

ENDÜSTRİ 4.0 ERGONOMİ İÇİN TEHDİT Mİ FIRSAT MI?

Araştırma Makalesi

Erman ÇAKIT¹

Aylin ADEM²

Metin DAĞDEVİREN³

ÇAKIT, E., ADEM, A. ve DAĞDEVİREN, M., (2020), **Endüstri 4.0 Ergonomi İçin Tehdit mi Fırsat mı?**, Verimlilik Dergisi, Yıl: 2020, Sayı: 3, T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayını.

ÖZET

İnsan, çalışma hayatında zihinsel veya fiziksel gücü ile var olmakta olup, sahip olduğu özellikleri kapasitesi ve sınırları çerçevesinde kullanarak çalışmaktadır. İçinde bulunulan dönemlerin özelliklerine göre bu yetenek ve kapasitelerin tanımları, sınırları ve kullanım oranları değişebilmektedir. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) olarak isimlendirilen dijital gelişmelerin katkısı ile birlikte robotların fiziksel iş yükünün, yapay zekanın ise mental iş yükünün yerini alacağı çalışma ortamlarının, ergonomi ve insan faktörleri uygulamaları için yeni alanların önünü açtığı görülmektedir. Endüstri 4.0 ile yaygınlaşan otomasyon, fiziksel olarak zorlayıcı işlerde ergonomik iyileştirmeler yaparak çalışanların olası sağlık problemlerini minimize edecektir. Bunun sonucunda, emek yoğun işlerde çalışanların kapasitesi daha yüksek katma değerli işlerde değerlendirilebilir ve iş sağlığı ve güvenliğinin standartları yükseltilebilir. Diğer taraftan, artan otomasyon ile çalışanın mental iş yükü katlanarak artacak, insan-robot/makine/ bilgisayar arasında etkin ve verimli olmayan etkileşimler ortaya çıkacaktır. Bu sorunların elimine edilmesi ve mental iş yükünün doğru analiz edilebilmesi için ergonominin nöro bilimle entegrasyonu sonucu ortaya çıkan "Nöroergonomi" alanındaki uygulamalar, Endüstri 4.0 ile oluşabilecek olası tehditleri fırsatlara çevirebilir. Bu çalışmada, Endüstri 4.0'ın ergonomi uygulamaları açısından oluşturabileceği tehditler ve fırsatlar değerlendirilmiş olup, olası tehditlerin yeni fırsatlara dönüştürülmesi sürecinde nöroergonomi uygulamalarının önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, Endüstri 4.0, Nöroergonomi.

¹ **Erman ÇAKIT**, Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. ORCID: 0000-0003-0974-5941

² **Aylin ADEM**, Öğr. Gör., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. ORCID: 0000-0003-4820-6684

³ **Metin DAĞDEVİREN**, Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. ORCID: 0000-0003-2121-5978

* Makale Gönderim Tarihi: 20.07.2019 Kabul Tarihi: 20.11.2019

IS INDUSTRY 4.0 THREAT OR OPPORTUNITY FOR ERGONOMICS?

ABSTRACT

Human beings exist with mental and physical abilities in the work environment and they continue to work by using these capabilities within their limitations. The definitions, limitations, and usage of these capabilities change according to the characteristics of the time. In work environments, with the help of the fourth industrial revolution (Industry 4.0), robots and artificial intelligence will respectively replace physical and mental workloads. In these work environments, this replacement can highlight new applications in the domain of human factors/ergonomics. Increasing automation with Industry 4.0 makes ergonomic improvements in physically difficult jobs that can reduce the possible health problems of workers. At the end, the capacity of workers to perform physically difficult jobs can be evaluated in high-value-added manufacturing and workplace health and safety standards can be enhanced. On the other hand, workers' mental workloads will be increased exponentially with augmenting automation, which may result in inadequate human-machine interactions. In Industry 4.0 applications, neuroergonomics, the application of neuroscience to ergonomics, can convert possible threats into opportunities by performing mental workload analysis in the correct way. In this study, we aimed to assess the possible threats and opportunities of Industry 4.0 applications in the domain of ergonomics. We also highlighted the importance of neuroergonomics applications in converting those possible threats into opportunities.

Keywords: Ergonomics, Industry 4.0, Neuroergonomics.

