

Cenk ŞEN¹,
Orcid: 0000-0001-6022-3765

Arzu ŞEN KILIÇ²
Orcid: 0000-0002-2856-4196

Ziynet ÖNDOĞAN³
Orcid: 0000-0002-8597-2727

¹Computer Engineer, MSc, TÜRKSAT Uydu
Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş., Ankara,
Turkey

²Asst.of Prof.Dr., Ege University Faculty of Fashion
and Design, Department of Fashion Design, İzmir,
Turkey

³Prof.Dr., Ege University Faculty of Fashion and
Design, Department of Fashion Design, İzmir,
Turkey

Sorumlu Yazar (Corresponding Author):
Arzu ŞEN KILIÇ
arzu.senkilic@ege.edu.tr

Anahtar Sözcükler:

Endüstri 4.0, Moda Sektörü, Akıllı
Fabrikalar, Giyilebilir Teknoloji, 3B Yazıcı

Key Words:

Industry 4.0, Smart Factories, Wearable
Technology, 3D Printer

Endüstri 4.0 ve Moda Sektöründeki Uygulamaları

Industry 4.0 and Its Applications in Fashion Industry

Alınış (Received): 11.04.2020 **Kabul Tarihi** (Accepted): 20.06.2020

ÖZ

Endüstrideki üretim sürecinin dijital dünya ile bütünleştirilerek üretimin her aşamasında teknolojinin kullanılması yeni bir endüstri devriminin başlamasına yol açmıştır. Endüstri 4.0 kavramının doğuşunda, artan küresel rekabet ve gelişen teknolojiyle meydana gelen dijitalleşmenin etkisi oldukça büyüktür.

Önümüzdeki günlerde 4. Endüstri Devrimi aynı diğer endüstri devrimleri gibi, dünyadaki bütün sektörleri kapsayacak önemli değişimlere sebep olacaktır. Değişimin yaşanacağı sektörlerden biri de tarih boyunca insanlığın yaşamını etkileyen önemli sektörlerden biri olan moda sektörüdür.

Gerçekleştirilen çalışmada Endüstri 4.0 kavramı, kavramın diğer endüstri devrimleriyle beraber tarihsel süreci, yapısı ve ilkeleri açıklanarak, moda sektöründeki uygulamaları anlatılmıştır.

ABSTRACT

The use of technology at every stage of production, by integrating the production process in the industry with the digital world, cause to the start of a new industrial revolution. Increasing global competition and occurring digitalization by developing technology have great impact on the emergence of the Industry 4,0 Concept.

In very near future, the 4th Industrial Revolution, like other industrial revolutions, will cause significant changes in all sectors in the world. One of the sectors where change will take place is the fashion sector, which has been one of the important sectors that have influenced the life of humanity throughout history.

In this study, the concept of Industry 4.0, the historical process, structure and principles of the concept along with other industry revolutions have been explained and its applications in the fashion industry have been explained.

1. GİRİŞ

Son yıllarda küresel pazarda işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için artan tüketici beklentilerine hızlı cevap vermeleri, ürün esnekliğini arttırmaları ve kitlesel kişiselleştirilmiş üretim yapımları gerekmektedir.

Dünyanın sürekli olarak hızla değişmesi ve gelişmesi tüm aktörleriyle birlikte birçok şirketin tedarik zincirlerinin tamamını etkilemiştir. Bu dinamik değişim şirketlere, yapılarına en uygun olan iş süreçlerini yeniden tasarlama konusunda baskı yaratmış ve bu nedenle karmaşık süreçleri yönetmek için çeşitli teknolojilerin ve entegre kurumsal çözümlerin kullanılmasını gerektirmiştir (Majeed ve Rupasinghe, 2017). Bu durum Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Endüstri 4.0 kavramı, sistem ve ürün tasarımı, üretimi ve dağıtımında bir dizi teknoloji dönüşümü ve iletişim teknolojileri ile cihazlarına dayanan üretken süreç organizasyonunu tanımlamak için kullanılmaktadır (Kabukcu, 2018). Endüstri 4.0 kavramı aynı zamanda, endüstrideki üretim sürecinin dijital dünya ile bütünleştirilebilmesi ve bunun sonucunda akıllı bir ürün geliştirilmesi, verimliliği arttırılmış üretim, yüksek ve sürekli müşteriler ile lojistik ağdan oluşan çok boyutlu bir sistemin ifadesidir (Özkan vd.,2018).

Moda, bireysel ve toplumsal etkileşimler göz önüne alındığında sosyal bir olgu olarak kabul edilebilen bir kavram olup, var olduğundan beri her dönem dikkat çekmekte, etkilenilmekte, takip edilmekte ve bir şekilde yaygınlık kazanmaktadır. Bu nedenle de moda sektörü toplumsal, ekonomik, siyasal, kültürel ve teknolojik gelişmelerden etkilenen bir alandır. (Eymen, 2017).

Moda sektörü, modern dünyanın en dinamik tedarik zincirlerinden biri olması nedeniyle, birçok zorluk içermektedir. Moda sektörü küreselleşirken, tüm dünyadaki tüketiciler bu hızlı ve sürekli gelişen sanayiden etkilenmiştir (Majeed ve Rupasinghe, 2017). Günümüzde teknolojinin giyim ürünlerinde de kullanılmaya başlanması, giyim ve moda sektöründe köklü değişimler ve yönelimler meydana gelmesine yol açmıştır.

Büyük teknolojik gelişmelerin olduğu hızla küreselleşen günümüz iş dünyasında, moda sektöründe yer alan giyim üreticilerinin rekabetçi olarak kalabilmeleri için en güncel bilgi teknolojileri uygulamalarına yatırım yapmaları gerekmektedir. Çalışanların verimliliğini arttırmak ve üretim maliyetlerini azaltmak için bilgi teknolojilerine yatırım yapmanın iyi bir strateji olduğu, ayrıca bu durumun rekabet edebilirlik ve sürdürülebilir iyileşme için de gerekliliği görülmüştür (Gökalp vd., 2019). Dolayısıyla Endüstri 4.0 kavramı moda sektörü için de önemli bir kavram haline gelmiştir.

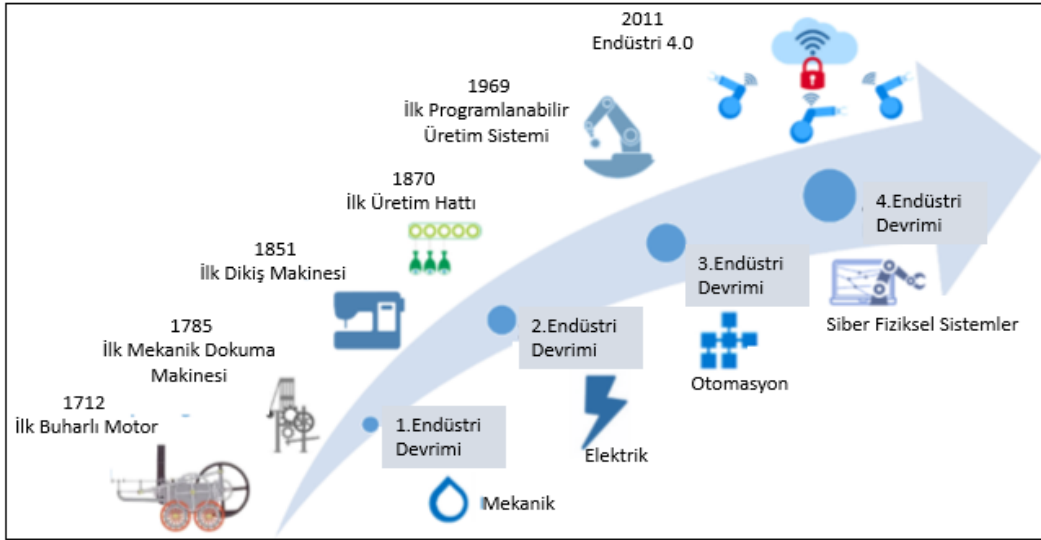
Bu çalışmada Endüstri 4.0 kavramı hakkında bilgi verilerek, bu kavramın moda sektöründeki uygulamaları incelenmiştir.

