

Tekstil üretim süreçleri açısından endüstri 4.0 kavramı Concept of industry 4.0 in textile manufacturing processes

İlhami İLHAN^{1*} 

¹Tekstil Bölümü, Güzel Sanatlar Fakültesi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.

ilhan@mersin.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 27.02.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 17.05.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.69851

Derleme Makalesi/Review Article

Öz

Bu çalışmanın amacı; insan uygarlığının eriştiği bilimsel ve teknolojik birikimin bir sonucu olarak gündeme gelen ve son zamanlarda sıklıkla tartışılmaya başlanan Endüstri 4.0 (4. Sanayi Devrimi) kavramını irdelemek ve tekstil üretim süreçlerine yapacağı olası etkileri tartışarak farkındalık yaratmaktır. Bunun için ilk olarak Endüstri 4.0 kavramının tarihsel gelişimi, bileşenleri ve temel özellikleri üzerinde durulmuş, insan yaşamına ve üretim süreçlerine yapması beklenen etkiler değerlendirilmiştir. Ardından, tekstil üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 açısından mevcut durum ortaya konulmuş, tekstil endüstrisinde gözlenen geleceğe dönük eğilimler tartışılmıştır. Sonuç olarak; Endüstri 4.0 kavramının, tüm diğer endüstri dallarında olduğu gibi tekstil sektöründe de tüm paydaşlarca dikkatle takip edilmesi, anlaşılması ve uyum çalışmalarına bir an önce başlanması gereken bir olgu olduğu kanısına varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tekstil endüstrisi, Üretim süreci, Otomasyon, Endüstri 4.0

Abstract

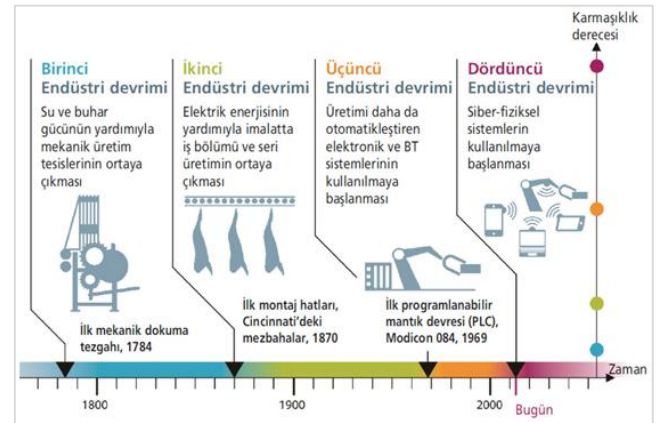
The purpose of this study is to examine the concept of Industry 4.0 (4th Industrial Revolution), which is a result of the scientific and technological accumulation of human civilization and which has been frequently discussed in recent years, and to raise awareness by discussing possible effects on the textile production processes. First of all, the historical development, components and basic characteristics of the Industry 4.0 concept are discussed and the expected effects on human life and production processes are evaluated. Then, the current situation in textile production processes is presented in terms of Industry 4.0, and the observed trends in the textile industry are discussed. As a result; it has come to the conclusion that the concept of Industry 4.0 is a fact that all stakeholders must be carefully followed, understood and immediately harmonized in the textile sector as it is in all the other industries.

Keywords: Textile industry, Manufacturing process, Automation, Industry 4.0

1 Giriş

Dünya üzerinde yaklaşık 2 milyon yıldır var olan insanoğlunun teknoloji geçmişi, avcılık toplayıcılık yaptığı Yontma Taş Çağı'na kadar uzanmaktadır. Bu tarihi süreçte tekstil, en eski teknolojiler arasında yer almıştır. Endüstrinin, ortaya çıkışından günümüze kadar Şekil 1'de sunulan evrelerden geçtiği genel kabul görmektedir. 18. yy'ın başlarında ortaya çıkan 1. Sanayi Devrimine kadar her türlü üretim aile tipi el tezgâhlarında yapılmaktaydı. Yaklaşık 150 yıl süren bu devrim, İngiltere'de dokuma tezgâhlarının mekanikleşmesi ile başlamış, su gücünün yerini buhar gücünün alması sonucu üretimin atölyeler yerine fabrikalarda yapılmaya başlanmasına neden olmuştur. Böylece, üretimde olağanüstü artışlar gerçekleşmiş, maliyetler azalmış, kalite iyileşmiş ve toplumda ikili sınıfsal yapı ortaya çıkmıştır. Başlayan "endüstrileşme" süreci ile birlikte, bilim ve teknolojinin gelişme hızı geometrik olarak artmaya başlamıştır. Ekonomik büyüme olanaklı hale gelmiş, ekonomik ilişkiler açısından tam anlamıyla geçmişten kopuş gerçekleşmiş ve dünya "daha küçük ve bütünleşik" bir yer haline gelme yoluna girmiştir [1]-[3]. 2. Sanayi Devrimi, 20. yüzyılın başlarında temel hammadde ve enerji kaynakları olarak; buhar, kömür, demir ile birlikte çelik, petrol, elektrik ve kimyasal maddelerin üretimde kullanılmaya başlaması sonucu gerçekleşmiştir. Bu dönemde; üretim, taşımacılık, ticaret ve iletişim hızı artmış, seri üretim başlamış, kentler büyümüş, siyasal ve ekonomik bakımdan güçlü merkezî devletler kurulmuş ve endüstrileşme dünyanın daha geniş bir alanına yayılmıştır [3]. 3. Sanayi Devrimi ise 1970'lerden günümüze kadar olan dönemi kapsar. İkinci Dünya Savaşı sonrası, elektronik, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmenin

sonucu olan "üretimde otomasyon" ile temsil edilmektedir. Bu süreçte; bilgisayar, mikro-elektronik, fiber-optik, lazer ve benzeri teknolojilerin, uzak iletişim (telecommunication), nükleer, biyo-tarım, biyo-genetik ve benzeri bilim dallarının gelişmesi üretim prosesleri üzerinde etkili olmuştur.



Şekil 1: Sanayinin gelişim evreleri [4].

İletişim ve ulaşımdaki gelişmelerle, ticaret ve endüstri küreselleşmiş, dünya kaynaklarının hızla tükenmesi ve küresel ısınmanın etkileri nedeniyle ekoloji ve sürdürülebilirlik kavramları gündeme gelmiştir. Yenilenemez enerji kaynaklarındaki sorunlar, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi ve bu alanda ar-ge çalışmalarını yoğunlaştırmayı sağlamıştır. Teknolojideki ilerlemeler yaşamı giderek hızlandırırken, işletmelerin de aynı oranda hızlanmaları ve müşterilerin taleplerine daha hızlı yanıt vermeleri zorunlu hale

gelmiştir. Küreselleşmenin de etkisiyle bütün işletmelerin aynı zorunluluklarla karşı karşıya kalması rekabeti giderek yükselmiştir [3]. Sözü edilen gelişmeler sonucu günümüzde erişilen teknolojik olanaklar ve sosyo-ekonomik olguların endüstriyi getirdiği yeni aşama Endüstri 4.0 (4. Sanayi Devrimi) olarak adlandırılmaktadır. Endüstri 4.0'ın etkilerinin gelecekteki endüstri yapısını, dolayısı ile sosyal ve ekonomik yapıyı şekillendireceği yaygın olarak dillendirilmeye başlanmıştır.

