşırı üretimler
- Bekleme süreleri
- Taşımalar
- Aşırı işlemler
- Stoklar
- Gereksiz hareketler
- Kusurlu ürünler

Bu kayıpların ortadan kaldırılması ya da etkilerinin azaltılmasıyla tam zamanında üretim (JIT) hedefi türetilmiştir. JIT ile müşterinin ihtiyaç duyduğu ürünler, doğru zamanda ve doğru miktarda, istenilen kalitede ve uygun fiyata teslim edilmektedir. JIT'nin benimsenmesiyle istenmeyen envanterin üretilmesi engellenmektedir. Bu yaklaşımı tutarlı ve sürdürülebilir bir şekilde takip eden firmalar 1990'larda ve 2000'lerde önemli verimlilik kazanımları elde etmişlerdir. Ancak tüm kazanımlara rağmen kayıpların ortadan kaldırılmasının da sınırlarının olduğu ortaya çıkmıştır. E4.0 teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte Yalın Yönetim için yeni fırsatlar doğmaktadır. Örneğin, daha küçük parti büyüklükleri çok daha olası bir durum haline gelmektedir. Çünkü; E4.0 çağında ürünün kendisi bilginin kaynağıdır. Böylece; malzeme ve bilgi akışı arasındaki karmaşık koordinasyon problemleri ortadan kalkmaktadır. Ya da durum izleme yaklaşımları E4.0 bileşenleri sayesinde makinelerin ve sistemlerin arıza olasılığı hakkında çok daha iyi bir tahmin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Aslında; aşağıdan yukarıya yaklaşımın temeli tam olarak budur. Mevcut süreçlerin analiz edilmesi, mevcut

kayıplar belirlenmesi ve yeni teknolojilerin kullanılmasıyla daha iyi çözümlerin aranmasıdır. Kayıpların tespit edilmesine yönelik olarak kullanılan en önemli Yalın Yönetim araçlarından biri değer akış haritalama (Value Stream Mapping - VSM)'dir. Değer akış haritalama siparişin alınmasından başlayarak ürünün/hizmetin müşteriye teslim edilmesine kadar olan tüm süreci izleyen, ürün ve bilgi akışını tek bir sayfada gösterilmesini sağlayan çok güçlü bir tekniktir. VSM, üretim adımlarını ve dolaylı adımları (örneğin; satış, satın alma, üretim kontrolü, proses, montaj, vb.) kapsayacak şekilde tüm sürecin akışını kaydetmektedir. VSM, E4.0 çözümlerinin yardımıyla daha iyi bir süreç vizyonunun tasarlanabileceği temelinde mevcut değer akışının kapsamlı bir resmiyle sonuçlanmaktadır. Genel olarak süreç adımları düzeyinde bir genel bakış sağlamaktadır. E4.0 çözümleri, artık görünür hale gelen kayıpların olası çözüm yelpazesini genişletmektedir. Benzer şekilde E4.0 teknolojileri, bir üretim adımında toplam ekipman verimliliğini (Overall Equipment Efficiency- OEE) arttırmakta ve sonuçta ortaya çıkan envanterin, makine verilerinin ve kayıp sürelerinin gerçek zamanlı olarak analiz edilmesini sağlamaktadır.

Yalın Yönetim'in bir diğer önemli konusu da 'Detaylı Süreç Analizi'dir. Detaylı süreç analizi, sipariş kontrolü ve bilgi akışını takip etmek için kullanılmaktadır. VSM ile aynı şekilde oluşturulmaktadır. Ancak; bireysel faaliyetlerin seyrini ve bir süreç adımını izlemek için gerekli olan farklı noktalar arasındaki etkileşimleri kaydetmektedir. İletişim problemleri, fazlalıklar veya sürekli doğaçlamalara kadar görünür hale getirmektedir. Yalın Yönetim'in bu tekniğinde E4.0 yaklaşımları yeni çözümlere olanak sağlamaktadır. Veri uyumluluğunu teşvik etmek, şeffaflığı görselleştirmek veya güncel verileri sağlamak buna örnek olarak verilebilir. Bu amaçla kullanılan diğer Yalın Yönetim aracıda 'iş akış analizi'dir. İş akış analizinin kullanılma nedeni; kayıpların büyük bir bölümünün farklı kayıp türlerinin karışımından kaynaklanmasıdır. Bekleme süreleri, dengelenmemiş iş süreçleri ya da kararsız üretim verilerinden kaynaklanmaktadır. Ergonomik olarak uygun olmayan işyerleri, artan hareketler dolayısıyla fiziksel yorgunluğa yol açmaktadır. İş akışı analizi, her bir bireysel aktiviteyi kaydetmektedir ve iyileştirmeler için onu değer yaratan faaliyetler veya kayıplar olarak sınıflandırmaktadır. Aynı zamanda, iş ile ilgili süreçlerin senkronizasyon anlamında dengelenmesi ve müşteri döngüsü ile uyumlu hale getirilmesi için temel oluşturmaktadır. Çalışanın ergonomik rahatlığı için insan-robot iş birliğinin kullanılmasını teşvik etmektedir. Yalın Yönetim'in TPM (Total Productive Maintenance) gibi araçlarında E4.0 teknolojileri kullanılarak; 'ışıkla seç', 'sesle seç', vb. yöntemler kullanılarak yanlış bileşenlerin kullanılması, yanlış işlem sırasının gerçekleştirilmesi gibi pek çok hatadan kaçınılabilmektedir. Benzer şekilde, RFID kullanımıyla çalışanın rezervasyon veya belgeleme gibi zaman alıcı faaliyetlerden kurtarmak mümkün olabilmektedir (Regber ve Zimmermann, 2007).

4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmanın bu bölümünde günümüz endüstrisinde yaşanan teknolojik dönüşümün nedenlerinin ve gereksinimlerinin kök nedenleri incelenmektedir. Bunun için öncelikli olarak, teknolojideki bu muazzam gelişimin firmaları ve kişileri nasıl etkilediği ve ne tür beklentiler içine soktuğu araştırılmıştır. Beklentiler ile ilgili elde edilen bulgular; sosyal ve teknolojik devrim, endüstriyel ve teknolojik değişimler ve iş gücü piyasalarındaki değişimler olarak üç grup altında toplanmakta (Regber ve Christian, 2017) ve bu gruplara ait inceleme sonuçları paylaşılmaktadır. Beraberinde; E4.0 uygulanmasında seçilen yöntemlerden biri olan ‘aşağıdan yukarıya yaklaşım’ ele alınarak; Yalın Yönetim ve E4.0 etkileşimi araştırılmıştır.