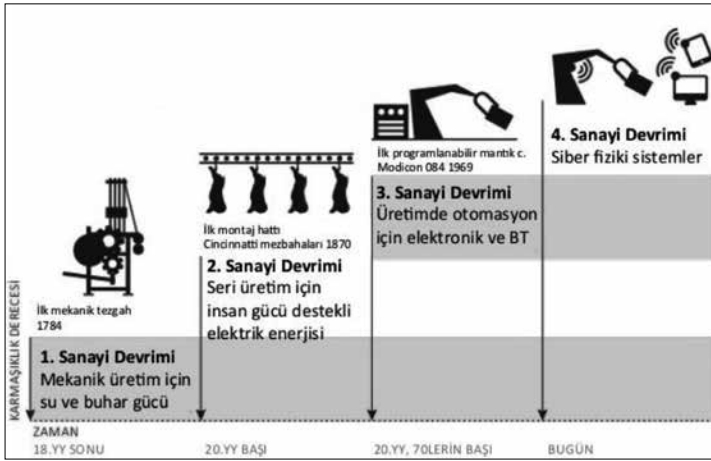
1. GİRİŞ

İnsan, çalışma hayatında zihinsel veya fiziksel gücü ile var olmakta olup, sahip olduğu bu özellikleri kapasitesi ve sınırları çerçevesinde kullanarak çalışmaktadır. İçinde bulunulan dönemlerin özelliklerine göre bu yetenek ve kapasitelerin tanımları, sınırları ve kullanım oranları değişebilmektedir. Teknoloji, iletişim ve bilişimin hızlı gelişimi; insanların iş ve günlük yaşamlarını, üretim adımlarını ve biçimlerini tüm yönüyle önemli derecede etkilemektedir. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) olarak ortaya çıkan gelişmeler sonucunda, 2050'li yıllara gelindiğinde üretim yapısı ve adımlarının günümüz yapısından oldukça farklı olması beklenmektedir. Endüstri 4.0, işletmeler için çok fazla fırsatlar sunmasına rağmen diğer taraftan önem alınmasını gerektiren yeni tehditleri beraberinde getirmektedir. Endüstri 4.0'a geçiş, işgücü açısından yepyeni bir anlayışı ortaya çıkarmaktadır. Dijital gelişmelerin katkısı ile birlikte robotların, fiziksel iş yükünün, yapay zekanın ise mental iş yükünün yerini alacağı çalışma ortamlarının, ergonomi ve insan faktörleri uygulamaları için yeni alanların önünü açtığı görülmektedir. Ergonomi uygulamalarının günümüz teknolojisinde başarılı olması ve Endüstri 4.0 dönüşümünün tehdit yerine fırsat olarak değerlendirilebilmesi için, Endüstri 4.0'ın imkan verdiği ileri teknolojiler ile ergonomi uygulamalarının beraber dikkate alınması gerekmektedir. Böylece, insan emeğinin tanımını tümünden değiştirecek bir gelişmenin eşliğinde bulunduğumuz günümüzde; makineler rutin, tekrara dayalı işleri insanlardan daha etkin yapabilecek ve belirli bir kapasiteye kavuştuğu ölçüde otomasyon yaygınlaşacaktır. Bunun sonucu olarak ileri otomasyon ile çalışanların mental iş yükü katlanarak artacak, insan-robot/makine/ bilgisayar arasında etkin ve verimli olmayan etkileşimler ortaya çıkacaktır. Bu gelişmeler, çalışanların daha özgürce, daha yaratıcı ve daha yüksek beceri gerektiren kısaca mental iş yükü gerektiren işlere odaklanmasının önünü açacaktır. Verimli olmayan etkileşimlerin ortadan kaldırılması ve mental iş yükünün doğru analiz edilebilmesi için ergonominin nörobilimle entegrasyonu sonucu ortaya çıkan "Nöroergonomi" alanındaki uygulamalar, Endüstri 4.0 ile oluşabilecek olası tehditleri fırsatlara çevirebilir. Endüstri 4.0 teknolojileri sayesinde ergonomi alanında özellikle nöroergonomi kapsamında yeni uygulamalar mümkün olabilecektir. Bu çalışmada, Endüstri 4.0'ın ergonomi uygulamaları açısından oluşturabileceği tehditler ve fırsatlar değerlendirilmiş olup, olası tehditlerin yeni fırsatlara dönüştürülmesi sürecinde nöroergonomi uygulamalarının önemi vurgulanmıştır.

2. ENDÜSTRİ 1.0'DAN ENDÜSTRİ 4.0'A

Tarihte ilk sosyal devrim, insanların yerleşik hayata geçerek tarım toplumunun ortaya çıkmasıdır. Bu süreci takip eden, ülkelerin tarım toplumundan sanayi

toplumuna geçişi olarak da ifade edilebilen ve dünyadaki sosyal, ekonomik ve kültürel değişimlere öncülük eden Endüstri Devrimleri, belli aşamalarla, uzun sürelerde gerçekleşmiştir. Endüstri Devrimi, 18. yüzyılın sonlarından 19. yüzyılın ortalarına kadar süregelen zamanda, atölyelerin zamanla daha fazla üretim hacmine sahip endüstriyel atölyelere dönüşmesi olarak tanımlanabilir. Bu açıdan günümüze kadar olan dönemde, üretim süreçlerini temelden değiştiren ve önemli etkilere sahip üç büyük endüstriyel devrim yaşanmıştır. İlk endüstriyel devrim (Endüstri 1.0), su ve buhar gücünü daha verimli kullanarak 18. yüzyılın sonlarında mekanik üretim sistemleri ile ortaya çıkmış, bu süreci 20. yüzyılın başlarında seri üretime geçiş olarak ortaya çıkan ve elektrik enerjisinden fayda sağlayamayı başlatan Endüstri 2.0 takip etmiştir.



Şekil 1. Endüstri Devriminin Aşamaları (Kagermann vd., 2013)

Daha sonra ise, üretim sistemlerinde mekanik ve elektronik teknolojilerin yerlerini dijital sistemlerin sanayide yer aldığı Endüstri 3.0 ortaya çıkmıştır (Lu, 2017; Witkowski, 2017). Özet olarak, ilk üç sanayi devrimi, insan üretimine mekanizasyon, elektrik ve bilgi teknolojisini eklemiştir (Qin vd., 2016). Gerçekleşen bu üç endüstri devrimi, üretim sistemlerinde verimliliğin artırılması hususunda önemli paya sahip olmuştur. Sanayi devriminin aşamaları Şekil 1’de gösterilmiştir. 2011 yılında dünyanın en büyük endüstri fuarı olarak kabul edilen “Hannover Fair” etkinliği sırasında Alman Hükümeti tarafından ileri teknolojiyi yapılandırma projesi olarak ortaya atılan ve 4. Sanayi Devriminin ortaya çıkışını simgeleyen Endüstri 4.0 yaklaşımı tanıtılmıştır (Witkowski, 2017). Alman Hükümeti aynı sene, Yüksek Teknoloji Stratejisi kapsamında Endüstri 4.0 projesini 2020 Eylem Planı’na dahil etmiştir. 200 milyon avro bütçe ayrılan proje ile Endüstri 4.0 kavramı, ileride rekabet edebilmek için bir strateji olarak düşünülmüştür (Mrugalska ve Wyrwicka, 2017). Diğer endüstrisi gelişmiş ülkelerde de benzer stratejiler

sunulmuştur. Örnek verilecek olursa; Avrupa ülkelerinde, buna eşdeğer kavram olarak, "Geleceğin Fabrikaları", ABD'de "Endüstriyel İnternet" ve Çin'de "İnternet +" şeklinde isimlendirilmiştir.