2 Endüstri 4.0

2.1 Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışı

Endüstri 4.0 kavramı, ilk kez 2011 yılında iş, politika ve akademi temsilcileri (H. Kagermann, W.D. Lukas ve W. Wahlster) tarafından Almanya'nın üretimdeki rekabet gücünü arttırmak amacıyla öne sürülmüş ve ardından Hannover Fuarında tanıtılmıştır. Almanya Federal Hükümeti, Endüstri 4.0'ı Almanya'nın İleri Teknoloji Stratejisi 2020'nin (High-Tech Strategy 2020 for Germany) anahtar bileşeni olarak duyurmuştur. Bu belgede, Almanya'nın Endüstri 4.0 teknolojilerini sadece geliştirmeyi ve kullanmayı değil, dünyaya pazarlamayı da hedeflediği açıkça belirtilmiştir. Oluşturulan Endüstri 4.0 Çalışma Grubu, uygulamaya ilişkin ilk önerilerini Nisan 2013'te sunmuşlardır. Bu raporda, Almanya'nın güçlü makine ve tesis kurulum sektörüne, dünyada önde gelen IT (Information Technology) yeterlilik seviyesine, gömülü sistemler ve otomasyon mühendisliğindeki bilgi birikimine sahip olmasının, onu imalat mühendisliği sektöründeki lider konumunu geliştirmesi için ve Endüstri 4.0 türü bir sanayileşme potansiyelini kullanma konusunda benzersiz bir konuma getirdiği vurgulanmaktadır [2],[3],[5],[6]-[9].

2.2 Endüstri 4.0 kavramının dayanakları

Endüstrileşme, 1. Sanayi Devriminden itibaren özellikle Batı Avrupa ve ABD'de gelişmiştir. Bu ülkeler gelirlerini artırarak üretim merkezi haline gelirken hammaddeyi gelişmemiş ülkelere sağlıyorlardı. Zamanla yükselen maliyetler ve küreselleşme nedeniyle yatırımlarını işgücü maliyetlerinin düşük olduğu bölgelere (Çin, Güneydoğu Asya vb.) taşıdılar. Ancak son yıllarda gelişmiş ülkeler, hızlı bir şekilde üretimdeki rekabet üstünlüklerini Çin, Hindistan ve Brezilya gibi ekonomisi gelişen ülkelere kaptırmaya başladılar. Günümüzde ucuz işgücü olarak görülen Doğu'daki üretim maliyetleri Batı'daki üretim maliyetlerine yaklaşmıştır. Böylece endüstrileşmiş Batı ülkelerinin yatırımcıları evlerine geri dönmeye başladılar. Bunun bir nedeni de, Uzakdoğu ülkelerinin teknoloji yarışında gelişmiş Batı ülkeleri ile rekabet edebilir duruma gelmesi olmuştur [3],[10]. ABD, Almanya ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerin büyüme oranları dünya ortalamasının altına inmiş, kalitenin yerleştiği ve yenileşim (inovasyon) anlayışının yaygınlaştığı bir dönemde maliyetler yeniden önem kazanmıştır. Bu nedenle Endüstri 4.0 kavramının, Almanya gibi yüksek refah seviyesine ve teknoloji üstünlüğüne sahip bir ülkenin içinde bulunduğu ekonomik duruma çözüm arayışının bir sonucu olduğu savı ileri sürülebilir [10],[11]. AB ülkeleri 10 yıl kadar önce Avrupa Teknoloji Platformu'nun öngörülerini doğrultusunda, ar-ge, yenileşim, akademik ve uygulamalı eğitime odaklanmıştır. Sonunda, tekstil dışsatımı artmış ve dışarıya gitmiş olan işletmeler geri dönmeye başlamışlardır. Ardından üretim süreçlerinde sayısallaşma, sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği gelmiş, yeni iş ve tüketim modelleri ortaya çıkmıştır [12]. Endüstri 4.0'ın gündeme gelmesinde, yongaların hesaplama gücündeki üssel artış ile internetin sağladığı küresel

ağ kapasitesinin genişlemesi sonucu yaşanan teknoloji patlamasının da büyük etkisi vardır [13]. Endüstri 4.0'ın tüm dünya ülkelerini etkilemesi kaçınılmaz görünmektedir. Nitekim, Finlandiya'da TEKES'in "nesnelerin interneti" girişimi, Çin'in Akıllı Fabrika 1.0 projesi, Avrupa Birliği'nde Geleceğin Fabrikaları Girişimi gibi örnekler, nüfus büyüklüğü, idari organizasyon yapısı ve imalat potansiyeli farklılıkları nedeniyle ülkelerin Endüstri 4.0'ı kendilerine özgü biçimde uyarlamaya çalıştıkları anlaşılmaktadır. Bu bağlamda Endüstri 4.0'ın kopyalanmaya çalışılan ve uyarlanabilir modüler bir girişim olduğu ifade edilmektedir [14]. Dolayısıyla dünyadaki gelişmelerin takip edilmesi, bu kavramın Türkiye'nin özgün koşulları açısından tartışılması, bir stratejik plan belirlenerek ivedilikle eyleme geçilmesi zorunlu görünmektedir.

2.3 Endüstri 4.0'dan beklenenler

Endüstri 4.0 yaklaşımından beklenen başlıca faydalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Üretimde işgücünün teknoloji ile ikame edilmesi ve hataların en aza indirilmesi,
2. Üretimin en üst düzeyde esnekliğe kavuşturulması ve bu yolla daha küçük partiler halinde müşteriye özel ürün tasarımı ve üretiminin kolaylaşması,
3. Üretimde kolaylık ve hızlanma,
4. Karar ve karar destek süreçlerinde iyileşme.

Bunun yanında verimlilik ve ekonomik büyümede artış, daha fazla yatırım, rekabet avantajı ve istihdam yapısında değişim, verimlilik artışının etkisiyle işletme kârlılığı ve yatırımlarda artış beklenmektedir. Esnekliğin artması, alt kategoriler ve yeni iş modellerinin oluşmasını, rekabet üstünlüğü ve ekonomik büyümede sürdürülebilirlik sağlayacaktır. Sanayi kuruluşları için teknoloji yönetimi önem kazanacak planlama daha dinamik bir yapıya bürünecektir. Tasarım, yenileşim, ar-ge, ür-ge, teknoloji geliştirme ve/veya uyarlama, işletmeleri uzun vadede kalıcı, sürdürülebilir ve kârlı yapacak faaliyetler arasında olacaktır. İstihdamın başlangıçta azalacağı ancak uzun vadede artacağı belirtilmektedir. Endüstri 4.0 süreci niteliksiz işgücü istihdamını zorlaştırırken, nitelikli ve iyi eğitilmiş işgücüne olan talebi arttıracaktır. Bu bağlamda, eğitimin önemi artacak ve üniversiteler eğitim programlarını yeni gereksinimlere göre güncellemek zorunda kalacaklardır. Özellikle fen bilimleri alanında disiplinlerarası yaklaşımın benimsenmesi, yeni eğitim programları oluşturulması, mesleki ve teknik eğitime önem verilerek kalitesinin artırılması, sürecin yeni iş alanları ve meslekler ortaya çıkarması kaçınılmaz görünmektedir. Gelecekte önem kazanacak teknolojiler arasında; bilişim, iletişim, robotik, otomasyon, yapay zekâ, yazılım, yenilenebilir enerji ve enerji depolama, ileri malzemeler, tıp ve genetik temalı teknolojiler, taşıt teknolojileri, veri işleme ve analizi sayılabilir.

Endüstri 4.0 için en büyük görev devlete düşmektedir. Almanya ve Çin örneklerinde görüldüğü gibi böylesine büyük dönüşümlerin devlet desteğiyle gerçekleştirilmesi şarttır. Devletin koordinasyonu ve desteği ile üniversite, sanayi, sivil toplum örgütleri ve düşünce kuruluşları arasında "işbirliği" sağlanması Endüstri 4.0 stratejilerinin ve süreçlerinin gelişimini hızlandırmaktadır. Doğası gereği öngörülen sürecin "işbirliği" olmadan başarılı olması mümkün görünmemektedir [3],[5],[9],[15].