4.1. Sosyal ve Teknolojik Devrim

Endüstri 4.0’ın itici güçlerinden birini sosyal ve teknolojik devrimler oluşturmaktadır. Bu devrimler sadece E4.0 çalışmalarını değil aynı zamanda Yalın Yönetim çalışmalarını da etkilemektedir. Dünya Ekonomik Formu, 2015 ilkbaharında 800 üst düzey yönetici ve uzmanla yaptığı anket çalışmasında; katılımcılardan 2025 yılına kadar ne tür değişimler beklediklerini belirtmelerini istemiştir. Bu anket çalışması sonucunda elde edilen bilgiler Tablo 4’te gösterilmiş olduğu gibidir (World Economic Forum, 2015).

Tablo 4. 2025 yılına kadar yaşanacak değişimler hakkında beklentiler

| Konu | Açıklama | Tahmin Edilen Olasılık |
|---|--|------------------------|
| İnsan vücuduna yerleştirilebilir teknolojiler | İletişim, konumlandırma, davranış izleme, tıbbi amaçlar, vb. amaçlar için kullanılan fiziksel cihazlar insan vücuduna entegre edilecek. | %81,7 |
| Dijital varlık | İnsanların %80’i bir tür çevrimiçi varlığa sahip olacak. | %84,4 |
| Yeni ara yüz olarak vizyon | Okuma gözlüklerinin %10’u artırılmış gerçeklik amacıyla internete bağlı olacaktır. Bu teknoloji, ek bilgi veya uzaktan yardım sağlanmasına izin verecek. | %85,5 |
| Giyilebilir internet | Tüm insanların %10’u internete bağlı giysiler giyeceğinden, bilgisayarlar günlük hayatın değişmez bir parçası olacak. | %91,2 |
| Her yerde bilgi işlem | Nüfusun %90’ının internete düzenli erişimi olacak. | %78,8 |
| Her kesin cebinde süper bir bilgisayar | Nüfusun %90’ı akıllı telefon kullanacak. | %80,7 |
| Herkes için depolama | Nüfusun %90’ı sınırsız ve ücretsiz (reklamla finanse edilen) depolama alanına sahip olacak. | %91,0 |
| Nesnelerin interneti | Bir trilyon sensör internete bağlı olacak. Bu şekilde toplanan veriler, tamamen yeni bir analiz kapsamına izin verecek. | %89,2 |
| Bağlı ev | Evlerdeki internet yoğunluğunun %50’sinden fazlası akıllı ev cihazlarından oluşacak (eğlence veya iletişim teknolojisi hariç). | %69,9 |
| Akıllı şehirler | Elli binden fazla sakini olan bir şehirde hiç trafik ışığı olmayacak. | %63,7 |
| Kararlar için büyük veri | Büyük veri ile nüfus sayımı yapılacaktır. | %82,9 |
| Sürücüsüz arabalar | ABD’deki arabaların %10’u sürücüsüz olacak. | %78,2 |
| Yapay zeka ve karar verme süreçleri | Yapay zekaya sahip ilk makine bir şirketin yönetim pozisyonunda çalışmaya başlayacak. | %45,2 |
| Yapay zeka ve beyaz yakalı işler | Kurumlardaki tüm denetimlerin %30’u yapay zeka tarafından gerçekleştirilecek. | %75,4 |

| | | |
|-------------------------------|--|-------|
| Robotik ve hizmetler | İlk eczane robotları ABD'de faaliyette olacak. | %86,5 |
| Bitcoin ve Blok zinciri | Küresel ekonomik çıktının %10'u blok zinciri teknolojisinde depolanacak. | %57,9 |
| Paylaşım ekonomisi | Dünya çapında kişisel araçlardan daha fazla araç paylaşımlı olarak kullanılacak. | %67,2 |
| Hükümetler ve Blok zinciri | Vergiler blok zinciri aracılığıyla toplanacak. | %73,1 |
| 3D baskı ve üretim | 3D ile üretilmiş ilk araba olacak. | %84,1 |
| 3D baskı ve insan sağlığı | 3D ile basılmış bir karaciğerin ilk nakli gerçekleştirilecek. | %76,4 |
| 3D baskı ve tüketici ürünleri | Tüm tüketici ürünlerinin %5'i bir 3D yazıcıdan gelecek. | %81,1 |

4.2. Endüstriyel ve Teknolojik Değişimler

Yalın Yönetim, endüstrideki kaliteyi ve tam zamanında teslimat oranını maksimize etmeyi, aynı zamanda tüm maliyetleri aşağı çekmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle; endüstrilerde yaşanan değişimlere ayak uydurması gerekmektedir. Bu noktada; Yalın Yönetim, E4.0 teknolojilerini Yalın teknikleriyle entegre ederek teknolojik trendleri yakalamaktadır. Bu konuda üç mega trend bulunmaktadır. Bunlar; fiziksel mega trendler, dijital mega trendler ve biyolojik mega trendlerdir (Schwab, 2016).

4.2.1. Fiziksel mega trendler

Fiziksel mega trendleri aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

- *Kendinden tahrikli motorlu araçlar:* Ürün teslimatında kullanılan otonom araçlar, dronlar, vb. bu grupta yer almaktadır.
- *3D baskı:* Sıvı ve toz halindeki malzemelerinin birbiri üzerine eklenmesiyle gerçekleştirilen üretim şeklini tanımlamaktadır.
- *Gelişmiş robotik:* İnsanla senkronize bir şekilde çalışan robotlar, hava taksiler, evlerde kullanılan robotlar, nano teknoloji robotları, taşıma robotları, vb. bu grupta yer almaktadır.
- *Yeni Malzemelerin Kullanımı:* Daha küçük, daha hafif ve daha güçlü malzemeler, yeni fizyokimyasal özelliklere sahip malzemeler (Isaiah, 2015) ve son olarak kendi zekasına sahip malzemeler bu grupta yer almaktadır.