2. ENDÜSTRİ 4.0'IN TARİHÇESİ

Ekonomi tarihine bakıldığında, toplumların yaşamını köklü değişime uğratan ve ekonomik performansını artırarak büyümeyi sağlayan iki önemli değişim görülmektedir. Bu değişimlerden ilki tarım devrimi, ikinci değişim ise endüstri/sanayi devrimidir (Özsoylu, 2017).

İnsanların M.Ö 10.000 yılına kadar avcılık yapıp avladıkları hayvanları tüketerek hayatlarını sürdürüp, avcılık-toplayıcılık dönemini yaşadıkları düşünülmektedir. Bu dönemden sonra insanlar yaşam şekillerini değiştirip, hayvan yetiştiriciliğine ve mahsul ekip biçmeye başlayarak, yerleşik hayata geçmişlerdir. Bu değişiklik, insanlık tarihinin ilk ve en önemli devrimlerinden biri olan tarım devriminin başlamasına neden olmuştur. Bu gelişme o döneme kadar sadece tüketici konumundaki toplumları aynı zamanda üretici toplumlar haline dönüştürmüştür (Özkan vd.,2018).

İnsanlık tarihi incelendiğinde, tarım devriminden endüstri devrimine geçişin oldukça uzun bir süreç içerisinde yaşandığı görülmektedir. Fakat 18. yy'da başlayan Birinci Endüstri Devrimi ile yaşanan gelişmelerin çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştiği ve günümüzde de halen devam ettiği söylenebilmektedir (Özkan vd., 2018) (Şekil 1.).



Şekil 1. Endüstri Devrimleri Şeması (Gökalp vd., 2018)

Figure 1. Industrial Revolutions Chart

Birinci Endüstri Devrimi'nin başlangıcı olarak 1712 yılında Thomas Newcomen'in bir buhar makinesini icat etmesi gösterilmektedir (Özkan vd., 2018). Bu büyük devrim demiryollarının inşa edilmesi ve buhar makinelerinin kullanılmasıyla mekanik üretimin gerçekleşmesine olanak vermiştir (Özkan vd., 2018). Bu dönem, üretimde kullanılan enerji esas alınarak Buhar Çağı olarak isimlendirilmektedir (Dil ve Esmer, 2020).

Birinci Endüstri Devrimi ile birlikte el ve beden gücünün yerini makine gücü almıştır. İlk mekanik dokuma tezgâhı, 1785'te İngiliz mucit Edmund Cartwright tarafından geliştirilmiştir (Gökalp vd., 2019). Buharlı makinelerin icadının ardından İngiltere'de pamuk üretiminde çırçır makinelerinde kullanılmaya başlamasıyla birlikte buharla çalışan ilk tekstil fabrikaları faaliyete başlamış ve verimlilik yaklaşık 15 kat civarında artmıştır (Özsoylu, 2017; Yoşumaz ve Özkara, 2019). Üretimde atölye tipi üretimin yerini fabrikalar almaya başlamıştır. Önceleri bir elbisenin tamamını dikebilen terziler hazır giyim fabrikalarında elbisenin belli bölümlerini dikebilen işçiler olarak yerlerini almışlardır (Yoşumaz ve Özkara, 2019). Bu devrim süresince tekstil sektöründe gerçekleşen ilerlemeler, tekstil tüketiminin, Maslow'un sonradan açıklayacağı gibi temel bir ihtiyaç olarak benimsenmesinin temellerini oluşturmuştur (Gökalp vd., 2019).

Bu nedenle endüstri devrimini başlatan en önemli unsurların buharlı makinelerin icadı, tekstil ve demir madeninin üretimi ve kullanımının yaygınlaşması olduğu kabul edilmektedir. İngiltere'de başlayan endüstri devrimi kısa sürede Avrupa ve ABD'ye yayılmış, sanayileşen ülkelerde zenginlik ve refah seviyesi giderek artış göstermiştir. Sanayileşme süreci tarımla uğraşan nüfusun büyük bir bölümünü tarım ve hayvancılıktan ayrılarak, sanayi ve hizmet sektörlerinde üretim yapar duruma getirmiştir (Özsoylu, 2017).

İkinci Endüstri Devrimi, 19. yüzyılın sonlarında elektriğin üretimde kullanılması ve elektrik gücünün montaj hatlarını yönlendirmesi ile ortaya çıkmıştır (Özkan vd., 2018). İkinci Endüstri Devrimi'nin başlamasında Ford Motor fabrikalarında kurulan elektrik sistemlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Bu sistemler sayesinde seri üretim ilk defa 1910'lu yıllarda Henry Ford tarafından gerçekleştirilerek gündeme gelmiştir (Gökalp vd.,

2019). Bu durum üretim hacminin artmasıyla birlikte maliyetlerin ve fiyatların düşmesini sağlamıştır. İkinci Endüstri Devrimi; elektriğin, bilim bazlı kimyasalların, telgrafın yayılması ve telefonun keşfedilmesiyle iletişim teknolojilerinin yayılmasına da neden olmuştur. Bu endüstri devriminde, ilk endüstri devriminden farklı olarak bilimin önemi ortaya çıkmış ve kullanılmaya başlanmıştır (Özkan vd., 2018).

İkinci Endüstri Devrimi'nin hazır giyim sektöründeki etkisi dikiş makinesinin seri bir şekilde üretilmeye başlanması ile görülmüştür. Daha önceden keşfedilmesine rağmen Isaac Singer ilk dikiş makinesinin patentini 1851 yılında almış ve bu gelişme ile giysi üretimi ve tüketimi büyük bir ivme kazanmıştır. Dikiş makineleri sonraki yıllarda ayakkabı gibi başka üretim alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır (Gökalp vd., 2019).