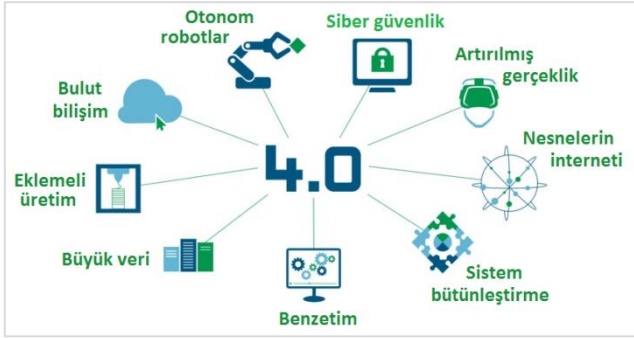
2.4 Endüstri 4.0'ın bileşenleri

Endüstri 4.0, Almanya'da Industrie 4.0, ABD'de Endüstriyel İnternet (Industrial Internet) ve Çin'de İnternet+ olarak

anılmaktadır [11]. Bu kavram, sanayi üretiminde yer alan tüm birimler arasında iletişimin sağlanması, tüm verilere gerçek zamanlı olarak erişilebilmesi, bunun sonucunda en ideal katma değer elde edilmesine esasına dayanmaktadır [3]. Teorik olarak Endüstri 4.0'ın gerçekleşmesi aşağıdaki üç noktada olacak gelişmelere dayanmaktadır.

- 1 Üretimin sayısallaşması (yönetim ve üretim planlama için enformasyon sistemleri),
- 2 Otomasyon (üretim hatlarından ve kullanılan makinelerden veri toplama sistemleri),
- 3 Tüm tedarik zincirindeki üretim birimlerinin birbirine bağlanması (otomatik veri alışverişi) [15].

Sürecin sonunda, kendini yönetebilen üretim birimlerinin oluşturduğu akıllı fabrikaların hayata geçirilmesi hedeflenmektedir. Şimdiden dünyada ve ülkemizde akıllı fabrika kurma veya mevcut fabrikaları akıllı fabrika kavramına uygun hale dönüştürme yönünde çalışmalara başlanmış olup ilk örnek (prototip) uygulamalar görülmeye başlanmıştır. Endüstri 4.0'ın bileşenlerini oluşturan başlıca teknolojiler Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2: Endüstri 4.0'ı oluşturan teknolojiler [16].

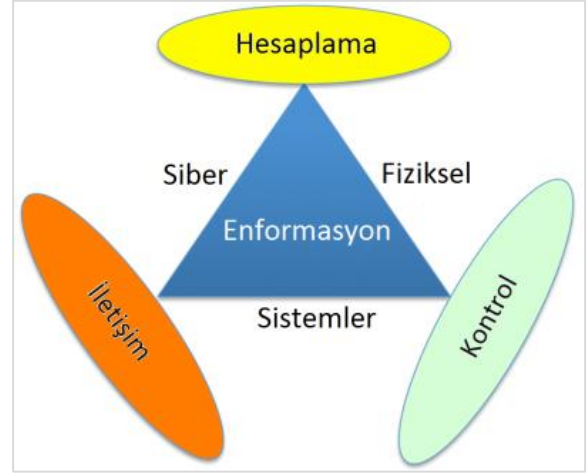
2.4.1 Nesnelerin interneti (Nİ)

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT); nesnelerin ve/veya aygıtların birbirlerine fiziksel olarak, sanal ağa (internet) ise işlevsel olarak bağlanması, fiziksel ve sosyal anlamda çevreleriyle iletişim halinde olmalarıdır [3],[9]. Bu terim ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından "duyargalar yardımıyla fiziksel nesnelerin internet ile bağlantı kurması" anlamında kullanılmıştır [17]. Bu kapsamda; insanlar, makineler, doğal kaynaklar, üretim hatları, lojistik ağları, tüketim süreçleri, geri dönüşüm süreçleri, ekonomik ve sosyal yaşamın her noktası duyargalar (sensörler) ve yazılımlar aracılığıyla Nİ platformuna bağlanması öngörülmektedir. Bu yolla elde edilen Büyük Veri (Big Data) gelişkin analiz araçları ile işlenebilmekte, akıllı algoritmalara dönüştürülebilmekte ve otomasyon sistemlerine aktarılabilir. Böylece verimlilik ve üretkenliğin ciddi şekilde artırılması ve ekonomik açıdan tüm mal ve hizmetlerin üretim ve sunumunda sıfıra yakın marjinal maliyet (üretim miktarındaki bir birimlik artış için katlanılması gereken ilave maliyet) seviyesine ulaşılması beklenmektedir [18].

2.4.2 Siber-fiziksel sistemler (SFS)

Siber Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical Systems, CPS), çeşitli uygulama alanlarındaki fiziksel sistemlerde, kararlılık, performans, güvenilirlik, dayanıklılık ve verimlilik elde etmek üzere yeni nesil mühendislik sistemlerinin gerektirdiği hesaplama, iletişim ve kontrol teknolojilerinin sıkı bir şekilde entegre edilmesi olarak tanımlanabilir. İlk SFS örneği sayılan

otomatik uçaksavarların II. Dünya savaşı sırasında geliştirilmesi için mekanik, elektrik, elektronik ve iletişim teknolojilerinin sıkı şekilde bütünleştirilmesi gerekmiştir. Son zamanlarda gelişen enformasyon teknolojileri ile bireysel, sosyal, endüstriyel ve ekonomik faaliyetler her açıdan SFS'e bağımlı hale gelmiştir [19]. SFS'in bütünlük yapısı Şekil 3'te şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 3: Siber Fiziksel Sistemlerin bütünlük yapısı [20].

SFS; duyargalar, makineler, cihazlar, montaj alt sistemleri ve parçalar gibi etkileşebilen unsurlar içeren, bunların tümünün birbiriyle sayısal (digital) iletişim ağları üzerinden bağlantılı olduğu bir topluluk olarak düşünülebilir. SFS uygulamalarına; üretim aşamalarında kaynak yetersizliği oluşması durumunda gerekli kaynak siparişinin otomatik olarak verilmesi, oluşan arızanın zamanında ve yerinde saptanarak giderilmesi, ar-ge, tasarım ve pazarlama sürecinde ise bir fabrikanın fiziksel olarak kurulumundan önce bütün fizibilite çalışmalarının sanal olarak benzetim üzerinden yapılması örnek verilebilir [3],[11],[21].

2.4.3 Büyük veri (dev veri)

Büyük Veri (Big Data), internet sunucularının kayıtları, internet istatistikleri, sosyal medya içerikleri, bloglar, ortam algılayıcıları ve benzeri aygıtlardan, GSM operatörlerinden elde edilen enformasyon gibi büyük hacimli verilerden oluşmaktadır. Karmaşık bir yığın halindeki Büyük Veri, analiz yöntemleri ile yorumlanırsa işletmelerin stratejik kararlarını doğru biçimde almalarına, risklerini daha iyi yönetmelerine, işlerinde ve ürünlerinde yenileşim yapmalarına olanak sağlamaktadır. Böylece, büyük veri yığınlarının analizi için "analitikler" olarak adlandırılan iş yapma biçimleri, yeni yöntem ve teknik araçlar gündeme gelmiştir. Büyük Veri ve Analitikler sayesinde, oluşabilecek hataların öngörülüp önlem alınması, fırsatların erken fark edilerek hızla eyleme geçilmesi, hizmet ve bakım süreçlerinin kolaylaştırılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olmaktadır. Müşterilerin beklentileri, pazar hareketleri gibi konularda analiz yapmak ve öngörü elde etmek kolaylaşmakta, karar alma süreçleri ve değer zincirlerinde iyileştirme yapılabilmektedir [3],[11],[22].

2.4.4 Otonom robotlar

Otomasyonun bir bileşeni olan robotlar/robotik teknolojiler, insan kaynaklı hataları en aza indirmek amacıyla kullanılmaktadır. Otonom Robotlar (Autonomous Robots) ise otomatik iş yapma özelliği olan robotlardan çok, belli düzeyde zekâya sahip robotik sistemler olup Endüstri 4.0'ın

kritik özelliklerinden biri olan “esnek üretim sistemleri” için anahtar teknolojiyi oluşturmaktadır [23]. Akıllı Fabrikaların gerçekleşmesinde robot teknolojilerine önemli işlevler biçilmektedir. İşleyen bir akıllı fabrika için; çalışan robotların birbirlerini tanıyarak iş bölümü yapmaları, haberleşmeleri, analizler yapmaları, değişikliklere hızla uyum sağlayarak üretimi yönetir hale gelmeleri beklenmektedir. Örneğin; boyamadan sorumlu bir robotun belleğindeki yazılımı kendi kendine güncellemek suretiyle gereksinim hissedilen başka bir noktada hizmet verebileceği, hem de bunu insandan talimat almaksızın, tamamen kendine ait gözlemler, analizler ve öngörülere dayanarak yapacağı belirtilmektedir [3]. Bunun gerçekleşmesi yapay zekâ alanındaki ilerlemelerle mümkün olacaktır.