4.2.2. Dijital mega trendler

IIoT tarafından ağ bağlantılı teknolojiler ve bileşenlerin etkileşimi ile tanımlanmaktadır (Schwab, 2016). Burada anahtar kelime büyük veridir. Veriler birbirleriyle eşleştirilebilmektedir. Bu da ilişkilerin tanımlanmasına izin vermektedir. Hatta bazı uzmanlar, büyük veri çağında ilişkilerin klasik nedensellik arayışını gereksiz bulmaktadır (Mayer-Schönberger ve Cukier, 2014).

4.2.3. Biyolojik mega trendler

Gen dizilimi, gen aktivasyonu ve gen düzenleme gibi konuları içermektedir. Biyolojik mega trendler, organizmaların DNA diziliminin uyarlanmasına izin veren sentetik bir biyolojinin geliştirilmesiyle ilgilenmektedir. Böylece; çeşitli genetik hastalıkların tamamen yeni bir biçimde tedavi edilmesini amaçlamaktadır (Schwab, 2016).

4.3. İş Gücü Piyasalarındaki Değişimler

Yalın Yönetim'in ve E4.0'ın temel amacı endüstrilerdeki verimliliği arttırmaktır. Yalın Yönetim, merkeze insanı koymaktadır. Sürekli iyileştirmelerin ancak insanla var olacağını savunmaktadır. Diğer taraftan E4.0 ise teknolojiye yaşanan ilerlemelerle birlikte ağır ve tehlikeli işlerin makinalar tarafından gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Ancak; teknolojik gelişmeler beraberinde çeşitli tartışmaları da getirmiştir. Bu noktada; iş gücü piyasasında yaşanan değişimler iki farklı açıdan değerlendirilmektedir. Birinci görüşü siyasetçilerden oluşan ve E4.0'a iyimser bakan ve çalışanlara yeni kapıların açılacağını ileri süren görüş oluşturmaktadır. İkinci görüşü ise teknik inovasyonların her zaman çalışanları işsiz bıraktığına inanan kutup oluşturmaktadır. Ancak; teknolojinin gelişmesiyle ortadan kalkan bu işlerin yerini büyük bir olasılıkla başka yerlerde ve alanlarda yeni işlerin alacağı inancı bulunmaktadır (Schwab, 2016). Yeni yapılan bir araştırmada teknolojinin gelişmesiyle birlikte en yüksek risk altında yer alan meslek gruplarının Tablo 5'te gösterilmiş olduğu gibi gerçekleşeceği düşünülmektedir (Frey ve Osborne, 2021).

Tablo 5. E4.0 çağında en çok risk altında bulunan meslekler ve etkilenme oranları

| Risk Oranı | Meslek |
|------------|---|
| %99 | Tele pazarlamacılar |
| %99 | Muhasebeciler |
| %98 | Sigorta eksperleri |
| %98 | Hakemler ve diğer spor görevlileri |
| %98 | Avukatlar |
| %97 | Restoranlarda/barlarda/kafelerde görevli garsonlar |
| %97 | Emlakçılar |
| %97 | Tarım sektöründe mevsimlik işçiler |
| %96 | Sekreterler ve idari asistanlar (hukuk, tıp ve idari işler hariç) |
| %94 | Kuryeler ve teslimatçılar |

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte en az risk altında olan meslekler ise Tablo 6'da gösterilmektedir (Schwab, 2016).

Tablo 6. E4.0 çağında en az risk altında bulunan meslekler ve etkilenme oranları

| Risk Oranı | Meslek |
|------------|---|
| %0,31 | Ruh sağlığı ve madde bağımlılığı alanında çalışan sosyal hizmet uzmanları |
| %0,40 | Koreograflar |
| %0,42 | Tıp pratisyenleri |
| %0,43 | Psikologlar |
| %0,55 | İnsan kaynakları yöneticileri |
| %0,65 | Bilgisayar sistemleri analistleri |
| %0,77 | Antropologlar ve arkeologlar |
| %1,00 | Deniz ve deniz mühendisleri |
| %1,30 | Pazarlama direktörleri |
| %1,50 | Üst düzey yöneticiler |

Tablo 5 ve 6 incelendiğinde; tekrarlayan ve kas gücüne dayalı işlerde çalışan sayısının giderek azalacağı ve insanların daha yaratıcı işlerde ve insan onuruna yakışır alanlarda çalışacağı öngörülmektedir (Schwab, 2016). Esasen bu çalışmanın kökeni MIT araştırmacılarından Acemoglu ve Autor'un (2010) işlerdeki görevleri bir matriste organize etmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu matristeki eksenlerden biri manuel çalışma ile bilişsel çalışmayken diğeri ise rutin ve rutin olmayan çalışmalarla ilgilidir. Sosyal ve yaratıcı becerilere gereksinim duyulan işlerin E4.0 riskinin en düşük olduğu meslek grupları olduğu ifade edilmektedir. Bu durum zor zamanlarda karar verebilme yeteneğinin önemli bir beceri olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çağda; karmaşık problem çözme becerilerine, kişilerarası becerilere ve sistem uzmanlığına büyük ihtiyaç duyulmaktadır (Brynjolfsson ve McAfee, 2014).

4.4. Aşağıdan Yukarıya Yaklaşım

Bu yaklaşım Yalın Yönetim üzerine tasarlanmış bir yaklaşım olup; Dennis ve Detlef (2015), bunun nedenini olarak E4.0'ın Yalın Yönetim ile entegrasyonunun oldukça uygulanabilir bir yapıya sahip olmasını göstermektedir. Bu yaklaşım 11 madde altında ele alınmakta olup E4.0 ile beraberinde getirdiği fırsatlar değerlendirilmektedir. Bunlar:

4.4.1. Kayıplar

Yalın Yönetim'in en önemli ilkelerinden biri gerçekleştirilen faaliyetlerin 'değer' yaratan ve yaratmayan aktiviteler olarak sınıflandırılmasıdır. Kayıplar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Ohno, 1988):

- *Aşırı üretimler:* Müşterinin şu anda ihtiyaç duymuş olduğundan daha fazla üretilmesidir. Bu ürünler, depo kapasitesini kullanan ve ek iş oluşturan malzemelerdir.
- *Bekleme süreleri:* Bir makinanın ya da operatörün işlerinin engellenmesi sonucu oluşan kayıp türüdür. Bir makinanın, bir operatörün, elektronik ya da manuel olarak sağlanan bir bilginin beklenilmesi buna örnek verilebilir.