Endüstri 4.0 kavramının günümüzde herkes tarafından kabul edilen tanımı olmamakla beraber, literatürde birçok yazar tarafından farklı tanımı yapılmıştır. Örneğin, Mrugalska ve Wyrwicka (2017) tarafından, " karmaşık fiziksel makine ve cihazların, ticari ve toplumsal sonuçları daha iyi tahmin etmek, kontrol etmek ve planlamak için kullanılan ağa bağlı sensörler ve yazılımlarla entegrasyonu" veya "ürünlerin yaşam döngüsü boyunca yeni bir değer zinciri organizasyonu ve yönetimi seviyesi" olarak tanımlanmıştır. Qin vd. (2016) Endüstri 4.0 kavramını; çeşitli firmalar ve paydaşları arasında var olacak bir bütüne dayalı iletişim ağı olarak tanımlamışlardır. Bir başka tanımda ise Endüstri 4.0, internetin ve destek teknolojilerinin fiziksel nesnelere, zeki makineleri, üretim bantlarını ve adımlarını örgütsel sınırlar boyunca birleştirmelerinin temelini oluşturan güncel teknolojik gelişmeler olarak ifade edilmiştir (Schumacher vd., 2016). Bu tanımlardan yola çıkarak, Endüstri 4.0'ın başarılı olabilmesi için gerekli olan 8 adımın tamamlanması beklenmektedir. Bu adımlar; (1) Referans donanım yapısının belirlenmesi, (2) Kompleks sistemlerle baş edebilme, (3) Kapsamlı ve yüksek hızlı bir haberleşme altyapısının endüstriye sunulması, (4) Emniyet ve güvenlik, (5) Çalışma organizasyonu ve dizayn, (6) Eğitim ve profesyonel gelişimin devamlılığı, (7) Mevcut mevzuatın adapte edilmesi, (8) Var olan kaynakların etkili ve verimli kullanılması (Kagermann vd., 2013) şeklinde sıralanabilir.

2.1. Endüstri 4.0'ın Unsurları

Endüstri 4.0 teknolojisinden bahsedebilmek için son zamanlarda oldukça gündemde olan temel unsurları ile ilgili kısa bir değerlendirmede bulunmak faydalı olabilir. Endüstri 4.0 kavramının içerisinde farklı birçok teknolojiler bulunmaktadır. Bu önemli teknolojilerin her biri ayrı uzmanlık ve yeterlilik gerektirmektedir.



Şekil 2. Endüstri 4.0'ın Teknolojik Unsurları (Internet: Baysal, 2016)

Şekil 2'de görüldüğü üzere geleceğin sanayi üretimini şekillendirecek Endüstri 4.0'ın teknolojik unsurları; üç boyutlu üretim, simülasyon, endüstriyel nesnelerin interneti, siber güvenlik, büyük veri ve analitik, otonom robotlar, yatay ve dikey entegrasyon, bulut bilişim, artırılmış gerçeklik olarak dokuz grup altında toplanabilir (Internet: EBSO, 2016).

Üç boyutlu üretim, ortaya çıkarılacak olan ürünün hammaddesi prosese sokularak ürün üretilmeden önce modelinin ortaya çıkarılması sürecidir (Yüksekbilgili ve Çevik, 2018).

Simülasyon, bir uygulamanın sebep sonuç arasındaki bağlantıyı bilgisayar modeline dönüştürüp farklı koşullar altında ortaya çıkabilecek davranış ve sonuçları yorumlayan bir sistemdir (Hetu vd., 2018). Endüstri 4.0 kapsamında işletme sanal ortamda kurulur, çalıştırılır ve analiz edilir. Sadece işletme bir bütün olarak değil, detaylı olarak tüm üretim süreçleri ya da makineler de incelenebilmektedir.

"Endüstriyel nesnelerin interneti" kavramı, çeşitli sistemlerin kendi üzerlerinde bulunan sensörler vasıtasıyla karar verme, haberleşme, yönetme ve hareket etme gibi önemli özellikleri yerine getiren sistemleri kapsamaktadır. Bu sistemler ile sadece kendi ağlarında değil aynı zamanda diğer elektronik ağlar ile de haberleşilmektedir (Macit, 2017; Wee vd., 2015). Siber güvenliğin üretim ortamında aktif olması ile kişiye özel, doğayla barışık, görsel algısı yüksek olan bir üretim sürecinde iyileştirme gerçekleştirerek ve fiziksel sistemleri siber teknoloji ile entegre ederek daha akıllı bir üretim ortamının oluşturulması amaçlanmıştır (Bulut ve Akçacı, 2017).

Büyük veri ve analitik, Endüstri 4.0'ı oluşturan önemli unsurlardan biridir. Verileri tespit etme, depolama, yönetme ve analiz etme açısından mevcut veri tabanı yazılımları ile analiz edilemeyecek büyüklükteki veri kümelerine büyük veri adı verilmektedir (Banger, 2016). Büyük veri kavramının iki temel özelliği vardır. Birinci özelliği, büyük miktardaki verilerin toplanarak depolanmasıdır. İkinci özelliği ise depolanan verilerin analiz edilmesidir. Bir bilginin büyük veri sistemine dahil edilebilmesi için dijitalleştirilmiş, yani nümerik hale getirilmesi önem arz etmektedir.