2.4.5 Sistemlerin bütünleşmesi

Sistemlerin bütünleşmesi (System Integration), birden fazla sistemin bir araya getirilerek tek bir sistem halinde bütünleşik olarak çalışmaları, başka bir deyişle, sistemlerin, makinelerin, tesislerin ve sınav nesnelerinin endüstriyel internet üzerinden birbirlerine bağlanması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda bütünleşme; yatay, dikey ve uçtan-uca sayısal bütünleşme (digital integration) olarak üç şekilde olmaktadır.

Yatay bütünleşme; fabrikanın kendi dışında yer alan ekosistem, yardımcı yan sanayi ve tedarikçilerle Endüstriyel İnternet üzerinden benzer ya da eş düzeyli etkileşimini sağlayan bütünleşmedir. Değer ağları (tedarik zincirleri) üzerinden işletmeler arası işbirliğini sağlar ve yeni iş modellerinin geliştirilmesine olanak yaratır. Bu bütünleşme, hammadde temini, tasarım, üretim, pazarlama, sevk gibi tüm işlem basamaklarını kapsamaktadır.

Dikey bütünleşme; bir işletme içindeki farklı alt sistemlerin esnek ve yeniden düzenlenebilir üretim sistemini oluşturmak üzere birbirleri ile ilişkilendirilmesidir. Fabrika sistemi içinde, üretim alanında bulunan duyarğa, eyleyici (actuator), vana, motor, kumanda paneli gibi donanımlar, üretim yönetimi sistem ve yazılımları, işletme kaynak planlama yazılımları, iş zekâsı ve karar destek sistemleri gibi tüm sistem, bilgisayar, makina, iş terminali, cihaz ve araçların birbiri ile ilişkilendirilerek haberleştirilmesini kapsamaktadır.

Uçtan-uca sayısal bütünleşme; işletmede ürün özelleştirmeye (isteğe uygun düzenlemeye) destek vermek üzere tüm değer zinciri boyunca mühendislik sistemlerinin uçtan uca bütünleştirilmesidir. Uçtan uca bütünleşme hem işletme içinde kalan hem de dışında olan farklı aşamaları birbirine bağlamayı hedefler. Dikey ve yatay bütünleşme uçtan-uca mühendislik süreçleri bütünleşmesini gerçekleştirmek için iki zorunlu zemini oluşturmaktadır [3],[11],[22].

2.4.6 Sanal gerçeklik

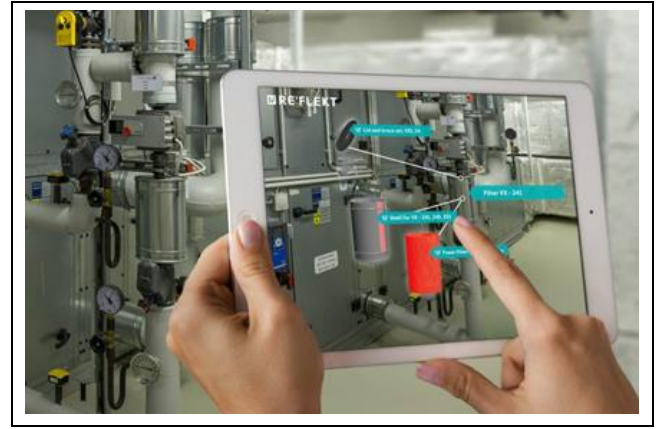
Sanal Gerçeklik (Virtual Reality) ya da benzetim (simülasyon) teknik anlamda gerçek bir dünya süreci veya sisteminin işletilmesinin zaman üzerinden taklit edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda benzetim, sistem nesneleri arasında tanımlanmış ilişkileri içeren sistem veya süreçlerin bilgisayar ortamındaki bir modelidir [11],[22]. Endüstriyel üretimde; planlama, tasarım, üretim, servis, bakım, test ve kalite kontrol gibi her noktada sanal gerçeklikten yararlanılabilmektedir. Sanal Gerçekliğin, Endüstri 4.0'ın temel özelliklerinden birisi olduğu söylenebilir. Örneğin; sanal gerçeklik sayesinde, kurulacak bir fabrikanın verimli çalışıp çalışmayacağını öngörmek için sözkonusu fabrikanın fiziksel olarak kurulmasına gerek kalmadan, sanal ortamda kurularak

çalıştırılması ve analizler yapılması mümkün olmaktadır. Bunun yanında tüm üretim süreçlerinin ya da makinelerin ayrıntılarıyla incelenmesi mümkün olabilmektedir. Örneğin; makinelerin servis ve bakımından sorumlu olan personel, sanal ortamda uygulamalı eğitim alabilmekte, makinelerin ulaşılamayan parçalarını dahi gözlemleyebilmekte ve hata olasılıklarını öngörebilmektedir [3].

2.4.7 Artırılmış gerçeklik

Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality), gerçek dünyadaki çevrenin ve içindekilerin bilgisayar tarafından üretilen ses, görüntü, grafik ve GPS verileriyle zenginleştirilerek meydana getirilen canlı, doğrudan veya dolaylı fiziksel görünümüdür. Sanal Gerçeklik uygulamasında oluşturulan dünya tümüyle sanal iken Artırılmış Gerçeklik uygulamasında gerçek ile sanal olan birlikte, iç içe yer almaktadır [11]. Bu sistemler günümüzde emekleme aşamasında olsa da gelecekte şirketler karar verme ve iş prosedürlerini geliştirmek için artırılmış gerçekliği daha yoğun bir şekilde kullanacaklardır. Sanal dünyada, operatörler bir butona tıklayarak makineleri ile etkileşime girebilecek, gerekli parametreleri değiştirebilecek ve operasyonel verileri ve/veya bakım talimatları almaları mümkün olacaktır.

Artırılmış gerçeklik uygulamalarına örnek olarak; montaj veya bakım yapacak bir tamircinin kullanma kılavuzunu incelemesi için bir sistemin parçalarını görüntülü olarak izleyebilmesi, müşterilerin bir ürünün ambalajını daha açmadan içinde ne olduğunu ön izleme ile görebilmesi verilebilir [25]. Şekil 4'te artırılmış gerçeklik uygulamasına ilişkin bir görsel sunulmuştur.

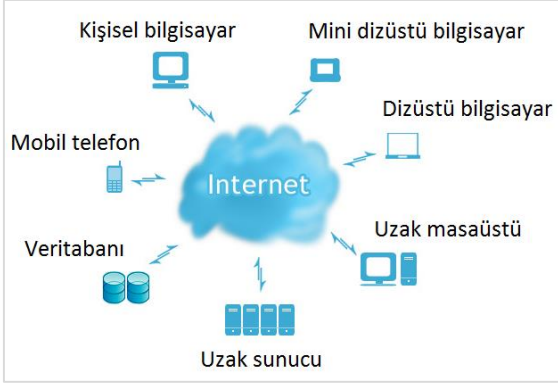


Şekil 4: Bir sistemin artırılmış gerçeklik yöntemiyle incelenmesi [24].

2.4.8 Bulut bilişim sistemi

Bulut Bilişim Sistemi (Cloud Computing System); bilişim aygıtları arasında mekândan bağımsız olarak ortak bilgi paylaşımını sağlayan hizmetlerin genel adıdır. Sahip olunan tüm uygulama, program ve verilerin sanal bir sunucuda yani “bulutta” depolanması ve internete bağlı olunan herhangi bir ortamda cihazlar aracılığıyla bu bilgilere, verilere, programlara kolayca ulaşılmasını sağlayan hizmetler bütünü olarak da tanımlanabilir. Bulut Bilişim kullanıcıları, işletme içinde kullandıkları yazılımları ve verileri sabit bilgisayarlar ya da bellek depolarında tutmak yerine, servis sağlayıcıları sayesinde bulut sistemde tutarak, sanal ağ yoluyla istedikleri an erişime olanağı vermektedir. Bu yolla, veri yönetimi daha esnek, hızlı ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilmektedir [3],[22].