- *Taşımalar:* Yönetim ve lojistik açısından büyük çaba gerektiren ancak müşteriye hiçbir fayda sağlamayan taşımalardır.
- *Aşırı işlemler:* Sürecin gereksiz ve verimsiz adımlarını ifade eder. Yanlış veya ters sırada olan işlem adımları ve makinelerin uzun süre boшта kalmaları ve müşterinin talep etmediği işlemler için harcanan sürelerdir.
- *Stoklar:* Aşırı üretimin aksine, bu tür kayıplar hammadde ve/veya yarı mamul stoklarına odaklanır. Stoklar, süreçteki açıkların sonucu oluşur. Stokların mümkün olan en düşük seviyede olması beklenir.
- *Gereksiz hareketler:* Ürüne değer katmayan insan ve makine hareketleridir. Daha geniş anlamda, zaman alan toplantılar veya gereksiz verilerin toplanması gibi bir kuruluş içindeki çok çeşitli dahili görevler de bu tür israfa dahil edilebilir.
- *Kusurlu ürünler:* Ürün ya da süreçte meydana gelen hatalar dolayısıyla gerçekleştirilen faaliyetleri ifade eder. Tamirler, hurdalar ve ilk seferde doğru yapılmayan tüm aktiviteler örnek olarak verilebilir.

E4.0, kayıpların ortadan kaldırılması için birtakım fırsatlar sunmaktadır. Bu çağda ürünün kendisi bir veri olduğundan süreçle ilgili olarak daha fazla ve anlık bilgi elde edilebilmektedir. Bu nedenle; daha büyük partiler halinde üretimin gerçekleştirilmesi yerine daha küçük partilerle üretimin mümkün hale gelmesiyle kayıplar mümkün olan en az seviyeye indirgenebilmektedir.

4.4.2. Değer ekleme

Katma değer, bir hizmetin fiziksel olarak işlenmesi veya eklenmesiyle yaratılan değer artışını tanımlamaktadır. Firmalarda katma değer genellikle istihdam edilen çalışan sayısına göre belirlenir. Ancak; otomasyon seviyesi dikkate alınmadığında bu durum yanlış yorumlara neden olabilmektedir. Değer yaratmayı iyileştirmeye yönelik bir yaklaşım, firma içinde kullanılan otomasyon derecesini artırarak manuel işlemleri azaltmaktır. Bunun için gerekli yatırımların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada E4.0, otomasyon konusunda Yalın Yönetimi desteklemektedir.

4.4.3. Tedarik süresi

Tedarik süresi (Lead time -LT), siparişin alınmasından ürünün bitmiş ürün envanterine ulaşmasına kadar geçen planlı süreyi ifade etmektedir (Schneckenreither ve ark., 2021). LT'yi azaltmak için ürünün bekleme süreleri dikkate alınmalıdır. En iyi durum, üretimin bir akış halinde gerçekleştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Yalın Yönetim'de buna tek parça akış (one piece flow) denilmektedir. Bununla birlikte, bu tür üretim genellikle mekânsal ayırım, kararsız süreçler veya uzun kurulum süreleri gibi organizasyonel ve üretimle ilgili teknik engeller içermektedir. Bu nedenle, üretim süresindeki sürekli azalma, tüm üretim sisteminin kapsamlı bir analizinin yanı sıra bunun sonucu olan optimizasyonu gerektirmektedir.

4.4.4. Tam zamanında üretim

Tam zamanın üretim (On-time delivery), ürünün müşterinin istediği zamanda, miktarda ve yere teslim edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Tam zamanında teslimat oranını arttırabilmek için Yalın Yönetim'in dördüncü prensibi olan çekme sistemine göre üretim gerçekleştirilmektedir. Çekme, sonraki aşamaların müşteri talep etmeden hiçbir şekilde önceki aşamalara ürün ya da hizmet üretmemesini ifade etmektedir (Womack ve Jones, 2002). Ayrıca; tüm tedarik zinciri boyunca ürünler/malzemeler E4.0 teknolojilerinden biri olan RFID çiplerinin kullanılmasıyla tam zamanlı olarak izlenebilmekte ve gerektiğinde bu anlık bilgiye göre gerekli aksiyonlar alınabilmektedir.

4.4.5. Hata Oranı

Günümüz modern işletmelerinde ürünlerin/hizmetlerin kalitesi son derece önemli bir endişe kaynağı durumundadır. Sözleşme limitlerinin altında kalitede üretilen ürünler/hizmetler müşteri memnuniyetini azaltmakta, verimliliği düşürmekte ve iş operasyonlarının maliyetini arttırmaktadır. Kök nedenleri ortaya çıkarmak ve üretim hattındaki değişkenliği ortadan kaldırmak önem arz etmektedir. Bunun için oluşan hataların önceliklendirilmesi ve ortadan kaldırılması amacıyla; Pareto analizi, beş neden analizi (5Why) ve Ishikawa Diyagramı gibi yöntemler kullanılarak kök nedenler tespit edilmeye çalışılmaktadır (Tsou ve Chen, 2005). Hata oranı, kusurlu ürünlerin üretime giren toplam ürün adedine bölünmesiyle elde edilen oranı ifade etmektedir. Oranlar, milyonda hata sayısı (PPM²) cinsinden gösterilmektedir. Hata oranını mümkün olan en düşük seviyeye çekmek için birçok Yalın Yönetim tekniği kullanılmaktadır. Bunların en çok kullanılanlarından başlıcaları aşağıda gösterilmiştir.