Otonom robotlar, programlanmış görevleri yerine getiren elektromekanik cihazlar olarak tanımlanmaktadır. Otonom robotlar esnek üretim ortamlarında diğer makinelerle, malzemelerle ve bileşenlerle entegre olarak verimliliğin artmasına neden olmaktadır (Davutoğlu vd., 2017). Bu bakımdan otonom robotlar; birçok mühendislik disiplini (Makine Mühendisliği, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği ve Bilgisayar Mühendisliği)

gibi) ortak çalışma alanı olan görevlerin yerine getirilmesi için, malzeme, parça, takım ya da programlanmış değişken hareketler aracılığıyla, özel parçaları hareket ettirmek için dizayn edilmiş, çok fonksiyonlu, yeniden programlanabilir makinelerdir (Özsoylu, 2017).

Yatay ve dikey entegrasyon, çoklu sistemlerin tek sistem gibi çalışabilmesi için koordine edilmesidir (Hernandez-Vivanco vd., 2018). Ayrıca mühendislik tasarımı, üretim ve hizmet fonksiyonları, satın alıcılar, tedarikçiler ve dağıtım kanalındaki işletmelerin yatay ve dikey entegrasyonu ile birbirine bağlanabilmesini de açıklamaktadır (Davutoğlu vd., 2017).

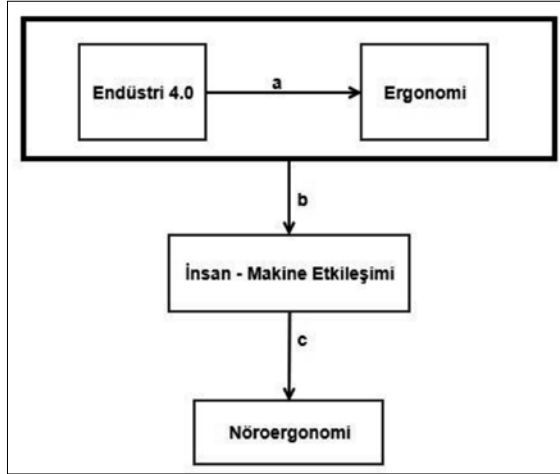
Bulut bilişim, kullanıcı uygulamalarına uygun altyapı desteği temin etmek için sonsuz ve ucuz kaynakların talep edilmesini vaat etmektedir. Bu nedenle, maliyetleri minimize etmek ve yeniden yapılandırmayı otomasyon tabanlı hale getirmek için uygulamalarını buluta taşımaya amaçlayan birçok firma tarafından zamanla daha fazla benimsenmektedir. Bu firmalar, bulutta uygulama dağıtımına ve yeniden yapılandırılmasına destek sağlayan ücretsiz veya özel bulut platformları tarafından desteklenir (Kritikos ve Massonet, 2016).

Arttırılmış gerçeklik, bilgisayarlar tarafından oluşturulan görsel verileriyle zenginleştirilerek ortaya çıkarılan doğrudan veya dolaylı fiziksel görünümdür. Özetle, gerçekliğin bilgisayarlar yardımıyla değiştirilmesi ve artırılmasıdır. Fabrikalar, bu teknoloji ile çevresindeki bilgi ile etkileşime girebilir, sayısal bilgi ile çevresiyle ilgili yapay bilgi ve öğelerin doğru kullanılması vasıtasıyla gerçek dünyayla ilgili bilgileri kolaylıkla temin edebilirler (Davutoğlu vd., 2017).

3. NÖROERONOMİ VE ENDÜSTRİ 4.0

Ergonomi multidisipliner bir alan olmakla birlikte bu alan içerisinde sağlık bilimleri alanları (anatomi, fizyoloji gibi), mühendislik bilimleri veya sosyal bilim alanları (psikoloji, sosyoloji, iktisat gibi) bulunmaktadır (Karamik ve Şeker, 2015; Babalık, 2016). Ancak zaman içerisinde tıpkı diğer bilim dallarında olduğu gibi ergonomi biliminde de çağın ve teknolojinin getirdiği yenilikler ve ihtiyaçların da etkisi ile birlikte birtakım ilerlemeler, değişimler ve yenilenmeler söz konusu olmuştur. Örneğin, Siemieniuch vd. (2015), Endüstri 4.0 kapsamında iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının başarısının ergonomi ve insan faktörlerinden önemli veri girişi yapılarak mümkün olduğu sonucuna varmışlardır. Bu değişimlerin yaşanmasındaki temel sebep, kişinin sadece fiziksel ortamdan etkilenen bir canlı olmaması, işyerinde maruz kaldığı birtakım farklı etkenlerin onu psikolojik olarak etkilemesi ve bu etkinin kişinin iş verimi üzerinde olumsuz birtakım etkilerinin olduğunun anlaşılmasıdır.