Şekil 5'te bulut bilişim sisteminin yapısını açıklayan bir şema verilmiştir.



Şekil 5: Bulut bilişim sisteminin yapısı [26].

2.4.9 Eklemeli üretim

Eklemeli üretim (Additive Manufacturing) veya katmanlı üretim, bilgisayar ortamında hazırlanan 3 boyutlu bir model tasarımını gerçek nesnelere dönüştürme süreci olarak tanımlanabilir. Şirketler, parçaların ilk örneğini oluşturmak ve üretmek için 3B baskı gibi eklemeli üretim tekniklerini yeni yeni benimsemeye başlamışlardır. Bu yöntemlerin, ilerleyen dönemde, özellikle karmaşık ve hafif tasarımlarda, özel ürünleri az sayıda üretmek amacıyla daha yaygın kullanılmaya başlanması beklenmektedir. Eklemeli Üretimin birçok farklı yöntemi (7 adet) olsa da en çok bilineni 3B yazıcılarıdır. Kullanılan malzemeler ise şimdilik metal, polimer ve seramik seçenekler ile sınırlıdır. Eklemeli üretimde, zamandan ve kaynaktan (malzeme, enerji, işgücü) tasarruf sağlama, lojistik maliyetlerini ve stok seviyelerini azaltma, kişiye özel üretim yapabilme, malzeme verimliliği, çevreye duyarlılık ve rekabet edebilirliğe katkı açısından avantajlara sahiptir. Bu yöntemlerle, karmaşık parçalar montaja ve depolamaya gerek duymadan üretilebilmektedir. Eklemeli üretim teknolojisinin; tehlikeli ürünlerin ve ilaçların kontrolsüz üretimi, güvenlik ve standardizasyon sorunları, üretilen ürünlerin kalite ve sağlamlık düzeyleri, bunlardan kaynaklı hukuksal sorunlar, patent ve telif hakları ihlali sorunları gibi sorunları da gündeme getirmesi beklenmektedir. Bunun yanında, eklemeli üretim makineleri ve teknolojisi, üretimi mümkün olan parça tipi ve boyutları, işlenebilen malzeme cinsi açısından henüz kısıtlıdır ve geliştirilmeye gereksinimi vardır.

Dikkati çeken diğer bir nokta, yapılan son araştırmalar ile kullanılan hammaddeye göre değişen oranlarda, 3B baskı makinelerinin bir dakikada 20-200 milyar adet civarında aşırı-ince parçacığı (Ultrafine particles, UFPs) çalışma ortamına salabildiğinin gösterilmiş olmasıdır. Çalışmalar genellikle PLA ve ABS maddeleri için gerçekleştirilmiştir. Bu durum insan sağlığı için tehlike oluşturmakta olup, ortamı havalandırma, filtreleme veya kapalı ortamda üretim yapma gibi uygun önlemler alınarak çalışılması gerekmektedir [5],[27]-[32].

2.4.10 Akıllı fabrikalar

Akıllı fabrikalar (Smart Factories); insan, makine, malzeme ve sistemler arasında sürekli iletişimin olduğu, çevreden veri toplayabilen ve yeni duruma adapte olabilen sistemlerin (SFS ve Nİ) insanlara ve makinelere görevlerini yerine getirirken yardım ettiği ve sürdürülebilir üretimin gerçekleştiği, kendi kendini yönetebilen fabrikalar olarak tanımlanabilir. Akıllı fabrikanın başarılabilmesi için yatay, dikey ve uçtan uca

bütünleşmenin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Akıllı fabrikaların kaliteyi yükseltirken maliyeti azaltması, müşteri teslimatı hızlandırması ve müşteri tatminini iyileştirme öngörülmektedir. Rekabet edebilirlik için temel iki unsurdan biri olan "düşük maliyeti" akıllı fabrikanın sağlayacağı düşünülürken, diğer unsur olan "farklılık yaratmanın" ancak yenileşim sayesinde başarılacağı ifade edilmektedir. Dolayısıyla yapay sistemlerin, yaratıcılık içerecek düzeyde, insanın yerini alması en azından kısa ve orta vadede mümkün gözükmediğinden üretim sistemlerinde insana olan gereksinimin süreceği ancak nitelik ve nicelik değiştireceği açıktır [11],[33],[34].

2.5 Endüstri 4.0'ın uygulanma sürecine ilişkin değerlendirme

Finlandiya ve Çin'de devlet desteğiyle, ABD'de kâr amacı gütmeyen kuruluşların katkısıyla şekillenen Endüstri 4.0 için Almanya'da hükümetin de desteğiyle özel sektör ciddi çaba harcamaktadır. Alman hükümeti 2020 yılına kadar Endüstri 4.0 projelerine her yıl 40 milyar Euro yatırım sözü verirken özel sektörden 235 firma gelecek 5 yılda yıllık cirolarının %3,3'ünü Endüstri 4.0 odaklı projelere ayıracıklarını belirtmişlerdir [3]. Bu durum Endüstri 4.0 yaklaşımı için devlet desteğinin önemine işaret etmektedir.

2.5.1 Gelişmişlik farkının endüstri 4.0'a etkisi

Ülkeler ve firmalar için ekonomik ve endüstriyel büyüme getirmesi beklenen Endüstri 4.0, büyük yatırımlar, özveri, emek ve teknolojik gelişim gerektirmektedir. Dolayısıyla, Endüstri 4.0 sürecinin gelişmişlik, teknoloji ve eğitim açısından gelişmiş ülkeler ile diğer ülkeler arasındaki farkın açılmasına ve dünyada ekonomik dengenin daha da bozulmasına yol açması olası görünmektedir. Günümüzde, ihracatın ithalata dayalı olması ve katma değerli ürünlerin toplam üretim içindeki payının düşük olması gibi yapısal sorunları olan, 2. ile 3. Sanayi devrimi arasında bulunan Türkiye'nin bu konudaki öncü ülkelerden farklı ve özgün bir strateji belirlemesi, daha atak davranması gerekmektedir. Endüstri 4.0, maliyeti azaltırken yatırım ve nitelikli işgücü gereksiniminden kaynaklı ek maliyet yaratacak, bunların karşılığında ise daha fazla para kazandıracak ürünler üretme zorunluluğu ortaya çıkacaktır. Türkiye'nin Endüstri 4.0'a ayak uyduramaması durumunda dışsatım pazarlarını kaybedip, 3. Dünya ülkelerine satış yapabilir hale düşeceği, eğer yabancı ortaklıklarla devam etme yolunu izlerse yabancı şirketlerin üretim üssü olup, orta gelir eşliğinde kalacağı olası gelişmeler olarak vurgulanmaktadır [3],[5],[35].

2.5.2 Bilgi ve veri güvenliği sorunu

Endüstri 4.0 sürecinin temel bilgi ve veri iletimidir. Yüksek rekabet ortamında, verilerin güvenli bir şekilde (çalınma, değiştirilme vb. eylemlere karşı) iletiminin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Çağımızda siber saldırıların gündemde olduğu dikkate alınır, siber güvenlik sorununun Endüstri 4.0 yolunda aşılması gereken yaşamsal bir engel oluşturduğu söylenebilir [3],[5].