- *Poka Yoke*: Hata önleme anlamına gelen bu Yalın Yönetim tekniği Dr. Shigeo Shingo tarafından 1961 yılında geliştirilmiştir. Poka Yoke, uygunsuz kalitede ürünlerin üretilmesine neden olan faktörleri önlemek veya insandan kaynaklanan hataları ortadan kaldırmak için kullanılan süreç ekipmanları olarak tanımlanmaktadır. Poka Yoke tasarımı üretim cihazı, Dr. Shigeo Shingo'nun sıfır kalite kontrol konseptinin temellerinden birini oluşturmaktadır. Poka Yoke tasarımı, yeniden kusur üretme riskini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Kök nedenleri ortaya çıkarmak ve üretim hattındaki değişkenliği ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır (Tsou ve Chen, 2005).
- *TPM*: Japonya Tesis Bakım Enstitüsü (JIPM), 1971'de toplam üretken bakımı (Total productive maintenance- TPM) tanımlayan ilk kuruluştur. TPM, özellikle ekipmanın etkinliğini artırma yöntemleri yoluyla, üretim ortamının genel etkinliğini arttırmak için kullanılmaktadır. TPM, 1980'lerin sonlarında batı ülkelerinde daha popüler hale gelerek aktif bir şekilde uygulanmaktadır. TPM'nin uygulanması, kayıpları azaltmak için sürekli iyileştirme yöntemlerin uygulanmasını içermektedir. Ürünlere eklenen değer genellikle makine ve ekipmanı içermekte ve ekipmanla ilgili kayıpları iyileştirmeye odaklanmaktadır (Suryaprakash ve ark., 2021).

² $PPM = \frac{Kusurlu\ Adet}{Toplam\ Adet} * 1,000,000$

TPM'nin; önleyici bakım, kestirimci bakım ve proaktif bakım olmak üzere üç türü bulunmaktadır (Nakajima, 1988). Burada gerçekleştirilen aktivitelerle sorunun oluşmadan çözümünü hedeflemektedir.

- *FMEA*: Her ne kadar Yalın Yönetim'in bir aracı olarak ortaya çıkmamış olsa da Yalın Yönetim'in uygulandığı yerlerde çok aktif bir şekilde uygulanmaktadır. Hata türleri ve etkileri analizi (Failure Mode and Effect Analysis - FMEA), potansiyel arızaların, hataların, olayların, vb. daha meydana gelmeden önce tespit edilebilmesini sağlamak için kullanılmaktadır. FMEA, geriye dönük olarak gerçekleştirilen olay analizi ve kök neden analizlerinin aksine, arızaları tespit etmek için proaktif bir yaklaşım sunmaktadır (Anjalee ve ark., 2021). FMEA, hataları meydana gelmeden önce tespit edebildiği için havacılık, uzay, nükleer enerji, otomotiv, vb. endüstriler tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Ashley ve ark., 2010).

4.4.6. *Envanter taahhüdü*

Envanter taahhüdü, müşteriye cevap verebilmek için firmada tutulan ham madde, yarı mamul ve bitmiş ürünleri ifade etmektedir. Envanter taahhütleri mümkün olduğunca küçük tutulmaktadır. Klasik şirketler genellikle %40 ile %60 arasında bir portföye sahip olmaktadır. Üretimlerini optimize etmek için daha fazla zaman harcayan şirketler ise %2 ile %5 arasında envanter seviyelerine ulaşabilmektedir. Envanter seviyesini düşürmek için birtakım çalışmalar yapılabilir. Envanter, doğrudan üretim süresiyle ilgilidir. Üretim süresi ne kadar kısa olursa, aynı zamanda stok devir hızı o kadar yüksek olmaktadır. Envanter taahhüdü aynı zamanda hammaddelerin ikmal süresiyle de bağlantılıdır. Harici tedarikçilerden hammadde siparişi vermek ne kadar uzun sürerse, envanter ile ilgili parçaların temini o kadar fazla olmaktadır. Yüksek ürün çeşitliliği genellikle birçok parça numarası için belirli bir envanterin tutulması gerektiği anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, depolanan parçaların değeri son derece yüksek olmaktadır. Hizmet yelpazesinin ayarlanması, envanteri azaltmak için genellikle hayati bir önem taşımaktadır. Müşteri gereksinimlerinden kaynaklı olarak ürün çeşitliliğinin fazla olması durumunda, katma değerli süreçlerin analiz edilmesi gerekmektedir (Regber ve Zimmermann, 2007).

4.4.7. *Değer akış haritalama*

VSM, üretim sürecinde ekipman, bilgi, zaman ve malzeme verimsizliklerinden kaynaklanan kayıpları tanımlayan, gösteren ve ölçen görsel bir yöntemdir (Ramsunder ve Olanrewaju, 2021). Aynı zamanda; sürecin güçlü ve zayıf yönlerinin yanı sıra gecikmelerin nedenlerinin, gereksiz işlerin ve maliyet faktörlerinin tanınmasına da izin vermektedir. E4.0 beraberinde kayıpların çözümü için önemli olanaklar sağlamakta olup ele alınması gereken çok sayıda gerekli belge ve doküman bilgi akışının sayısallaştırılması için önemli bir argüman sağlamaktadır. E4.0 ile gerçek zamanlı olarak kayıp verileri toplanabildiğinden VSM çalışmalarının etkinliğini daha da arttırmaktadır. Böylece; aksiyonların çok hızlı bir şekilde alınmasına olanak sağlamaktadır.

4.4.8. Takt zamanı

Henry Ford, otomobil imalatında montaj hattını tanıttığından beri üretim sistemleri firmanın istenen çıktı hızından ve mevcut işlem süresinden türetilen sabit bir takt zamanı etrafında inşa edilmektedir (Mönch ve ark., 2021). Takt zamanı (Takt time - TT), müşterinin bir ürünü teorik olarak kaç saniyede, dakikada veya saatte bir sipariş ettiğinin zaman değerini tanımlamaktadır. TT, ilgili üretim alanının kapasite kullanımı hakkında önemli açıklamalar sağlamaktadır. Buna dayanarak, daha fazla sipariş kabul etmek, kapasiteyi azaltmak veya kapasite oluşturmak için kararlar alınabilmektedir.