Ergonomi alanında son zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde insan-makine etkileşimi kapsamında en önemli katkılar nörobilim araçları kullanılan özellikle beyin görüntüleme teknikleri ile yapılan çalışmalardan gelmektedir (Kosti vd., 2018; Liu vd., 2017). Bunun temel sebebi günümüzde Endüstri 4.0 ile birlikte yeni gelişmelerin yaşanmakta olması, bu gelişmeler ışığında emek yoğun işlerin zamanla azalması ve mental iş yüküne daha çok ihtiyaç duyulan teknoloji-yoğun işlerin ise artmasıdır. Verimli olmayan insan-makine etkileşimlerinin azaltılması ve mental iş yükünün doğru analiz edilebilmesi için ergonominin nörobilimle entegrasyonu sonucu ortaya çıkan "Nöroergonomi" alanında yeni uygulamalar mümkün olabilecektir. Nöroergonominin iki temel hedefi bulunmaktadır: a) insan performansı ile ilgili var olan bilgiyi ve beyin fonksiyonlarını kullanarak iş ortamlarını daha güvenli ve daha etkili tasarımılamak ve b) gerçek dünya işlerindeki insan performansı ile ilgili beyin fonksiyonlarını daha iyi anlayabilmek (Parasuraman, 2013). Nöroergonomi, temelde insanın bilişsel sınırlarını ve çalışanların zihinsel iş yükünü oluşturan etmenleri ortaya çıkarmakla beraber, ilgili zihinsel yük ve çalışanların bu yükler altında yapabilecekleri hataların azaltılmasına yönelik çaba sarf eder (Bıyıklı ve Aydoğan, 2015). Son zamanlarda Adem vd. (2019) nöroergonomi konusunda yapılan ve zihinsel iş yükünün ölçülmesini ele alan çalışmaları incelemişler ve araştırmaların laboratuvar ortamından gerçek iş çevresine doğru kaydığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalara örnek olarak Türkiye'de 2017 yılı başında Roketsan, öz kaynakları ile nöroergonomi laboratuvarı altyapısını kurmuştur. Yapılması planlanan çalışmalar sonucunda Roketsan tarafından üretilen silah sistemlerinde nöroergonomi temelinde, kullanıcı odaklı yeni nesil arayüzlerin geliştirilmesine olanak sağlayacak ve Roketsan'ın özgün ürün ve ileri teknolojileri geliştirme hedefine önemli katkılar sağlanması planlanmıştır (Internet: Roketsan, 2018). Diğer planlanan proje ile tamamen gerçek üretim ortamında, gerçek çalışanlarla yapılacak araştırmada, artırılmış gerçeklik gözlüğünün, çalışanın zihinsel iş yükünü artırıp artırmadığı konusunda da veriler toplanacak ve toplanan veriler kapsamında yaş, cinsiyet, deneyim parametrelerinde değişiklik olup olmadığı gözlemlenecektir. Endüstri 4.0 çalışmalarında bulunan firmalar için, örnek alınabilecek bir uygulama olması amaçlanmıştır. Proje çıktılarının uygulanabilir olması halinde, giyilebilir teknolojilerin otomobil imalatında seri üretimde kullanımının yaygınlaştırılması sağlanacaktır (Internet: Burdanoku, 2018).



Şekil 3. Endüstri 4.0, Ergonomi, İnsan-Makine Etkileşimi ve Nöroergonomi Arasındaki Kavramsal İlişki

Endüstri 4.0, ergonomi, insan-makine etkileşimi ve nöroergonomi arasındaki kavramsal ilişki literatürdeki çalışmalar (Kosti vd., 2018; Liu vd., 2017; Brito vd., 2019; Gášová vd., 2017; Giraudet vd., 2015; Gorecky vd., 2014) doğrultusunda oluşturulmuş olup kavramlar arasındaki ilişkiler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Şekil 3):

- a) Endüstri 4.0 teknolojisi ergonomi uygulamalarını etkiler.
- b) Endüstri 4.0'ın ergonomiye olan etkisi insan-makine etkileşimini önemli kılar.
- c) İnsan-makine etkileşimi ile nöroergonomi uygulamaları ön plana çıkmaktadır.

4. SWOT ANALİZİ

Endüstri 4.0 ile günümüzde mevcut olan çoğu işin, daha kısa sürede, daha az maliyetle ve daha sorunsuz bir biçimde yapılabileceği öngörülmektedir. Çizelge 1'de dijital çağın getirebileceği olası etkiler ergonomi penceresinden SWOT Analizi Yöntemiyle belirtilmiştir. Yeni dönemle birlikte oluşabilecek güçlü yanlar ile fırsatların belirtildiği analizde, aynı zamanda, çalışanların kısa vadede büyük risk ve tehdit altında olduğu da zayıf yönler ve tehditler bölümünde maddeler halinde sıralanmıştır.

Çizelge 1. Endüstri 4.0'ın Ergonomi Penceresinden SWOT Analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Üretkenliğin artması talebin artmasına ve yeni iş olanakları yaratılmasına neden olabilir ▪ İnsan faktörünün önemini koruması 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bilişsel ergonomi uygulamalarının zorluğu ve teknolojik altyapı gerektirmesi (özellikle KOBİ'lerde) ▪ İşin insana uyum sürecinde özel yetenekli işgücü arzı
Fırsatlar	Tehditler
<ul style="list-style-type: none"> ▪ İş sağlığı ve güvenliği standartlarının yükseltilebilmesi ▪ Emek yoğun işlerde çalışanların kapasitelerinin daha yüksek katma değerli işlerde değerlendirilme imkânı ▪ Fiziksel işlerden kaynaklı olası sağlık problemlerinin minimize edilebilmesi ▪ Eğitim ve donanım düzeyi yüksek, kalifiye çalışanların artması 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salt fiziksel iş yükü uygulayan çalışanların istihdam sorunlarının ortaya çıkması ▪ İşlerin yapılaş şeklinin ve üretim proseslerinin daha komplike hale gelmesi ▪ Yeni iş sağlığı ve güvenliği risklerinin oluşması

Buna göre, işçiler yeni döneme adapte olabildikleri ölçüde daha yüksek katma değerli işler için talep görebilecekler, yeni döneme ayak uyduramayanlar ise istihdam problemi ile karşı karşıya kalabilecekler. Üretkenliğin artması, talebin artmasına ve yeni iş olanakları yaratılmasına neden olabilir ve insan faktörünün önemini koruması güçlü yönler olarak söylenebilir. Diğer taraftan, bilişsel ergonomi uygulamalarının zorluğu ve teknolojik altyapı gerektirmesi (özellikle KOBİ'lerde) ve işin insana uyum sürecinde özel yetenekli işgücü arzı zayıf yönler olarak değerlendirilebilir.