Bilimsel bilginin daha aktif olarak kullanılmasıyla birlikte 1968 yılında geliştirilen programlanabilir makineler, Üçüncü Endüstri Devrimi'nin başlamasına neden olmuştur (Özkan vd., 2018). 20. Yüzyılın ortalarına gelindiğinde, otomasyon ve mikro elektronik teknolojilerinin üretime girmesiyle birlikte Endüstri 3.0 hayat bulmuştur. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin ilerlemesi üretim yöntemlerinin değişiminin merkezinde yer almıştır. Küreselleşme olgusunun etkisi ile bu değişim dünyaya yayılmıştır. Bilgi çağı olarak isimlendirilen Üçüncü Endüstri Devrimi'nde bilgisayarlar günlük hayata kadar girmiş, bilgisayarın kontrolündeki üretim robotları üretim mantığında köklü değişiklikler meydana getirmiştir. Artık tasarımdan üretime kadar dijitalleşmiş bir üretim ortamı anlayışı yerleşmiştir (Dil ve Esmer, 2020).

Aynı zamanda Dijital Devrim olarak da adlandırılan Üçüncü Endüstri Devrimi ile bilgi ve iletişim teknolojileri endüstride kullanılmaya başlanmış ve mikroişlemciler, yazılım, fiber optik kablolar ve telekomünikasyon alanlarında gerçekleşen gelişmeler ışığında elde edilen entegre sistemler sayesinde analog yapıdan dijital teknolojiye geçiş sağlanmıştır (Gökalp vd., 2019).

Üçüncü Endüstri Devrimi'nin belirleyicileri olan bilgisayar donanımları, yazılım, ağlar ve dijital teknolojilerin gelişmesi ve bütünleşik hale gelmesi, tarım devrimi ve endüstri devrimleri sonrasında olduğu gibi toplumlarda ve ekonomide dönüşüm meydana getirmiştir. Bilgi teknolojilerinin ve otomasyonun yaygınlaşması ile siber fiziksel sistemler, dinamik veri işleme ile değer zincirlerinin birbirine bağlandığı yeni bir aşamaya gelinmiştir (Özsoylu, 2017).

Üçüncü Endüstri Devrimi'nin elektronik olarak kontrol edilen üretim sistemi, moda endüstrisinde de küreselleşmeyi hızlandırmada kilit bir faktör olmuş ve CAD-CAM sistemlerindeki standart yazılım dilleri ile veri alışverişi gerçekleştirilmiştir (Jayatilake ve Suren, 2016).

Endüstri 4.0 kavramının doğuşunda iki temel neden bulunmaktadır. Nedenlerden ilki, küresel rekabetin giderek artması, ikincisi ise teknolojinin gelişimi ve dijital dönüşüm ile birlikte verimlilik potansiyelinin oluşmasıdır. 2000'li yıllara gelindiğinde endüstriyel üretimin başta Çin olmak üzere Doğu ülkelerine kayması, Batı'daki sanayi lideri ülkelerin yeni önlemler alması gerekliliğini gündeme getirmiştir. Doğu'nun ucuz işgücü ve üretim kapasitesiyle rekabet etmenin en mantıklı yolunun gelişen teknolojiyi üretim ve sanayide faydaya dönüştürmek, akıllı iş süreçleri ve nesnelerin interneti ile fabrikalarda verimliliği artırmak şeklinde olacağı düşünülmüştür. Bunun için yeni bir sanayi devrimine ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır. Bu konuda ilk adım atanlardan biri Almanya olmuştur (Kılıç ve Alkan, 2018).

Endüstri 4.0 olarak isimlendirilen Dördüncü Endüstri Devrimi, 2011 yılında Hannover Fuarı'nda Alman Federal Hükümeti tarafından ilk defa gündeme getirilmiştir (Grieco vd., 2017). 2000'li yıllarda ortaya çıkan bu devrim, dijitalleşme temelleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Dijitalleşme üretim sürecinde tam olarak kullanılmasa da mobil ağların ve internetin hızla yaygınlaşması, yapay zekâ ile makinelerin kullanılması ve bunların çok daha fazla gelişip bütünleşmesi Dördüncü Endüstri Devrimi'nin başlamasına neden olmuştur (Özkan vd., 2018).

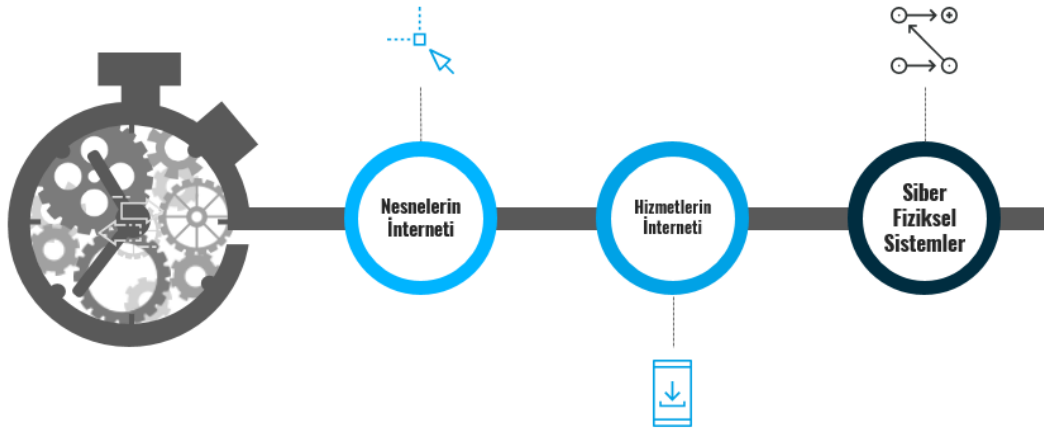
Dördüncü Endüstri Devrimi ile, yeni nesil birbiriyle iletişim kurabilen teknolojilerin yer aldığı akıllı fabrikalar aracılığıyla daha esnek, daha düşük maliyetli, daha hızlı ve verimli üretim yapılması amaçlanmaktadır (Kılıç ve Alkan, 2018).

İlk üç endüstri devriminin ana sebebi ve etkisi maliyeti düşürmek noktasında faydalar sağlarken Dördüncü Endüstri Devrimi maliyet ve müşterinin kontrol edilmesi ile pazarın ihtiyaçlarının doğru tanımlanmasında da etkili olmaktadır. Bu gelişmelerle müşteri alışkanlıkları da artık daha kolay tespit edilebilmektedir.

Endüstri 4.0 /Sanayi 4.0 olarak da adlandırılan bu devrim kapsamında, nesnelerin interneti ile siber-fiziksel sistemler birbirleriyle ve insanlarla gerçek zamanlı olarak iletişime geçip işbirliği içinde çalışabilmektedir. Bu sisteme göre, fiziksel işlemler siber-fiziksel sistemlerle izlenip, fiziksel dünyanın sanal ortamda bir kopyası oluşturularak, merkezi olmayan kararların makineler tarafından verilmesi sağlanmaktadır. Bu durumda verimlilik, üretkenlik, şeffaflık, sistemlerin izlenmesi ve arızanın kolayca tespit edilmesi, maliyetlerin azalması ve esnekliğin artması sağlanarak, yeni hizmet ve iş modellerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Gökalp vd., 2019).

3. ENDÜSTRİ 4.0'IN YAPISI VE İLKELERİ

Endüstri 4.0 kavramı, genel olarak siber fiziksel sistemlerin yapısı, nesnelerin interneti ve hizmetlerin interneti olmak üzere üç temel yapıdan oluşmaktadır (Şekil 2.).