4.4.9. Hat dengeleme

İş ile ilgili ve doğrudan üretim süreçlerine kadar uzanan hat dengesi (Akış düzeni: Hat, U-şekli, vb.), tek parça akışı gerçekleştiriminin temelini oluşturmaktadır. Amaç, ilgili iş istasyonlarının zamanlarını sabit hızda çalışmayı mümkün kılacak şekilde koordine etmektir. Bu, belirli iş öğelerinin yeniden dağıtılması ve iş akışlarının optimize edilmesiyle sağlanabilmektedir. Benzer şekilde, değer katmayan faaliyetler ortadan kaldırılmakta ve/veya üretimi destekleyen işlemlere devredilmektedir. Çalışanların standart elektronik tablolar temelinde eğitilmesi, işin kapsamına, sırasına ve ilgili zaman değerlerine bağlı kalmak için ön koşulları yaratmaktadır. E4.0 iş sistemleriyle hat dengesi sırasında birkaç farklı değer akışının dikkate alınması gerekmektedir. E4.0'ın özelliklerinden biri, ürünlerin RFID'de depolanan dijital iş planına göre kaynaklarını bağımsız olarak planlamaktır. Örneğin; birden fazla ürünün aynı kaynağa erişmesi durumunda sistemde geçici darboğazlara yol açabilmektedir. Hat dengesi her zaman dinamik değerlendirmeler altında yapılmaktadır.

4.4.10. İş sırası analiz prosedürü şeması

İş sırası analiz prosedür şeması, değer yaratma ve kayıplar için döngüsel iş dizilerini analiz etmektedir. İş akış analizinin temelini TT oluşturmaktadır. Döngüsel bir iş dizisi için gereken süre bundan daha yüksekse acilen optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, iş akışı analizi prosedür şeması, iş istasyonlarının hat dengesi için temel olarak kullanılabilir. Bu durumda, ilgili üretim sürecinin tüm iş istasyonları kaydedilmektedir. Daha sonra, işi zamanında koordine etmek için temel oluşturan grup genel bakış tablosuna dönüştürülmektedir. E4.0 koşullarında prosedür şemasının kullanımı şu şekilde ele alınabilmektedir. İnsan-robot iş birliğinin planlanması için E4.0 yönleri altında iş akışı analiz prosedür şemasının kullanılması özellikle tavsiye edilmektedir. İnsan ve makine iş birliği optimum bir şekilde birbirine kenetlenmesi mümkün olacak şekilde ve ilgili diğer tarafı beklemekten kaçınacak şekilde birbiriyle koordine edilmektedir.

4.4.11. Detaylı süreç analizi

Detaylı süreç analizi, bir yandan bireysel özellikleri tasvir etmek ve süreçlerde iyileştirmeler sağlamak için değer akış analizi ile alınan süreçleri desteklemektedir. Öte yandan, hassas süreç analizi ile idari alanlardaki iş akışlarının kaydedilmesi için ideal biçim sağlamaktadır. Buradaki amaç ortaya çıkan

kayıp, kalite ve bilgi eksikliklerini gidermektir. Bu problemler, çeşitli yazılım sistemlerinin kullanılmasından meydana geldiği gibi ilgili adımdan önceki yüksek envanter seviyesi, uzun üretim süreleri ve sistemdeki kesintileri içermektedir. Amaç, yeni tasarlanan süreci takt zamanı ile tamamen uyumlu hale getirmektir. Süreç analizi, özellikle gereksiz veya yetersiz iletişim süreçlerini görünür kılmak için uygunluk sağlamaktadır. E4.0’da veri uyumluluğunu sağlamak, görselleştirme yoluyla şeffaflık oluşturmak veya güncel verileri sağlamak için büyük fırsatlar barındırmaktadır.

5. Sonuç

Japon endüstrilerinde elde edilen verimlik artışı tüm dikkatlerin buraya çevrilmesine neden olmuştur. Bunun nedeni araştırıldığında; bu verimlilik artışının sistematik bir yönetim felsefesinin kullanılmasından kaynaklandığı görülmektedir. Bu yönetim felsefesini batı dünyası Yalın Yönetim olarak adlandırırken; doğduğu yer olan Japonya’da ise Toyota Üretim Sistemi (Toyota Production System - TPS) olarak bilinmektedir. Yalın Yönetim, beş prensip üzerine kurulmuş bir yönetim felsefesidir. İlk prensip ‘değer’ olarak tanımlanmıştır. Değer, müşterinin para ödemeye istekli olduğu ve ürünün üzerinde dönüşüm sağlayan aktiviteler olarak tanımlanmaktadır. Bu aktivitelerin dışında kalan diğer tüm faaliyetler ise kayıplar olarak adlandırılmıştır ve Ohno’nun yedi muda kapsamına girmektedir. Muda’lar, üretim/hizmet verimini düşüren, hata oranlarını arttıran, müşteri şikayetlerine neden olan ve maliyetleri arttıran istenmeyen aktiviteler olup sistemden ivedilikle uzaklaştırılması gerekmektedir. İkinci prensip ise ‘değer akışı’dır. Burada; VSM’ler yapılarak süreçteki katma değerli ve katma değersiz aktiviteler tespit edilmekte ve Kaizen’lerle sistemden uzaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Üçüncü prensip ise ‘sürekli akış’tır. Sürekli akış, tanımlanan değer (malzeme ya da bilgi) tüm değer yaratan süreçler boyunca kesintiye uğramadan akışını sağlamaktır. Sürekli akışın sağlanması için tek parça akış sisteminin kurulması ve henüz hata oluşmadan olası risklerin analizi (FMEA, vb.) gerçekleştirilerek akışın kesintiye uğramasının engellenmesi ile sağlanmaktadır. Dördüncü prensip ise; ‘çekme sistemi’dir. Burada; iç ya da dış müşterinin talebi olmadan (Kanban, vb. ile) hiçbir şekilde herhangi bir malzemenin üretilmemesi ya da hizmetin sunulmaması amaçlanmaktadır. Son prensip ise ‘mükemmellik’tir. Mükemmellik her zaman bir işin daha iyi yapılma yolunun olduğunu ya da daha iyi bir sistemin uygulanabileceğini savunduğu adım olup; sürekli iyileştirme çalışmalarının bir kültür haline dönüşmesi hedeflenmektedir. Son zamanlara kadar Yalın Yönetim uygulayan kuruluşlar son derece başarılı sonuçlar elde etmekteydiler. Ancak; uygulamalar ve elde edilen tecrübeler Yalın Yönetim’inde sınırlarının olduğunu göstermektedir. Yalın Yönetim, Jidoka, Otonomasyon, TPM, SMED, vb. tekniklerle süreçleri optimize etmeye çalışmaktadır. Ancak; sınırlı teknoloji düzeyi, Yalın Yönetim tekniklerinin uygulanmasında yetersiz kalmaktaydı. Ancak; E4.0 çağı ile teknolojiye elde edilen gelişmeler Yalın Yönetim’in itici gücü haline gelmiş, daha başarılı ve kapsamlı uygulamaların yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu durum; Yalın Yönetim’in hedeflerine ulaşabilmesi için son derece pozitif bir etki yapmaktadır. Öte yandan; E4.0 dönüşümü içinde güçlü bir alt yapıya ihtiyaç duyulması Yalın Yönetim’in önemini tekrar ortaya