2.5.3 İstihdamda beklenen gelişmeler

İstihdamdaki temel dönüşümün tekrarlı ve rutin işlerin otomasyon yardımıyla yerine getirilmesi, işgücünün ise daha fazla nitelik ve beceri isteyen işlere kaydırılması şeklinde olacağı vurgulanmaktadır. Önceki deneyimler ışığında Endüstri 4.0 ile oluşacak ekonomik büyümenin yeni ve yenilikçi iş kollarının ortaya çıkmasına, yeni mesleklerin oluşmasına

(örneğin; robot ve makine tasarımı, bakımı, tamiri, verilerin işlenmesi, değerlendirmesi vb.), iş olanaklarının artmasına yol açacağı iddia edilmektedir. Endüstri 4.0'ın uzun vadede başta bilişim teknolojileri ve mekatronik alanlarında olmak üzere nitelikli iş gücü talebini ciddi düzeyde artıracığı ifade edilmektedir. Bu çerçevede bilgi birikiminden çok beceri, esneklik ve çabukluk öne çıkacaktır. İstihdamın niceliğinde olacak değişimin yanısıra çalışma saatlerinde de değişim beklenmelidir. Tüm bunlardan, eğitim seviyesi düşük ve endüstrisi öz kaynaklara dayanmayan ülkelerin, eğitim seviyesi yüksek ve endüstrisi öz kaynaklara dayanan ülkelere göre istihdam kaybı sorununu daha ağır bir şekilde yaşayacağı sonucu çıkarılabilir. Bu bağlamda, yüksek nitelikli istihdamın desteklenmesi ve vasıfsız işgücünde ortaya çıkabilecek istihdam kaybının sosyal politikalar ve yeni iş alanları oluşturulmak suretiyle engellenmesi önerilmektedir [3],[11],[14],[32].

2.5.4 Üretim sürecinde güvenlik

Endüstri 4.0 açısından güvenlik olgusu *bilgi güvenliği* ve *iş yeri güvenliği* olarak iki boyutta ele alınmaktadır. Bilgi güvenliği için siber güvenlik kapsamında iş yeri bilgilerinin ve fikri mülkiyet haklarının korunması konularında büyük veri ve bulut bilişim alanlarında güçlü bir altyapının sağlanması önerilmektedir. Akıllı fabrikalarda makine-makine ve makine-hammadde iletişimde yaşanabilecek aksaklıklar nedeniyle iş gücü ve iş yeri güvenliği konularında önlemlerin alınması önerilmektedir. İnsandan vazgeçilip yerine robotların ikame edilmesi durumunda kazanılan tüm faydayı geri götüren kaymaların yaşanabileceğine dikkat çekilmektedir. Bu sakınca ancak makinelerin insan kadar akıllanması durumunda ortadan kalkacaktır. Bunun için henüz oldukça uzun bir zamana gereksinim olduğu söylenebilir. Robotlar genellikle beklenen durumlar için programlandığından, beklenmeyen durumlarda karar verecek insanlara (nitelikli işgücü) akıllı fabrikaların kilit noktalarında hâlâ gereksinim olacaktır. Aksi halde, üretim sürecinde giderilmeyen bir hata, fark edilinceye kadar büyük miktarda hatalı üretime yol açabilecektir [14],[35].

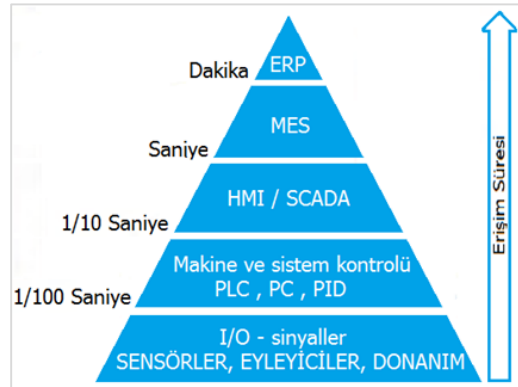
3 Tekstil üretiminde endüstri 4.0

Tekstil üretim süreci, insanın yapısı ve temel gereksinimleri ile birlikte bireysel veya sosyal olarak duygularını ve kendisini ifade etme biçimiyle de ilişkilidir. Bu nedenle, Endüstri 4.0 sürecinin giysi üretim ve tüketim yöntemlerini etkileyeceği öngörülmektedir [36]. Almanya'da yapılan bir araştırma, gelecekte tekstil endüstrisi üretiminde esnekliğin en önemli etken olacağını ortaya koymuştur. Burada esneklik, öngörülemez durumlara yüksek uyarlanma kabiliyeti anlamına gelmektedir. Araştırma, kısa dönemli siparişlerin hızla karşılanması ve koordinasyonu konusunda işletmelerin büyük zorluklar yaşadığını da saptamıştır. Özellikle giyim endüstrisi için kısa ürün döngüleri, "büyük talep dalgalanmaları ve müşteri taleplerinin bireyselleşmesi" eğilimlerinin üretimde yüksek esneklik ve verimliliği zorunlu hale getirdiği vurgulanmıştır. Tekstil üretiminin ağırlıklı olarak Güneydoğu Asya'da yaptırılması, kurulu Alman tekstil şirketleri üzerindeki rekabet baskısını artırmış, sektördeki istihdam 1970'lerden bu yana yaklaşık 11 kat azalmıştır [37]. Bu faktörlerin, Almanya ve benzer ülkeleri çözüm arayışına ittiği, çözüm olarak görülen Endüstri 4.0'ın da bu ülkelerin güçlü yönleri üzerine inşa edildiği anlaşılmaktadır [38]. Buradan hareketle; Endüstri 4.0'ın tekstil sektörüne uygulanması sürecinde, mevcut tekstil makineleri ve sistem yazılımı üreticileri sahip oldukları teknolojik birikim sayesinde daha avantajlı konumda olacaklar

ve halen ürünlerini ihraç etmekte oldukları ülkelere Endüstri 4.0 kapsamında daha fazla ürün (makine, yazılım, bilgi hatta fabrika) satabileceklerdir. Son zamanlardaki olumlu gelişmelere karşın Türkiye, tekstil sektöründe kullanılan makine ve sistemler bağlamında dışa bağımlı bir konumdadır. En azından tekstil sektörü açısından ülkemiz aleyhine gelişmelere gebe olduğunu düşündüğümüz sürecin doğru yönetilmesi için bu açmazın aşılması yaşamsal önem taşımaktadır. Açıkça görülebileceği gibi, Endüstri 4.0 sürecinin gereklerinin ortak akılla oluşturulmuş bir stratejiden yoksun olarak dışalım yoluyla sağlanmaya çalışılması dışa bağımlılığı daha da artıracığı gibi işsizlik sorununu katlanılmaz düzeylere çıkaracaktır. Bu durumda, Türkiye'nin devlet destekli olarak tüm paydaşların katılımını sağlayarak ortak akılla bir strateji hazırlaması, bu stratejinin; eğitim sistemini geliştirmeyi ve toplumsal eğitim düzeyini yükseltmeyi (Endüstri 4.0 sürecinin getireceği sosyal iklim ve insan özellikleri dikkate alınmalıdır), yerli donanım ve yazılım üretimini geliştirmeyi, tüm Endüstri 4.0 bileşenleri alanlarında yetkin teknik elemanlar yetiştirmeyi mutlaka kapsamalıdır [39]. Bu konuda Türkiye'de ilgili paydaşların gittikçe artmakta olan bir farkındalığının bulunduğu ve geleceğe dönük umut verici girişimlerin varlığı gözlemlenmektedir.

3.1 Tekstil üretim süreçlerinde endüstri 4.0'ın uygulanması

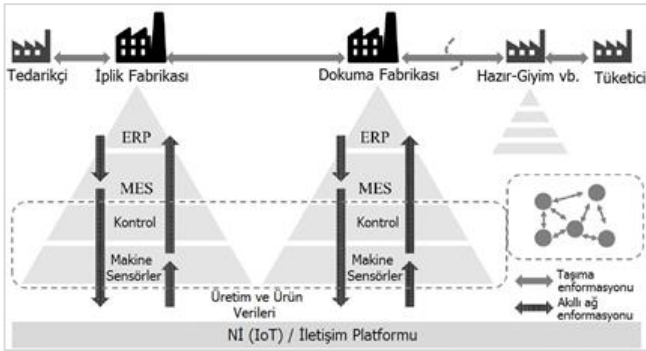
Endüstri 4.0'ın önemli bir bileşeni olan otomasyon, tekstil üretim süreçlerinde oldukça ileri bir seviyeye gelmiş durumdadır. Günümüz işletmelerindeki otomasyon yapısı tabandan tavana farklı seviyelerden oluşmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6: İşletmelerde otomasyon piramidi [40].