Şekil 2. Endüstri 4.0'ın Temel Yapı Taşları

Figure 2. Basic Blocks of Industry 4.0

Nesnelerin İnterneti; herhangi bir nesneden üretilen verilerin, bir ağ aracılığıyla başka sistemlere aktarılması olarak tanımlanmaktadır. Nesnelerin internetini, çeşitli fiziksel cihazlar, makineler ve çeşitli elektronik donanım içeren nesnelerin veri iletişimini sağlamak için kurmuş oldukları ağ sistemleri oluşturmaktadır (Özkan vd., 2018). Dünyada bulunan nesnelerin birbirleriyle haberleşmesini sağlayarak insan hayatını kolaylaştırmaya yönelik uygulamaların geliştirilmesi nesnelerin interneti kavramının temel çıkış noktasını oluşturmuştur (Gündüz ve Daş, 2018).

Nesnelerin interneti, gelişmiş bir otomasyon ve analitik bir sistem olup, bir ürün veya hizmetin gerçekleştirilmesi için eksiksiz sistemler sunmak üzere ağ oluşturma, algılama, büyük veriler ve yapay zeka teknolojilerinden yararlanmaktadır. Bu sistemler herhangi bir sektöre uygulandığında yapılan üretim veya hizmet için daha fazla şeffaflık, kontrol ve performans sağlanmaktadır (Aslan ve Tosun, 2019).

Siber Fiziksel Sistemler; iletişimi, fiziksel süreçleri ve bilişsel mekanizmaları enformasyon teknolojilerinden yararlanarak yöneten ve izleyen sistemlerdir (Özkan vd., 2018). Endüstri 4.0'ın önemli bir bileşeni, fiziksel ve sanal dünyanın birleşip, kaynaşmasıdır ve bu birleşme, siber-fiziksel sistemler ile mümkün olmaktadır (Hermann vd., 2015). Endüstri 4.0'ın en önemli kavramlarından biri olan siber fiziksel sistemler medikal izleme, otonom taşıt hizmetleri ve robotik cihaz gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Siber fiziksel sistemler, akıllı fabrikaları ortaya çıkarmaktadır. Bu sistem, üretimde sadece otomasyon teknolojisini geliştirmemekte, aynı zamanda karar alma süreçlerini ve gözlem kabiliyetini de geliştirmektedir (Özkan vd., 2018).

Hizmetlerin interneti ise; hizmet sağlayıcıların hizmetlerini internet üzerinden sunmalarını sağlamaktadır (Hermann vd., 2015). Hizmetlerin interneti, hizmetlerin sunulabilmesi için iş modellerinden ve hizmet altyapılarından oluşmaktadır (Özkan vd., 2018).

İlk üç sanayi devrimi mekanizasyon, elektrik ve bilgisayar teknolojilerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Nesnelerin ve hizmetlerin internetinin üretime entegrasyonu ise Dördüncü Endüstri Devrimi'ni başlatmıştır (Kagermann vd., 2013).

Endüstri 4.0, 6 temel ilke üzerine kurulmuştur. Bu ilkeleri aşağıdaki şekilde açıklamak mümkündür:

- **Karşılıklı Çalışabilirlik:** Bu ilke, insanların, fabrikaların, araçların birbiri ile karşılıklı iletişim kurarak çalışabilmesi prensibine dayanmaktadır (Yıldız ve Ağdeniz, 2019). Bu ilke, siber fiziksel sistemlerin yeteneği ile nesnelerin interneti ve hizmetlerin interneti üzerinden insanların ve akıllı fabrikaların birbirleriyle iletişim kurmasını içermektedir (Kagermann vd., 2013, Özkan vd., 2018).

- **Sanallaştırma:** Bu ilkenin anlamı, gerçek hayatta olan fiziksel tüm nesnelerin sayısallaştırılması diğer bir deyişle dijitalleştirilmesidir. Görselleştirme ile süreçlerde şeffaflık artacak ve süreçlerde meydana gelen darboğazlara eş zamanlı olarak müdahale edilebilecektir (Yıldız ve Ağdeniz, 2019). Bu yapı akıllı fabrikaların sanal bir kopyası olarak açıklanabilmektedir. Sistem, sensör verilerinin sanal tesis ve simülasyon modelleri ile bağlanmasıyla oluşmaktadır (Özkan vd., 2018).

- **Özerk Yönetim:** Siber-Fiziksel sistemlerin akıllı fabrikalar içinde kendi kararlarını kendi verme yeteneğidir (Özkan vd., 2018). Bu ilke doğrultusunda, değişen müşteri taleplerinin zamanında karşılanabilmesinin makinelerin kendi kendilerine zamanında karar verebilmeleri ile mümkün hale geleceği düşünülmektedir (Yıldız ve Ağdeniz, 2019).

- **Gerçek Zaman Kabiliyeti:** Bu ilke, verilerin toplanma ve analiz etme yeteneğini ifade etmektedir (Özkan vd., 2018). Endüstri 4.0'da tüm üretim faaliyetleri, sistemde gerçekleşen hataların bulunabilmesi, gerekli düzenlemelerin yapılabilmesi ve bu düzenlemeler sonucunda karar alınabilmesi için gerçek zamanlı olarak izlenmektedir (Yıldız ve Ağdeniz, 2019).

- **Hizmet Odaklılık:** Bu ilke, hizmetlerin interneti üzerinden siber-fiziksel sistemler, insanlar ve akıllı fabrika servislerinin sunulmasını ifade etmektedir (Özkan vd., 2018).

- **Modülerlik:** Bu ilke, bireysel modüllerin değişen gereklilikleri için akıllı fabrikalara esnek adaptasyon sistemi sağlaması üzerine yapılanmıştır (Özkan vd., 2018). Günümüzde çevre şartlarının sürekli değişmesinden dolayı gereksinimlere kolaylıkla uyum sağlanabilmesi açısından modüler sistemler önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Modülerlik, değişen müşteri istek ve ihtiyaçlarının karşılanmasında ve mevsimsel dalgalanmalarda üretimin daha esnek olmasını sağlamaktadır (Yıldız ve Ağdeniz, 2019).

Endüstri 4.0'ın yükselişi, birçok teknolojinin ilerlemesi ile desteklenmektedir (Sayar ve Yüksel, 2018). Bu teknolojiler arasında büyük veri ve analizi, otonom robotlar, simülasyonlar, yatay ve dikey sistem

entegrasyonları, endüstriyel internet / nesnelerin interneti, siber güvenlik, bulut sistemler, eklemeli üretim (3 boyutlu [3B] yazıcılar / 4 boyutlu [4B] yazıcılar), artırılmış gerçeklik, mobil araçlar, akıllı sensörler, gelişmiş insan-makine arayüzleri yer almaktadır. Üretimde verimliliğin artırılarak endüstrilerin büyümesinin sağlandığı bu gelişmeler ışığında; daha hızlı, hata oranı düşük, yüksek kalitenin daha az maliyetle erişildiği bir üretim yapısı oluşturulmaya başlanmıştır. Dijitalleşme ile birlikte değişen müşteri istek ve ihtiyaçlarının işletmeler tarafından daha hızlı ve verimli karşılanmasına olanak tanıyan bu teknolojiler sayesinde ürün ve hizmetlerin daha da kişiselleştirildiği görülmektedir (Ovacı, 2017). Bu teknolojiler tüm iş birimlerinin birbiri ile etkileşimli şekilde çalışabilmelerine imkan vermektedir (Yıldız ve Ağdeniz, 2019).