koymaktadır. Firmaların Yalın Yönetim alt yapısına sahip olmadan doğrudan E4.0 dönüşüm çalışmalarına başlaması dijital israfların üretilmesi anlamına gelmektedir. Bu durum başarısızlıkla sonuçlanacak E4.0 projelerine neden olacaktır. Bu nedenle; firmalar, öncelikli olarak süreçlerini yalın hale getirmek ve katma değersiz işleri süreçlerinden uzaklaştırmaktadır. Eğer bu başarılırsa E4.0 dönüşümlerinde zafer elde etme olasılığı artacaktır.

Bu çalışmanın devamında E4.0 dönüşümlerinde kullanılan diğer bir yaklaşım olan ‘yukarıdan aşağıya yaklaşım’ ele alınacaktır. Bu yaklaşım, değişim yönetimi, yetkinlik yönetim sistemleri, operasyonel yetkinlik, yetkinlik seviyesi, yetkinlik kartları, yetkinlik profilleri, vb. kavramlar üzerine kuruludur. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi Türkiye endüstrisi ve akademisi için önemli bir kaynak teşkil edecektir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Acemoglu D., Autor D. Skills, tasks, and technologies: Implications for employment and earnings. NBER Working Paper Series, Paper No: 16082; 2010. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w16082/w16082.pdf
- Adam S., Chola E., Jens W. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. Journal of Industrial Engineering and Management 2016; 9(3): 811–833.
- Ahuett-Garza H., Kurfess T. A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart Manufacturing. Manufacturing Letters 2018; 15(Part B): 60-63.
- Anjalee JAL., Rutter V., Samaranayake NR. Application of failure mode and effects analysis (fmea) to improve medication safety in the dispensing process – A study at a teaching hospital, Sri Lanka. BMC Public Health 2021; 21: 1430.
- Ashley L., Armitage G., Neary M., Hollingsworth G. A practical guide to failure mode and effects analysis in health care: Making the most of the team and its meetings. The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety 2010; 36(8): 351-358.
- Blayone TJB., VanOostveen R. Prepared for work in industry 4.0? modelling the target activity system and five dimensions of worker readiness. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 2021; 34(1): 1-19.

- Brunheroto PH., Tomanek DP., Deschamps F. Implications of industry 4.0 to companies' performance: A comparison between Brazil and Germany. *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 2021; 18(3): 1-10.
- Brynjolfsson E., McAfee A. *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. USA: Norton&Company; 2014.
- Cil I., Turkan YS. An ANP-based assessment model for lean enterprise transformation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2013; 64: 1113–1130.
- Çetin Gerger G. tax services and tax service providers' changing role in the IoT and Aml Environment. In *Guide to Ambient Intelligence in the IoT Environment: Principles, Technologies and Applications*. Cham: Springer Nature Switzerland AG; 2019.
- Dennis K., Detlef Z. Lean automation enabled by Industry 4.0 technologies. *IFAC Paperonline* 2015; 48(3): 1870–1875.
- Dickmann P. *Schlanker materialfluss: Mit Lean Production. Kanban und Innovationen*. Heidelberg: Springer; 2007. (in German)
- Emiliani B. Lean management failure at HMRC. *Management Services* 2011; 55(4): 13-15.
- Ferreira CM., Serpa S. Society 5.0 and social development. *Management and Organizational Studies* 2018; 5(4): 26-31.
- Frey CB., Osborne MA. *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation*. Oxford 2021.
https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf
- Fullerton RR., Kennedy FA., Widener SK. Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices. *Journal of Operations Management* 2014; 32(7-8): 414-428.
- Gerger A. Blockchain technology in the automotive industry: use cases and statistical evaluation. In *Industry Use Cases on Blockchain Technology Applications in IoT and the Financial Sector*. Hershey: IGI Global; 2021b.
- Gerger A. Endüstri 4.0 üretim sürecinde süreç değişkenliğinin optimizasyonunda Heijunka yöntemi. *İzmir Democracy University Social Sciences Journal* 2019b; 2(1): 1-17.
- Gerger A. Seviyelendirilmiş süreç denetimi (LPA): havacılık endüstrisinde bir uygulama örneği. *Malzeme Teknolojisi ve Tasarım Bilimlerine Yeni Yaklaşımlar*; İstanbul: Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları; 2021c.
- Gerger A. Technologies for connected government implementation: success factors and best practices. In *Web 2.0 and Cloud Technologies for Implementing Connected Government*. Hershey: IGI Global; 2021a.
- Gerger A. *Toplum 5.0 ve Manisa. Manisa Ekonomisi ve Vizyonu*; Ankara: Detay Yayıncılık; 2019a
- Hines P., Holweg M., Rich N. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management* 2004; 24(10): 994–1011.