Birinci seviye "alan seviyesi" olup üretim sahasında bulunan makineler ve verileri algılayan duyarlar, eyleyiciler vb. kapsamaktadır. İkinci seviye "kontrol seviyesi" olup PLC, PC, PID gibi birinci seviyedeki sistemleri kontrol eden mantıksal cihazları kapsamaktadır. Üçüncü seviye "yönetim seviyesi" olup denetim ve veri toplama yazılımlarını barındırır. Dördüncü seviye "yürütme seviyesi" olup üretim sürecindeki tüm işlemlerin izlenerek kontrol edildiği, gerekli verilerin saklandığı bir yazılım ağını (Manufacturing Execution System, MES) kapsar. Beşinci seviye ise "yönetim seviyesi" olup işletme otomasyon sistemlerinin tüm seviyelerini bütünleştirerek kaynakların verimli bir şekilde yönetimini sağlayan (Enterprise Resource Planning, ERP) yazılım ağını kapsar. Günümüz pazar şartlarında parti boyutları küçülmüş, talep çeşitliliği artmış ve sipariş teslim süreleri kısalmıştır. Bu nedenle işletmeler küresel rekabet güçlerini korumak için daha hızlı ve esnek üretim sistemlerine geçiş yapmak durumunda kalmaktadırlar [37].

Endüstri 4.0 yaklaşımının iki üretim modeli ortaya koyacağı öngörülmektedir. Bunlardan biri *mini fabrika* diğeri ise *akıllı fabrikadır*. Mini fabrika talebe dayalı bir üretim modeli iken akıllı fabrika sanal ortamda ve işbirliği çerçevesinde paydaşları ile bütünleşmeyi gerektiren bir modeldir. Endüstri 4.0'ın son hedefi, akıllı fabrikaların (karanlık fabrikalar) gerçekleştirilmesi olarak vurgulanmaktadır. Bu, işletmelerin üretim süreçlerindeki tüm birimler (insan, makine, kaynaklar) arasında sosyal/sanal ağlar üzerinden enformasyon akışını sağlayacak bağlantıların kurulmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, endüstriyel rekabet üstünlüğünün elde edilmesi değer organizasyonu ve kontrolü, yeni iş modelleri ve ağ oluşturma sayesinde sağlanacaktır. Sağlanan esnek ve hızlı üretim ile çok farklı ölçülerdeki siparişleri üretmek mümkün olacaktır. Tekstilde oldukça yoğun olan işletme içi lojistik faaliyetlerinde sayısal teknolojiler ve SFS kullanımı üretkenliği iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Bu sayede, makineler birbirleriyle ve çalışanlarla sayısal iletişim kurabilmekte ve birbirlerine durumları hakkında veya bakım zamanı gibi yaklaşan problemlerle ilgili bilgi verebilmektedir. Böylece fabrika, müşterinin üretim emrini yerine getirmek için kendisini yeniden yapılandırabilmektedir. Şerit kovası, masura, konik patron, çözgü levendi, kumaş vb. nesnelere enformasyon taşıyabilecek, böylece Şekil 7'de şematik yapıları sunulan otonom tekstil üretim zinciri ortaya çıkabilecektir.



Şekil 7: Endüstri 4.0 yaklaşımıyla otonom tekstil üretim zincirinin şematik diyagramı [41].

Gelecekte üretimin ana unsurunun insan-makine etkileşimi olması, akıllı telefonlar, tabletler veya başa takılan ekranlar gibi akıllı kişisel cihazların yenileşim açısından büyük olanaklar sunması beklenmektedir. Akıllı kişisel cihazlar ve rehber programlar üretimin optimize edilmesini ve makinenin arızalanması durumunda hızlı hareket etmeyi sağlayabilir. Örneğin makine onarımının makine üreticisinin desteği ile yapılması yani tele-bakım (Şekil 8) mümkün olabilir [38],[39]. Genel olarak Endüstri 4.0'ın tekstil üretimine getireceği avantajlar arasında; üretim süreçlerinin optimizasyonu ve fabrika verimliliğinin iyileştirilmesi, daha ekonomik ve esnek üretim, enerji tasarrufu sayılabilir [34]. Gelişmiş benzetimlerin kullanımı, ar-ge ve ür-ge birimlerinin dikey entegrasyonu ile işbirliği düzeyini artıran işletmeler daha hassas ve hatasız ürün tasarımı sayesinde, yüksek katma değerli ve üstün özellikli ürünleri daha düşük hata oranları ve fire maliyetleri ile üretebileceklerdir.

İşletmeler, ERP yazılımları sayesinde tedarikçileri ve müşterileriyle yatay bütünleşmeye (integration) gidebilecekler, üstün özellikli ürün değer zincirinde rekabet edebilmek için gerekli olan müşteri ilişkileri yönetimini sağlayabilecekler, satın alma döngülerini daha doğru biçimde öngörebilecekler ve stok maliyetlerini azaltacaklardır. İşletme

çalışanları, Nİ uygulamaları sayesinde üretim hattındaki olası sorunları öngörebilecek ve önlem alabileceklerdir. Böylece üretkenlik ve verimlilik artacaktır [5].



Şekil 8: Tekstil makineleri için tele-bakım aşamaları [38].

3.1.1 İplik alanında endüstri 4.0 uygulamaları

İplik işletmelerinde mevcut olan başlıca otomasyon uygulamaları; harman hallaçta otomatik olarak balya açılması ve karıştırılması, tarakta otomatik besleme, tarak ve cerde otomatik düzeltme, fitil ve ring makinelerinde otomatik takım çıkarma, bobin ve OE-rotor makinelerinde kopuşlara otomatik müdahale (splicing), otomatik bobin değişimi ve iplik hata tespiti, fitil yumaklarının iplikhaneye otomatik olarak taşınması, ring iplik makinelerinden bobin dairesine kopsların otomatik olarak taşınması, bobin makinesinde otomatik kops hazırlama ve besleme, yabancı madde tespiti, kalite kontrol amaçlı izleme ve hata analiz sistemleri, üretim takip ve işletme yönetim sistemleri örnek verilebilir. Bu uygulamalar iplik işletmelerinde üretkenliği ve kalite düzeyini artırmıştır. Son yıllarda tekstil makinelerinin farklı mekanizmalarının bağımsız servo-motorlar ile kontrol edilmeye başlanması makinelere esneklik kazandırmakta, aynı zamanda mekanik aksamlar ve yol açtığı sorunlar azalmakta, esnekleşen sistemlere duyuların da eklenmesiyle makine ve sistemlerin bilgisayar, tablet, cep telefonu vb. ile izlenmesi ve kontrolü olanaklı hale gelmektedir.

Gittikçe daha fazla iplik fabrikası, eskiden insanların yaptığı ağır ve yapması zor işleri robotlara yaptırmaya başlamışlardır. Son zamanlarda, iplik fabrikalarında otomasyon için; taşıma, paketleme, fabrikaya ait üretim ve kalite verilerinin ofis bilgisayarları ve mobil cihazlar aracılığıyla izlenmesi, verilerin analizi ve yorumlanması için yazılım ve yapay zekâ uygulamalarına odaklanıldığı gözlenmektedir. Şekil 9'da bir otomasyon örneği olarak, fitil yumaklarının fitil makinesinden iplik makinelerine el değmeden otomatik olarak taşınmasını sağlayan sisteme ilişkin bir görsel sunulmuştur.



Şekil 9: İplikhanede fitil yumaklarının otomatik taşınması [42].

İplik makine üreticileri, Endüstri 4.0'a uygun şekilde, Nİ ve SFS esaslı iplik üretimi ve yönetimine yardımcı yazılım platformları

sunmaya başlamışlardır. Bu yazılımlar yöneticiye, mobil uygulamalarla üretim ve bakım onarım verilerini anlık olarak izleme, arıza tespit uyarıları alma, onarım için teknik servis ile iletişim, eşzamanlı olarak kalite kontrol verilerinin analiz, rapor ve/veya çözüm önerilerine erişim olanakları sunabilmektedir [43]-[46]. Bunun yanında RFID teknolojisi iplikhane pamuk balyalarını ve iplikleri izlemek için kullanılabilir ve partilerin karışması önlenmektedir [47].