4. MODA SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI

Günümüz dünyasında yer alan teknolojik gelişmeler moda sektörünü önemli ölçüde etkilemiştir. Endüstri 4.0, yüksek teknolojinin rekabet avantajına dönüşmesini sağlayacak üç ana unsur üzerinde gelişmektedir. Bunların ilki bir ürünü pazara çok hızlı çıkarabilmektir. Hızlı inovasyon döngüleri bunu mümkün kılmaktadır. İkinci unsur kişiye özel üretim yapabilmektir. Günümüz tüketim kültürü, bireyselliği ön plana çıkaran, kişiye özgü hazırlanmış ürünleri el üstünde tutmaktadır. Aynı üretim bandından, kişiselleştirilmiş ürünleri aynı hızda çıkarmayı sağlayacak, dijitalleştirilmiş ve kompleks iş süreçleri Endüstri 4.0'ın en önemli yeniliklerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Sonuncu unsur ise dijital dönüşüm nedeniyle üretim tesislerine büyük bir verimlilik getirmesidir (Kılıç ve Alkan, 2018). Endüstri 4.0'ın bu ana unsurları, moda endüstrisi için de önemli unsurlardır. Bu nedenle, Endüstri 4.0 uygulamalarının moda endüstrisinde trend tahmini, tüketici araştırması, tasarım, ürün geliştirme, satın alma, üretim, satış ve dağıtım aşamalarını içeren tüm tedarik zincirinde uygulanabileceği düşünülmektedir (Wang, Jung HA Brookshire, 2018).

Endüstri 4.0'ın teknolojik bileşenlerinin moda endüstrisi tedarik zincirinde kullanımı incelendiğinde, akıllı fabrika yaklaşımları karşımıza çıkmaktadır.

Akıllı fabrika konseptinde, kablosuz sensör ağı, siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, RFID teknolojisi, büyük veri, robot teknolojisi, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, bulut bilişim, 3 boyut algılama teknolojisi, görüntü işleme, makine öğrenimi ve siber güvenlik gibi Endüstri 4.0'ın bir takım teknolojik bileşenleri yer almaktadır (Gökalp vd., 2019). Endüstri 4.0'ın bu teknolojik bileşenlerinden, akıllı konfeksiyon fabrikası konseptinde müşteri tarafından siparişin alınması, prototip modelin yapılması, müşteri tarafından onayın alınması, gerekli kumaş ve malzemenin tedarik edilmesi, üretim planlama, kurumsal kaynak yönetimi, çalışan performans yönetimi ve üretim yönetimi aktiviteleri için yararlanılabilmektedir (Gökalp vd., 2018).

Moda endüstrisinde üretim aşamaları incelendiğinde öncelikle bir koleksiyonun hazırlanarak, prototiplerin müşteriye sunulması aşaması yer almaktadır. Akıllı fabrika konsepti çerçevesinde bu süreçte, Endüstri 4.0'ın teknolojik bileşenlerinden olan sanal gerçeklik teknolojilerinin kullanıldığı üç boyutlu sanal giydirmeye programları ile tasarlanan giysi modelleri istenilen tekstil materyalleri ile sanal mankenlere giydirilebilmektedir. Bilgisayar destekli kalıp tasarımı sistemlerinde oluşturulan kalıp parçalarının, bu sistemler yardımıyla üç boyutlu hale getirilmesiyle giydirmeye işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylece ürünün sanal prototipi hazırlanarak, giyim işletmelerinin zaman, işgücü ve kumaş tasarrufu yapmaları sağlanmaktadır (Kılıç, 2011).

Akıllı fabrika konsepti çerçevesinde sipariş alımı gerçekleştirildikten sonra, satın alma departmanı tarafından üretimde kullanılacak malzemelerin tedarikçisinde, en uygun tedarikçinin tespiti için, önceki siparişlerdeki verilerin analizini yapan yapay zekâ uygulamaları kullanılabilir. Deponun düzenlenmesi için de RFID barkod teknolojisinden yararlanılabilir. RFID barkod teknolojisi, nesnelerin interneti teknolojisinin temel bileşenleri arasında yer alan, küçük boyutlarda tasarlanıp kablosuz ağa bağlanma özelliği olan, insan ve objeleri tanımlayabilmek için kullanılan bir veya daha fazla okuyucu ve etiketten oluşan bir sistemdir. Depoya girişi

yapılan kumaş ve aksesuar gibi hammaddelerin üzerine yerleştirilen RFID etiketlerinde, hammaddenin hangi siparişin üretimi için kullanılacağı ve sipariş verilerek gelen malzemenin depolanmasına ilişkin diğer tüm bilgiler saklanabilir. Üretim esnasında da gerekli tüm malzemeler insan etkisi olmadan robotlar ve/ya siber fiziksel sistemler aracılığı ile kumaş ve malzemeler otomatik olarak depodan getirilebilir (Gökalp vd., 2019).

Üretimdeki önemli departmanlardan biri olan modelhanede akıllı fabrika konsepti çerçevesinde ürün modelinin dijital olarak üç boyutlu modellenmesi/çizilmesi, iki boyutlu ve üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım sistemlerinde sanal gerçeklik ile ürünün dijital ortamda incelenerek giysi kalıplarına son halinin verilmesi ve oluşturulan giysi kalıplarının kesim sistemlerine bulut teknoloji altyapısı kullanılarak, dijital ortamda kablosuz ağ aracılığı ile gönderilmesi sağlanabilmektedir. Ürünün kesim sürecinde; kumaşın depodan alınarak kesimhaneye getirilmesi ve serim ve kesim işlemleri siber-fiziksel sistemler ve robotlar aracılığı ile gerçekleştirilebilir. Ürünün dikim sürecinde; ürünlerin üzerlerine yerleştirilen radyo frekansı kullanarak nesnelere tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemi olan RFID etiketlerine işlem akışıyla ilgili üretim için gerekli bilgiler eklenebilir. Daha sonra iş istasyonlarına RFID okuyucuları yerleştirilip sistem ile entegre edilerek ürünün dikilmek üzere ilgili iş istasyonlarına gönderilmesi sağlanabilir (Gökalp vd., 2019). Makine operatörleri dikiş makinesindeki ayarları otomatik olarak yeniden yapılandırarak farklı kumaş demetlerindeki RFID etiketlerini kullanarak iş akışlarını optimize edebilirler. Bu işlem büyük bir zaman ve emek tasarrufu sağlar. Dijital otomasyon dikiş makinelerinin koduna entegre edilerek, fabrikadaki her makinenin ayarları hızla güncellenebilir. Böylece dikim sürecinde maliyetler azaltabilir ve genel verimlilik artırılabilir (www.cgsinc.com, 2020).