- Isaiah D. Automotive grade graphene: the clock is ticking. *Automotive World* 2015. <http://www.automotiveworld.com/analysis/automotive-grade-graphene-clock-ticking/>
- Jasti NVK., Kodali R. Lean production: Literature review and trends. *International Journal of Production Research* 2015; 53(3): 867–885.
- Kamble S., Gunasekaran A., Dhone NC. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research* 2020; 58(5): 1319–1337.
- Kolberg D., Knobloch J., Zühlke D. Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research* 2017; 55(10): 2845–2856.
- Kolberg D., Zühlke D. Lean automation enabled by industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine* 2015; 48(3): 1870–1875.
- Kumar N., Mathiyazhagan K. Sustainability in lean manufacturing: A systematic literature review. *International Journal of Business Excellence* 2020; 20(3): 295-321.
- Lasi H., Fettke P., Kemper HG., Feld T., Hoffmann M. Industry 4.0. *Business & Information System Engineering* 2014; 6(4): 239–242.
- Lean Enterprise Institute. What is lean? 2022. www.lean.org: <https://www.lean.org/explore-lean/what-is-lean/>
- Mayer-Schönberger V., Cukier K. *Lernen mit big data: die zukunft der bildung*. Munich: Redline Wirtschaft 2014.
- Mönch T., Huchzermeier A., Bebersdorf P. Variable takt times in mixed-model assembly line balancing with random customisation. *International Journal of Production Research* 2021; 59(15): 4670-4689.
- Mrugalska B., Wyrwicka MK. Towards lean production in Industry 4.0. *Procedia Engineering* 2017; 182: 466-473.
- Nakajima S. *Introduction to TPM: total productive management*. Portland: Productivity Press; 1988.
- Ohno T., Bodek N. *The Toyota production system: beyond large-scale production*. Portland: Productivity Press; 1988.
- Pearce A., Pons D. Advancing lean management: The missing quantitative approach. *Operations Research Perspectives* 2019; 6(2019): 1-14.
- Pereira AC., Dinis-Carvalho J., Alves AC., Arezes P. How Industry 4.0 can enhance lean practices. *FME Transactions* 2019; 47(4): 810-822.
- Pereira C., Sachidananda HK. Impact of Industry 4.0 technologies on lean manufacturing and organizational performance in an organization. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 2021; 15(4): 1-12.
- Ramsunder K., Olanrewaju O. Energy analysis via value stream mapping: A case study of an automotive weld plant. *Orion* 2021; 37(2): 77–94.

- Ray YZ., Xun X., Eberhard K., Stephen TN. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0. *Engineering* 2017; 3(5): 616–630.
- Regber H., Christian M. Introduction to Industry 4.0 – core elements and business opportunities. Denkendorf: Festo Didactic; 2017.
- Regber H., Zimmermann K. Change-Management in der Produktion: Prozesse effizient verbessern im Team (2. Ed. b.). Landsberg am Lech: Mi; 2007.
- Rossini M., Costa F., Tortorella GL., Portioli-Staudacher A. The interrelation between industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2019; 102(9-12): 3963–3976.
- Rossit DA., Tohmé F., Frutos M. Industry 4.0: Smart scheduling. *International Journal of Production Research* 2019; 57(12): 3802–3813.
- Rotter T., Plishka C., Lawal A., Harrison L., Sari N., Goodridge D., Kinsman L. What is lean management in health care? development of an operational definition for a cochrane systematic review. *Evaluation & The Health Professions* 2019; 42(3): 366-390.
- Roy D., Mittag P., Baumeister M. Industrie 4.0 - einfluss der digitalisierung auf die fünf lean-prinzipien. *Production Management* 2015; 20(2): 27–30.
- Sanders A., Elangeswaran C., Wulfsberg J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management* 2016; 9(3): 811–833.
- Sanjib K. Implementation of lean manufacturing through Industry 4.0. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2018; 9(10): 1418–1423.
- Schneckenreither M., Haeussler S., Gerhold C. Order release planning with predictive lead times: A machine learning approach. *International Journal of Production Research* 2021; 59(11): 3285-3303.
- Schwab K. Die Vierte Industrielle Revolution. München: Springer; 2016.
- Shah D., Patel P. Productivity improvement by implementing Lean Manufacturing tools in manufacturing industry. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2018; 5(3): 3794–3798.
- Shah R., Ward PT. Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operation Management* 2007; 25(4): 785–805.
- Shin D., Alam MS. Lean management strategy, and innovation: moderation effects of collective voluntary turnover and layoffs. *Total Quality Management & Business Excellence* 2022; 33(1-2): 202 - 217.
- Sinay J., Kotianova Z. Automotive industry in the context of Industry 4.0 strategy. *Trans. VSB Tech. Univ. Ostrava, Safety Eng. Series* 2018; 13(2): 61-65.
- Sony M. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research* 2018; 6(1): 416-432.

- Suryaprakash M., Prabha MG., Yuvaraja M. Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using Tpm. *Materials Today: Proceedings* 2021; 46(2021): 9348–9353.
- Tiep NC., Oanh TT., Thuan TD., Tien DV., Ha TV. Industry 4.0, Lean Management and Organizational Support: A case of supply chain operations. *Polish Journal of Management Studies* 2020; 22(1): 583-594.
- Tsou JC., Chen JM. Dynamic model for a defective production system with Poka Yoke. *Journal of the Operational Research Society* 2005; 56(7): 799-803.
- Villalba-Diez J., Zheng X., Schmidt D., Molina M. Characterization of Industry 4.0 lean management problem-solving behavioral patterns using EEG sensors and deep learning. *Sensors* 2019; 19(2841): 1-27.
- Womack JP., Jones DT. *Yalın Düşünce* (2 b.). (N. Aras, Çev.) İstanbul: Sistem Yayıncılık; 2002.
- World Economic Forum. Deep shift technology tipping points and societal impact. World Economic Forum.; 2015. <https://www.weforum.org/reports/deep-shift-technology-tipping-points-and-societal-impact/>
- Yang J., Liu Y. Application of data mining in the evaluation of enterprise lean management effect. *Hindawi Scientific Programming* 2021; 2021: 1-13.
- Zezulka F., Marcon P., Vesely I., Sajdl O. Industry 4.0: An introduction in the Phenomenon. *IFAC-PapersOnLine* 2016; 49 (25): 8-12.
- Zhou K., Liu T., Zhou L. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery 2015: 2147–2152.