4.1. Olası Tehditler

Türkiye'nin son yıllarda, dünyanın önde gelen firmalarının üretim üssü olma stratejisi, Endüstri 4.0'a adapte olma sürecinde ülkemiz için önemli tehditlerden biri haline gelmiştir. Çünkü Endüstri 4.0 kapsamında emek yoğun iş oranının azalması ile birlikte insanın üretim sürecindeki rolü azalacaktır. Bu durumda dünyanın önde gelen firmaları için Türkiye'de üretim yapmak, kendi ülkelerinde üretim yapmaktan daha maliyetli olacaktır. Bu nedenle Türkiye'nin mutlak surette Endüstri 4.0 fırsatını yakalaması gereklidir. Özellikle teknoloji konusunda yapılabilecek katma değer üreten yatırımlar, Türkiye'nin büyüme hızını ve Endüstri 4.0'a olan direncini arttıracaktır (Turkish Time Dergisi, 2015).

Diğer olası tehditlerden biri de Endüstri 4.0 sürecinde Türkiye'nin önünde Çin engelini bulunmasıdır. Çin'in üretim maliyetlerini düşük tutarak elde ettiği fiyat avantajı, haksız rekabet oluşturmakta ve rekabet edebilme düzeyini minimize etmektedir. Ayrıca Türkiye'de daha çok yerli teknoloji

ve tasarım odaklı orijinal ürüne yönelik çalışmalar yaygınken, kalitenin düşmesi piyasanın genel olarak fiyata dayalı ucuzluk anlayışından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla ülkemizde Endüstri 4.0 sürecinde bir "taklit sorununun" ortaya çıkması muhtemeldir. Türkiye'nin orijinal ürünlerine karşılık, piyasaların orijinal ürün ile taklit ürün arasındaki farkı anlaması zamanla zorlaşırken, ürünlerin kalite standartları da bu süreçte doğru orantılı şekilde düşmektedir (Bozkurt, 2016).

Endüstri 4.0'ın ergonomi penceresinden oluşturabileceği diğer olası tehditler arasında, işletmelerde kişisel koruyucu ekipmanlarda Endüstri 4.0 teknolojisinin kullanıldığı ve bu dönüşümün, işlerin yapılış şeklini ve üretim proseslerini daha karışık hale getirdiği görülmüş ve çözüm olarak ise dinamik ve kişiselleştirilmiş iş sağlığı ve güvenliği Risk Yönetim Modeli önerilmiştir (Podgorski vd., 2017). Benzer şekilde, Fernandez ve Perez (2015) ileri teknoloji kullanımının yeni iş sağlığı ve güvenliği risklerini oluşturduğu ve mevcut araçların bu riskleri belirlemede yetersiz kaldığını vurgulamışlar ve problemin çözümü için yeni Risk Analiz Modelleri önermişlerdir.

4.2. Olası Fırsatlar

Endüstri 4.0'a adapte olmakla birlikte fiziksel iş yükünden çok zihinsel iş yükünün ön plana çıkması aşikârdır. Bu nedenle bugün ülkemizde kas gücü gerektiren, kısaca insanın yapması gereken işlerin ortadan kalkması muhtemeldir. Her sanayi devriminde olduğu gibi bazı meslekler miladını doldururken bazı yeni mesleklerin ortaya çıkması kaçınılmazdır Hassabis (2016) tarafından yapılan bir araştırmaya göre yapay zekânın ABD'deki işlerin % 50'sini, İngiltere'dekilerin % 35'ini, Çin'dekilerin % 77'sinin yerini alacağı göz önüne alındığında, benzer senaryonun Türkiye'de de olacağını öngörmek mümkündür. Bu durum başta işsizliği artıracak fikrini akla getirse de aksine istihdamın artması öngörülmektedir. Günümüzde icra edilmeyen birçok meslek grubunun (Data Merkezi Teknisyeni, Dijital Duyu Geliştirici, Robot Tamircisi vb.) ortaya çıkması beklenmektedir (Mersin Ticaret ve Sanayi Odası, 2017).

Diğer bir önemli fırsat ise, Endüstri 4.0 konusunda Türkiye'nin bulunduğu coğrafya itibarıyla komşularının birçoğunun henüz Endüstri 4.0'a adapte olmamış olmadığı ve kısa süre içerisinde de adapte olmalarının çok mümkün olmadığı gözükmektedir. Bu süreç içerisinde, Türkiye'nin bölgesinde öncü olabilmesi için özellikle kurumsal firmalarda Endüstri 4.0 departmanlarının kurulması ve ilgili personellerin bu departmanlarda istihdam edilmesi elzemdir (Mersin Ticaret ve Sanayi Odası, 2017).

Endüstri 4.0'ın ergonomi penceresinden oluşturabileceği diğer olası fırsatlar arasında literatürde farklı çalışmalar yapılmış olup bu çalışmalar

kapsamında işyeri parametrelerinin kapsamlı izlenebilmesi, hataların daha önce öngörülmesi (Mattsson vd., 2016); makine ve ekipmanlar arasındaki ilişkinin iyileştirilmesi (Waschneck vd., 2016); yapay zeka kullanımı ile siber fiziksel sistem karmaşasından kaynaklı mesleki risklerin azaltılması (Internet: Ahmar, 2018; Internet: Percy, 2018); iş ortamının geliştirilmesi ve kazaların engellenmesi (Palazon vd., 2013); sanal iş ortamı oluşturularak önleyici ergonomik yaklaşımların test edilmesi (Caputo vd., 2017) incelenmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, ilk olarak geçmişten günümüze kadar olan dönemde, üretim süreçlerini temelden değiştiren ve önemli etkilere sahip üç büyük endüstri devriminin aşamaları açıklanmış ve Endüstri 4.0 yaklaşımı hakkında temel kavramlar sunulmuştur. Devamında ise, Endüstri 4.0 Sanayi Devrimindeki teknolojiler ve uygulamalar açıklanmıştır. Endüstri 4.0'ın ergonomi uygulamaları açısından oluşturabileceği tehditler ve fırsatlar değerlendirilmiş olup, olası tehditlerin yeni fırsatlara dönüştürülmesi sürecinde nöroergonomi uygulamalarının önemi vurgulanmıştır.