Akıllı fabrika konsepti çerçevesinde kalite kontrol sürecinde de Endüstri 4.0'ın teknolojik bileşenlerinden gelişmiş görüntü işleme yöntemleri kullanılarak yapılan işlem hızlandırılıp, kalitenin artırılması sağlanabilir. Ayrıca üretim ile ilgili verilerin düzenli olarak toplanması için makine öğrenimi yaklaşımları kullanılarak son ürün üzerinde oluşabilecek kalite sorunları giderilebilir. Giysi üretiminin son aşaması olan paketleme işlemi de RFID etiketinde yer alan bilgiye göre, siber fiziksel sistemler ile insan etkileşimi olmayacak şekilde gerçekleştirilebilir (Gökalp vd., 2019).

Kişiyeye özel üretim ve moda taleplerine hızlı yanıt verme gereksinimini karşılayacak Sayısal Tekstil Mini Fabrika (Digital Textile Micro Factory) yaklaşımıyla akıllı fabrikaların ilk örneği Texprocess 2017 fuarında sunulmuştur. Bu yaklaşımda sayısallaşma ve otomasyona büyük önem verilmiştir (İlhami, 2019).

2017 yılında Amazon, tüm değer zincirinde akıllı giyim fabrikası için patent başvurusunda bulunmuştur. Amazon'un tam otomatik akıllı giyim fabrikasının kişiselleştirilmiş siparişleri tek tıklamayla alışveriş kadar kolay bir şekilde işlemesi beklenmektedir. Böyle bir sistemde, tasarım ve montaj için artırılmış gerçeklik ve bilgisayar vizyonu, üretim için 3B yazıcı, atölye operasyonları için bilgisayar vizyonu ve yapay zeka, lojistik için makine öğrenimi ile paketleme ve dağıtım için robotik teknolojilerinin kullanılması planlanmaktadır (www.cgsinc.com,2020).

Akıllı fabrikalar verimliliğin artması, operasyon maliyetlerinin azalması, kalitenin artması, sipariş süresinin azalması ve müşteri memnuniyetinin artması gibi faydalar sağlayacaktır. Ancak günümüz koşullarında, akıllı fabrikaları kurmanın ilk yatırım maliyetinin yüksekliği, gizlilik ve güvenlik problemleri, belirtilen teknolojilere hâkim çalışan sayısının yetersiz oluşu ve bu teknolojilerin yeni teknolojiler olması nedeniyle uygulama örneklerinin az olması gibi teknik zorlukları da beraberinde getireceği de öngörülmektedir (Gökalp vd., 2019). Önümüzdeki yıllarda akıllı fabrika uygulamalarına birçok sektörde olduğu gibi moda sektöründe de kademeli olarak geçileceği düşünülmektedir.

Endüstri 4.0 uygulamaları ürün açısından değerlendirildiğinde öncelikle giyilebilir teknoloji ürünlerini incelemek gerekmektedir. Çağımızda varolan tüketim kültürü içerisinde moda takipçileri seri üretime dayalı

olan moda sektöründe sürekli yenilik ve değişim beklemektedirler. Moda takipçilerinin bu arayışlarına giyilebilir teknoloji ürünleri, fonksiyonel tasarımları ile hitap etmektedir. Giyilebilir teknoloji ürünleri, vücuda uyumlu, rahatlıkla giyilebilen ve kişilerin gündelik iş ve aktivitelerine entegre olan elektronik ya da bilgisayar teknolojileri ile donatılmış ürünlerdir (Eymen, 2017). Giyilebilir teknolojiler; veri toplayan, etkinlikleri izleyebilen ve kullanıcıların istek ve ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen cihazlardır. Bir ağa bağlı olması gereken bu cihazlar mikroçipler, sensörler ve kablosuz iletişim yetenekleri ile donatılmıştır (Kılıç, 2017). Giyilebilir teknoloji ürünleri çeşitli şekillerde haberleşmeye, giyen kişinin gerçek zamanlı olarak bilgilerine ulaşabilmeye ve elde ettiği verileri dâhili belleğinde depolayabilmeye olanak sağlamaktadır (Eymen, 2017).

Giyilebilir teknoloji ürünleri aksesuar veya giysiler üzerinde bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanılmasına yönelik olarak tekstiller ile birleştirilerek kullanılmaktadır. Bir life, kumaşa veya giysiye bilgi ve iletişim teknolojilerinin entegre edilmesi giyilebilir sistemlerin geliştirilmesinde önemli bir hedef olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ürünlerde amaç, çevre değişkenlerini algılama teknolojisiyle, insan ve bilgisayar arasında bir ara yüzey oluşturmaktır. Giyilebilir teknoloji ürünlerinde kullanılan tekstiller, kumaşlara anti-statik madde emdirilmesi, kumaşların ve dokusuz yüzeylerin iletken malzemelerle kaplanması ve iletken ipliklerin iletken olmayan ipliklerle kaplanmaları gibi birçok farklı yöntemle elde edilmektedir (Yalçınkaya ve Yılmaz, 2011).

Günümüzde tasarım, mühendislik ve bilimin buluştuğu giyilebilir teknolojiler beden algısında önemli bir dönüşüm vadetmektedir. Teknoloji ürünü tekstiller, moda ürünleri giysileri yeniden tanımlamakta; taşınabilir teknolojiler ile internet ağına ulaşım kolaylıkları, modern insanın çok kullandığı bu teknolojileri giysileri ile beraberinde taşımaya imkan vermektedir (Yetmen, 2017).

Giyilebilir teknoloji ürünlerinin artması ile moda endüstrisinin teknoloji endüstrisinden pay almaya başladığı bugünlerde, yeni ürünler sadece teknoloji etkinliklerinde değil moda etkinliklerinde de tanıtılmaya başlanmıştır. Günümüzde giyilebilir teknoloji alanında çalışan moda tasarımcıları ve bu alanda tasarım yapan markalar bulunmaktadır. Hüseyin Çağlayan, Ryan Genz, Francesca Rosella ve Anouk Wipprecht, teknoloji ile etkileşimli moda tasarımları bulunan ünlü tasarımcılara örnek olarak verilebilmektedir (Yetmen, 2017). Ryan Genz ile Francesca Rosella'nın kurucu ortakları olduğu 2004 yılında kurulan CuteCircuit, dünyanın ilk giyilebilir teknoloji moda markasıdır. Bu alanda bir öncü olan CuteCircuit markasında, sadece güzel görünmekle kalmayıp aynı zamanda etkileyici interaktif yeteneklere sahip tasarımlar oluşturmak için tasarlanan ürünler yeni teknolojiler ve akıllı kumaşlarla birleştirilmektedir. İnovasyon alanındaki çalışmalarını devam eden markanın 3 boyutlu mekansal ses, artırılmış gerçeklik için Haptikler, interaktif aydınlık giysiler, multimedya giyilebilir telekomünikasyon cihazları ve sensör geliştirilmiş kumaş konstrüksiyonları gibi giyilebilir teknoloji alanında bir dizi patenti bulunmaktadır (cutecircuit.com, 2020). Fotoğraf 1.'de markaya ait tasarımlardan örnekler sunulmuştur.



Fotoğraf 1. Cutecircuit Markasına Ait İnteraktif Tasarım Örnekleri

Photo 1. Interactive Design Examples of Cutecircuit Brand

Giyilebilir teknoloji ürünleri ve kullanımı hakkındaki gelişmeler incelendiğinde gelecekte, dijital dünyaya adapte olmuş tasarımcıların ve üreticilerin bu pazarda oldukça önemli bir paya sahip olacağı öngörülmektedir (Kılıç, 2017).

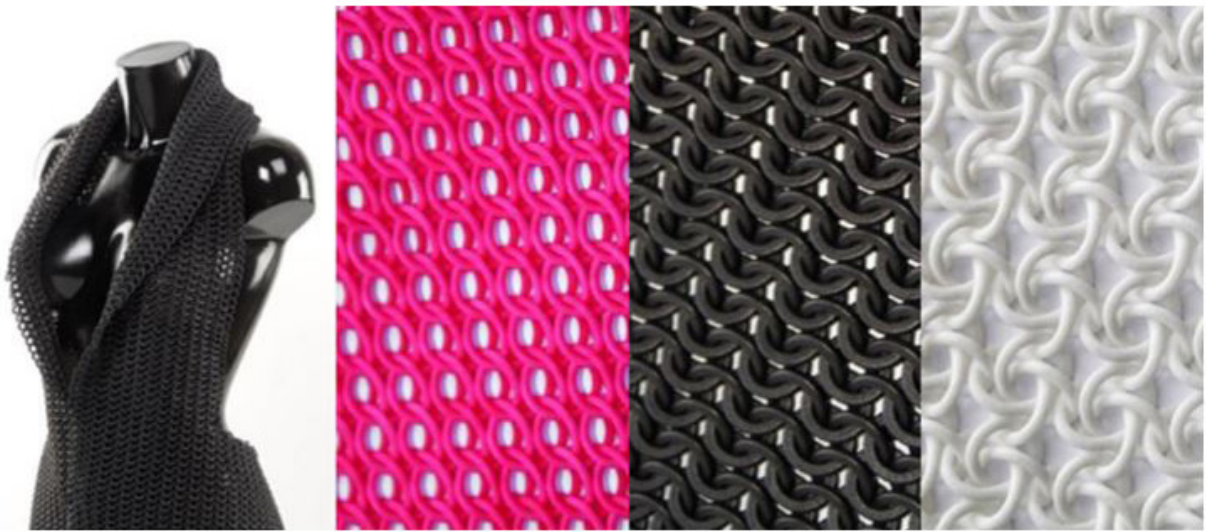
Teknik ve elektronik tekstillerin yanı sıra üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi ürünü giysiler de giyilebilir teknoloji tasarımlarının konusu içerisinde yer almaktadır (Yetmen, 2017). Endüstri 4.0'ın teknolojik uygulamalarından biri olan eklemeli üretim olarak da 3B yazıcı teknolojisi ile bir dijital bilgisayar modelinden istenilen şekilde üç boyutlu katı nesnelere yapılabilmektedir (Fonda, 2013). Bu nesnelere üç boyutlu verileri içeren dijital bir dosyanın 3B yazıcı tarafından kullanılmasıyla oluşturulur (Valtas and Sun; 2016).

Günümüzde 3B yazıcılar takı, ayakkabı, çanta ve günlük kullanımda henüz çok yaygınlaşmamasına rağmen giysi üretiminde de kullanılabilir. Moda ve tekstil alanlarında 3B yazıcılar, malzeme, tasarım ve üretim süreçlerini birleştiren bir teknolojik yenilik olarak karşımıza çıkmaktadır (Eymen, 2017).

3B yazıcı teknolojisi gibi önemli teknolojilerin giysi üretiminde kullanılması moda tasarımında ve hazır giyim sanayinde yeni ufukların açılmasına neden olmakta ve farklı amaçlarla kullanım alanı bulmaktadır (Kurtoğlu Necef vd.,2017). 3B yazıcı teknolojileri giysinin bir bütün olarak üretilmesinde kullanılabileceği gibi, farklı bağlantı şekilleriyle elde edilen dokuma ve örme kumaşlara alternatif yüzeylerin üretilmesi aşamalarında da kullanılabilir (Yıldıran, 2016).

Bu teknoloji ile üretilen ilk giyilebilir ürün 2000 yılında endüstri mühendisi Jiri Evenhuis ve endüstriyel tasarımcı Janne Kyttänen tarafından hazırlanan “Siyah Drape Elbise” olmuştur (Fotoğraf 2.) (Kuhn ve Minuzzi, 2015).

2010 Amsterdam Moda Haftasında, Crystallization koleksiyonu ile Hollandalı tasarımcı Iris Van Herpen 3B yazıcı teknolojisini podyumda sunan ilk modacı olmuştur (Fotoğraf 3.) (www.irisvanherpen.com, 2020).



Fotoğraf 2. Siyah Drape Elbise: Freedom of Creation tarafından hazırlanan farklı yüzeyler
Photo 2. Black Drape Dress: Different surfaces prepared by Freedom of Creation



Fotoğraf 3. Crystallization koleksiyonuna ait 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen ürünler
Photo 3. Products of 3D printing technology belonging to Crystallization collection

5. SONUÇ

Endüstri devrimlerinin dördüncüsünün başlamasının en büyük nedenleri arasında günümüzün iş dünyasında küresel rekabetin yükselişi ve teknolojinin gelişimiyle oluşan verimlilik potansiyel artışı gösterilebilmektedir.

Moda sektörü, yüzyıllardır kitleleri peşinden sürükleyen ve sürekli değişen dinamik yapısı sayesinde insanlık tarihi boyunca tüketime ivme kazandıran bir sektör olma özelliğini korumuştur. Moda sektöründe Endüstri 4.0 teknoloji uygulamaları sayesinde prototip hazırlığının sanallaştırılması ile stokların ve atıkların azaltılması sağlanırken, üretimde yapay zeka teknolojilerinin kullanılması ile zaman, enerji ve malzeme kullanımı açısından verimliliğin ve aynı zamanda kalitenin de artırılması sağlanacaktır. Ayrıca giyilebilir teknoloji ve 3B yazıcı teknolojisi gibi önemli teknolojilerin giysi üretiminde kullanılması moda sektöründe yeni ufukların açılmasına neden olacaktır.

Buna karşılık Endüstri 4.0'ın dezavantajları değerlendirildiğinde, niteliksiz işgücü ihtiyacında azalmaya neden olacağı düşünülmektedir. Ancak Endüstri 4.0'ın teknolojik alt yapısının kullanılması için nitelikli işgücüne olan ihtiyaç artacak ve gerekli bilgi alt yapısına sahip işgücü daha yüksek ücret alma şansına sahip olacaktır.

Ülkemizin gerek moda sektöründe gerekse diğer sektörlerde küresel ekonomide diğer ülkelerle rekabet edebilmesi için Endüstri 4.0'a geçiş yolunda gerekli teknolojik ve eğitim alt yapısının oluşturulması ve ar-ge çalışmalarına ihtiyacı olan kaynak sağlanarak önem verilmesi gerekmektedir.