Sonuç olarak, bu iki alanda yapılan çalışmaların birbirinden bağımsız olamayacağı ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin, nöroergonomi araçlarının kullanımını ve uygulamalarını kolaylaştıracağı ve yaygınlaştıracağı ortaya konmuştur. Endüstri 4.0'ın yol açacağı yapısal dönüşümün emek üzerinde yaratması muhtemel olumsuz etkilerinin minimuma indirgenebilmesi için devlet ve özel kuruluşlar düzeyinde nöroergonomi vb. uygulamalarının artırılması ile önlemler alınabilir. Bunun için gerekli teknolojik altyapıların tesis edilmesi, yerel ve küresel ölçekte ihtiyaç duyulan düzenlemelerin tanzim edilerek yeni döneme uygun bir altyapı oluşturulması önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- ADEM, A., ÇAKIT, E. ve DAĞDEVİREN, M., (2019), **Nöroergonomi Çalışmalarına Yönelik Bir Literatür Araştırması**, Ergonomi, 2 (2), 131-136.
- AHMAR, M., (2018), **AI Can Play a Big Role in Smarter Decision Making**, Erişim Adresi: <http://www.cxotoday.com/story/ai-can-play-a-big-role-in-smarter-decision-making>, 18.07.2018.
- BABALIK, F., (2016), **Mühendisler İçin Ergonomi-İşbilim**, Beşinci Baskı, Dora Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Bursa.
- BANGER, G., (2016), **Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme**, Ankara: Dorlion Yayınları.
- BAYSAL, İ., (2016), **Endüstri 4.0**, PWC Türkiye, Erişim Adresi: <https://www.okul.pwc.com.tr/images/uploadfile/content/635863141496551266.pdf>, 15.06.2016.
- BIYIKLI, Ö. ve AYDOĞAN, E. K., (2015), **Nöroergonomi ve Temel Uygulama Alanları**, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3 (3), 173-179.
- BRITO, M. F., RAMOS, A. L., CARNEIRO, P. & GONCALVES, M. A, (2019), **Ergonomic Analysis in Lean Manufacturing and Industry 4.0 - A Systematic Review**, In Lean Engineering for Global Development (pp. 95-127), Springer, Cham.
- BOZKURT, R., (2016), **Endüstri 4.0 Aşaması Türkiye’de Yeni İşler Yaratmak İçin Büyük Fırsattır**, Erişim Adresi: <https://www.dunya.com/sirketler/039endustri-40-asamasi-turkiyede-yeni-isler-yaratmak-icin-buyuk-haberi-319455>, 21.09.2019.
- BULUT, E. ve AKÇACI, T., (2017), **Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi**, ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi, 4 (7), 55-77.
- BURDANOKU, (2018), Erişim Adresi: <https://burdanoku.com/noroergonomiyi-turkiyede-ilk-kez-sanayi-icin-uygulamis-olacak/> 21.09.2019.
- CAPUTO, F., GRECO, A., EGIDIO, D. A., NOTARO, I. & SPADA, S., (2017, July), **A Preventive Ergonomic Approach Based on Virtual and Immersive Reality**, In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 3-15), Springer, Cham.
- DAVUTOĞLU, N. A., AKGÜL, B. ve YILDIZ, E., (2017), **İşletme Yönetiminde Sanayi 4.0 Kavramı İle Farkındalık Oluşturarak Etkin Bir Şekilde Değişimi Sağlamak**, ASOS Journal-Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5 (52), 545-567.
- EBSO, (2016), **Sanayi 4.0**, Erişim Adresi: http://www.ebso.org.tr/ebsomedia/documents/sanayi40_81017283.pdf, 15.08.2016.
- FERNÁNDEZ, F. B. & PÉREZ, M. Á. S., (2015), **Analysis and Modeling of New and Emerging Occupational Risks in the Context of Advanced Manufacturing Processes**, Procedia Engineering, 100, 1150-1159.
- GÁŠOVÁ, M., GAŠO, M. & ŠTEFÁNIK, A., (2017), **Advanced Industrial Tools of Ergonomics Based on Industry 4.0 Concept**, Procedia Engineering, 192, 219-224.
- GIRAUDET, L., IMBERT, J. P., BÉRENGER, M., TREMBLAY, S. & CAUSSE, M., (2015), **The Neuroergonomic Evaluation of Human Machine Interface Design in Air**

- Traffic Control Using Behavioral and EEG/ERP Measures**, Behavioural brain research, 294, 246-253.
- GORECKY, D., SCHMITT, M., LOSKYLL, M. & ZÜHLKE, D., (2014, July), **Human-Machine-Interaction in the Industry 4.0 Era**, In 2014 12th IEEE international conference on industrial informatics (INDIN), (pp. 289-294), IEEE.
 - HASSABIS, D., (2016), **Artificial Intelligence and the Future**, 24-26th February, The Sheldonian Theatre, Oxford University, Oxford, UK.
 - HERNANDEZ-VIVANCO, A., BERNARDO, M. & CRUZ-CÁZARES, C., (2018), **Sustainable Innovation Through Management Systems Integration**, Journal of cleaner production, 196, 1176-1187.
 - HETU, S. N., GUPTA, S., VU, V. A. & TAN, G., (2018), **A Simulation Framework for Crisis Management: Design and Use**, Simulation Modelling Practice and Theory, 85, 15-32.
 - KAGERMANN H., WAHLSTER W. & HELBIG J., (2013), **Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0**, Final report of the Industrie 4.0 working group, Berlin: Forschungsunionim Stifterverbandfürdie Deutsche Wirtschafte.
 - KARAMİK, S. ve ŞEKER, U., (2015), **İşletmelerde İş Güvenliğinin Verimlilik Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 3 (4), 575-584.
 - KOSTI, M. V., GEORGIADIS, K., ADAMOS, D. A., LASKARIS, N., SPINELLIS, D. & ANGELIS, L., (2018), **Towards an Affordable Brain Computer Interface for the Assessment of Programmers' Mental Workload**, International Journal of Human-Computer Studies, 115, 52-66.
 - KRITIKOS, K. & MASSONET, P., (2016), **An Integrated Meta-Model for Cloud Application Security Modelling**, Procedia Computer Science, 97, 84-93.
 - LIU, Y., SUBRAMANIAM, S. C. H., SOURINA, O., LIEW, S. H. P., KRISHNAN, G., KONOVESSIS, D. & ANG, H. E., (2017, September), **EEG-Based Mental Workload and Stress Recognition of Crew Members in Maritime Virtual Simulator: A Case Study**, In 2017 International Conference on Cyberworlds (CW), (pp. 64-71), IEEE.
 - LU, Y., (2017), **Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues**, Journal of Industrial Information Integration, 6, 1-10.
 - MACİT, İ., (2017), **Kurumsal Kaynak Planlamasının Endüstri 4.0 Kazanımları: Bir Yapısal Çatı Modeli Önerisi**, Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi, 3 (1), 50-60.
 - MATTSSON, S., PARTINI, J. & FAST-BERGLUND, Å., (2016), **Evaluating Four Devices That Present Operator Emotions in Real-Time**, Procedia CIRP, 50, 524-528.
 - MERSİN TİCARET VE SANAYİ ODASI, (2017), **Türkiye, Avrasya'nın Endüstri 4.0 Merkezi Olabilir**, Erişim Adresi: <http://www.mtso.org.tr/tr/haberler/turkiye-avrasya-nin-endustri-4-0-merkezi-olabilir> , 20.09.2019.
 - MRUGALSKA, B. & WYRWICKA, M. K., (2017), **Towards Lean Production in Industry 4.0**, Procedia Engineering, 182, 466-473.

- ÖZSOYLU, A. F., (2017), **Endüstri 4.0**, *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 41-64.
- PALAZON, J. A., GOZALVEZ, J., MAESTRE, J. L. & GISBERT, J. R., (2013, October), **Wireless Solutions for Improving Health and Safety Working Conditions in Industrial Environments**, In 2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom 2013), (pp. 544-548), IEEE.
- PARASURAMAN, R., (2003), **Neuroergonomics: Research and Practice**, Theoretical issues in ergonomics science, 4 (1-2), 5-20.
- PERCY, S., (2018), **Artificial Intelligence: The Role of Evolution in Decision-Making**, Erişim Adresi: <http://www.telegraph.co.uk/business/digital-leaders/horizons/artificial-intelligence-role-of-evolution-in-decision-making>, 18.07.2018.
- PODGORSKI, D., MAJCHRZYCKA, K., DAJBROWSKA, A., GRALEWICZ, G. & OKRASA, M., (2017), **Towards a Conceptual Framework of OSH Risk Management in Smart Working Environments Based on Smart PPE, Ambient Intelligence and the Internet of Things Technologies**, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 23 (1), 1-20.
- QIN, J., LIU, Y. & GROSVENOR, R., (2016), **A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond**, Procedia Cirp, 52, 173-178.
- ROKETSAN DERGİSİ, (2018), Erişim Adresi: <http://www.roketsan.com.tr/wp-content/uploads/2018/03/RoketsanDergisi-12-Say%C4%B1-Ocak-2018.pdf>, Erişim Tarihi: 21.09.2019.
- SCHUMACHER, A., EROL, S. & SIHN, W., (2016), **A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises**, Procedia Cirp, 52, 161-166.
- SIEMIENIUCH, C. E., SINCLAIR, M. A. & HENSHAW, M. D., (2015), **Global Drivers, Sustainable Manufacturing and Systems Ergonomics**, Applied ergonomics, 51, 104-119.
- TURKISH TIME DERGİSİ, (2015), **Endüstri 4.0**, Erişim Adresi: <http://www.turkishtimedergi.com/genel/endustri-4-0/>, 20.09.2019.
- YÜKSEKBİLGİLİ, Z. ve ÇEVİK, G. Z., (2018), **Endüstri 4.0 Bağlamında Türkiye'nin Yerine İlişkin Güncel ve Gelecek Eksenli Bir Analiz**, Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (FESA), 3(2), 422-436.
- WASCHNECK, B., ALTENMÜLLER, T., BAUERNHANSL, T. & KYEK, A., (2016), **Production Scheduling in Complex Job Shops from an Industry 4.0 Perspective: A Review and Challenges in the Semiconductor Industry**, In SAMI@ iKNOW (pp. 1-12).
- WEE, D., KELLY, R., CATTEL, J. & BREUNIG, M., (2015), **Industry 4.0-How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector**, McKinsey & Company, 58.
- WITKOWSKI, K., (2017), **Internet of Things, Big Data, Industry 4.0-Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management**, Procedia Engineering, 182, 763-769.