Teknolojinin toplumlar tarafından bir tehdit olarak değil, bir yardımcı olarak algılanıp, hayatın içine yardımcı sıfatıyla dahil edilmesi gelecekte yaşanabilir bir dünya konsepti için büyük bir yatırım yapılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Aslan Ö, Tosun N, 2019. "Sağlık Sektöründe Nesnelerin İnterneti Uygulamaları", UBAK Uluslararası Bilimler Akademisi, Sosyal Bilimler Kongre Kitabı, ss. 272-284.
- Dil E, Esmer A, 2020. "Firmaların Endüstri 4.0 Stratejilerine Dair Bir Araştırma", Stratejik Yönetim Araştırmaları Dergisi, 3 (1), ss. 85-110.
- Eymen G, 2017. "Giyilebilir Teknolojilerin Moda Endüstrisi Üzerindeki Etkileri", 1. Uluslar arası İletişimde Yeni Yönelimler Konferansı, İstanbul, Mayıs 2017, ss. 131-138.
- Fonda C, 2013. "A Practical Guide to Your First 3D Print in Canessa E, Fonda C, Zennaro M", Low-Cost 3D Printing for Science, Education&Sustainable Development. ICTP–The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, p. 202.
- Gökalp E, Gökalp MO, Eren PE, 2018. "Industry 4.0 Revolution in Clothing and Apparel Factories: Apparel 4.0, Industry 4.0 from the MIS Perspective, pp.169–183, Bern Switzerland.
- Gökalp E, Gökalp MO, Eren PE, 2019. "Hazır Giyim ve Konfeksiyon Sektöründe Endüstri 4.0 Devrimi: Akıllı Konfeksiyon Fabrikası", Online Academic Journal of Information Technology V. 10, Sayı: 37 DOI: 10.5824/1309-1581.2019.2.005x.
- Grieco A, Caricato P, Gianfreda D, Pesce M, Rigon V, Tregnaghi L, Adriano Voglino A, 2017. "An Industry 4.0 Case Study in Fashion Manufacturing", Procedia Manufacturing 11 (2017), pp. 871–877.
- Gündüz MZ, Daş R, 2018. "Nesnelerin İnterneti: Gelişimi", Bileşenleri ve Uygulama Alanları, Pamukkale Üniversitesi. Mühendisliği Bilim Dergisi, 24 (2), ss. 327-335.
- Hermann, M, Pentek T, Otto B, 2015. "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau Audi Stiftungslehrstuhl Supply Net Order Management, Working Paper, No:01, www.snom.mb.tu-dortmund.de
- İlhan İ, 2019. "Tekstil Üretim Süreçleri Açısından Endüstri 4.0 Kavramı", Pamukkale Üniversitesi Müh Bilim Dergisi, 25(7), ss. 810-823.
- Jayatilake H, Suren P, 2016. A Roadmap to Achieve Apparel 4.0; The Apparel Industry Perspective of Industry 4.0, <https://ssrn.com/abstract=3440149> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3440149>
- Kabukcu E, 2018. "The Reflections of Industry 4.0 on the Textile&Fashion Business Processes", Recent Researches on Social Sciences, Kraków, ss. 191-198.
- Kagermann H, W. Wahlster and J. Helbig, eds., 2013. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group.
- Kılıç A, 2011. "Antropometrik Ölçüm Sisteminden Yararlanarak Kadınlara Yönelik Yeni Bir Etek ve Pantolon Giysi Kalıbı Hazırlama Yönteminin Geliştirilmesi", Danışman: Prof.Dr. Ziyet Öndoğan, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), İzmir.
- Kılıç HÖ, 2017. "Giyilebilir Teknoloji Ürünleri Pazarı ve Kullanım Alanları", Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9 (4), 99-112.
- Kılıç S, Alkan R, 2018." Dördüncü Sanayi Devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye Değerlendirmeleri", Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, 2 (3) , ss. 29-49. DOI: 10.31006/gipad.417536.
- Kuhn R, Minuzzi RFB, 2015. "The 3D Printing's Panorama in Fashion Design", Moda Documenta: Museu, Memória e Design, V.1, ISSN: 2358-5269.
- Kurtoğlu Necef Ö, Şen Kılıç A, Tama D, **Öndoğan Z**, 2017. "3 Boyutlu Yazıcıların Moda ve Hazır Giyim Sanayinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma", 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017), ss. 2191-2194, Adana.
- Majeed A, Rupasinghe T D, 2017. "Internet of Things (IoT) Embedded Future Supply Chains for Industry 4.0: An Assessment from an ERP-based Fashion Apparel and Footwear Industry", International Journal of Supply Chain Management, Vol. 6, No. 1, pp. 2051-3771.
- Ovacı C, 2017. Endüstri 4.0 Çağında Açık İnovasyon, Maliye Finans Yazıları, Special issue, pp. 112-131, p. 19.
- Özkan M, Al A, Yavuz S, 2018. "Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye", Marmara Üniversitesi Siyasal Bilimler Dergisi – Marmara University Journal of Political Science, Cilt 6, Sayı 2, Eylül 2018, ISSN 2147-6934, ss. 126-156, DOI: 10.14782/ipsus.460135.
- Özsoylu AF, 2017. "Endüstri 4.0", Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:21. Sayı:1, ss.41-64.
- Sayar M, Yüksel H, 2018. "Endüstri 4.0 ve Türkiye Kamu Sektöründe Endüstri 4.0 Dönüşümü", Hukuk ve İktisat Araştırmaları Dergisi, 10(2), ss. 83-98.
- Valtas A, Sun D, 2016. "3D Printing for Garments Production: An Exploratory Study", Journal of Fashion Technology & Textile Engineering, 4:3.

- Wang B, HA Brookshire JE, 2018. "Exploration of Digital Competency Requirements with in the Fashion Supply Chain with an Anticipation of Industry 4.0", International Journal of Fashion Design, Technology and Education, Vol. 11, No. 3, 333-342
- Yalçınkaya B, Yılmaz, D, 2011. "Elektronik Tekstillere, Tekstil Endüstrisindeki Yeri ve Giyilebilir Tekstilde Kullanılan İletken Lifler", Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 5, No: 1, s:61-71.
- Yetmen G, 2017. "Giyilebilir Teknoloji", Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi,5 (1), 275-289.
- Yıldıran M, 2016. "Moda Giyim Sektöründe Üç Boyutlu Yazıcılarla Tasarım ve Üretim", Süleyman Demirel Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Hakemli Dergisi ART-E Mayıs-Haziran'16 Sayı:17
- Yıldız B, Ağdeniz Ş, 2019. "Denetim 4.0'ın Teknolojik Altyapısı, Muhasebe ve Denetime Bakış Dergisi, (58), ss. 83-102.
- Yoşumaz İ, Özkara B, 2019. "Endüstri 4.0 Sürecinin Hazır Giyim İşletmeleri Üzerindeki Etkileri: Hugo Boss Türkiye Örneği", İşletme Araştırmaları Dergisi, 11 (4), ss. 2587-2600.
- <https://cutecircuit.com/biography/> (Erişim Tarihi: Nisan, 2020).
- <https://medium.com/@wiresglasses/is-the-future-of-fashion-3d-printed-732b6ee587f4> (Erişim Tarihi: Mart, 2020).
- <https://www.cgsinc.com/blog/what-industry-4.0-means-apparel-fashion-and-footwear-manufacturers> (Erişim Tarihi: Mayıs, 2020).
- <https://www.irisvanherpen.com/haute-couture/crystallization> (Erişim Tarihi: Nisan, 2020).