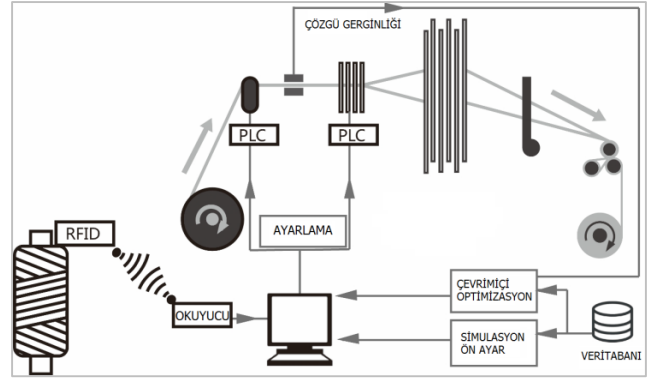
Çin hükümetinin 2001 yılından bu yana Çin tekstil endüstrisinde üretim, tasarım, yönetim ve satış süreçlerinin sayısallaştırılması ve akıllı hale getirilmesi için özel çaba içinde olduğu belirtilmektedir. Bunun nedenleri olarak; verimlilik artışı, kalite sürdürülebilirliği, uluslararası rekabet üstünlüğü sağlamak isteğinin yanı sıra işgücü kıtlığı, işgücü ücretlerindeki artış ve kötü çalışma şartları ve iş zorluğu nedeniyle oluşan yüksek iş değiştirme oranları sıralanmaktadır. Çin'de akıllı üretim teknolojilerinin uygulandığı pilot iplikhanelerde, işgücü üretkenliği %30'dan fazla artmış, ürün geliştirme süresi %20'den fazla azalmış, hatalı ürün oranı %30 civarında azalmış ve istihdam yoğunluğu 10.000 iş başına 1987'de 360 işçi iken 2016'da 80 işçi düzeyine (bazı işletmelerde 9-15-20 işçi) düşmüştür. Sayısallaşmada karşılaşılan zorluklardan biri, iplik üretim sürecindeki basamaklar arasındaki otomatik taşıma sistemlerinin işçilik maliyetine göre çok yüksek yatırım gerektirmesi olarak vurgulanmaktadır. Seçenek olarak taşıma işlemlerinin akıllı taşıma araçları ile yapılması üzerinde durulmaktadır. Diğer bir zorluk ise ring iplik eğirme makinelerinde kopuşların otomatik olarak giderilmesinin hâlâ gerçekleştirilememiş olmasıdır [48].

Bütün bunlar göz önüne alındığında, iplikhanelerde üretim ve yönetim süreçlerinde sayısallaşma ve akıllı sistem kullanımının Endüstri 4.0 yaklaşımı doğrultusunda daha da gelişeceği, ancak karanlı fabrikalar olarak anılan akıllı fabrikaların gerçekleşmesinin önünde çözülmesi gereken bir çok önemli sorunlar bulunduğu anlaşılmaktadır.

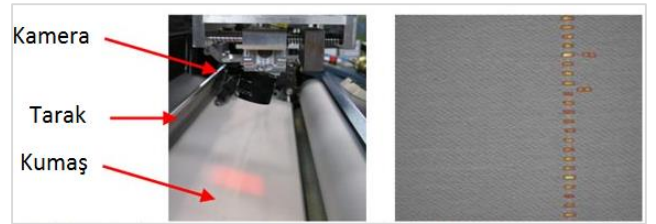
3.1.1 Dokuma alanında endüstri 4.0 uygulamaları

Dokuma üretim sürecinin tüm aşamalarında kullanılan otomasyon uygulamaları mevcuttur. Bu uygulamalardan bazıları, çözgü aşamasında; otomatik bant (section) konumlandırma, otomatik frenleme, otomatik çözgü levendi yükleme, değiştirme ve indirme, otomatik makine durdurma, çağlık hareketleri, haşıl aşamasında; haşıl işlemi süresince otomatik iplik gerilimi, nem ve sıcaklık kontrolü, otomatik hata tespiti ve makine durdurma, dokuma aşamasında; çözgü kopuş tespiti, atkı kopuşu onarımı, otomatik renk seçimi, otomatik kumaş hata tespiti olarak sıralanabilir. SFS teknolojisi, üretim zincirinde kendi kendine optimizasyon, üretkenlik artışı ve kalitede iyileşme elde etmek amacıyla kullanılmaya başlanmış durumdadır [49].

Endüstri 4.0 sürecindeki basamaklardan biri tekstil makinelerinin kendi kendini optimize eder hale gelmesidir. Dokuma makinelerinde bunu hedefleyen bir araştırma ITA (Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University) tarafından gerçekleştirilmiş ve dokuma tezgâhında çözgü ipliği geriliminin işlem kararlılığı bozulmadan sayısal teknoloji sayesinde otomatik olarak en alt seviyede tutulabileceği gösterilmiştir (Şekil 10). Diğer bir basamak, ileri duyuların geliştirilerek dokuma sürecine entegre edilmesidir. Bu amaçla, ipliklerin ayırt edilebildiği çözünürlük düzeyindeki (≈ 1000 ppi) kumaş görüntülerini işleyerek çizgisel hata kontrolü yapabilen ilk örnek dokuma tezgâhı üretilmiştir (Şekil 11). Sistemin başarıyla kullanılabilmesi için testlerle kanıtlanmıştır [38].



Şekil 10: Dokuma tezgâhında kendi kendine optimizasyon sistemi [41].



Şekil 11: Tezgâhın üzerindeki denetleme sistemi (solda) ve kumaş hata tespiti (sağda) [38].

Dokuma tezgâhlarında; tüm verilerin dokunmatik ekrandan izlenmesi, ekran üzerinden gerçek zamanlı veri aktarımının yapılabilmesi, makine çalışma parametrelerinin (hava tüketimi vb.) izlenmesi ve gerekirse değiştirilmesi, tüm dokuma parametreleri için çeşitli istatistik analizlerin yapılabilmesi, bakım, ayar, temizlik, yağlama gibi konularda çevrimiçi yardımı erişilebilmesi, hava jetli tezgâhlarda hava tüketiminin optimizasyonu, vardiyalı raporları ve duruş analizleri alma, gerçek zamanlı çalışma durumunu izleme, elektronik olarak üretim parametrelerinin (havlu için hav oranı kontrolü vb.) kontrolü ve çözgü kopuşlarının tespiti, bakım ve ayar prosedürlerinin dokunmatik ekrandan erişilebilen videolar ile incelenebilmesi, tezgâhtan tezgâha ayar verileri ve armür desen bilgilerinin aktarılması, performans iyileştirme için siparişe çalışan makineler ile ilgili müşteriler arasında internet tabanlı bir şebeke oluşturulması gibi işlevler artık sunulmaktadır.

Bazı makine üreticileri, yalnızca tezgâha ait kontrol panelinden değil ofis bilgisayarından, tablet veya akıllı cep telefonundan tüm verilere ve analizlere erişim sağlayan yazılımlar da sunmaktadır. İnternet tabanlı sistemler sayesinde, yöneticiler fabrikanın üretim durumunu dünyanın herhangi bir yerinden internet aracılığıyla izleyebilmektedirler. Tüm bunlar mekanik hareketlerin (ağırlık açma, çerçeve hareketi vb.) servo-motor kontrollü olarak gerçekleştirilmeye başlanması ve duyurga kullanımının yaygınlaşması ile mümkün olmaktadır. Bir makine üreticisi (Van de Wele WE@VELINK) halı üretim sürecini tasarımdan üretim planlamasına, stok yönetimine kadar baştan sona uzaktan erişime açık şekilde yönetmeye, optimize etmeye olanak sağlayan bir yazılımı müşterilerine sunmuştur.

ITMA 2015 fuarında yukarıda sözü edilen işlevlerin dokuma tezgâhlarına kazandırılmaya başlandığı gözlenmiş ve makine üreticilerinin Endüstri 4.0'ın gerekliliklerini yerine getirme yönünde eğilim gösterdikleri anlaşılmıştır. Tsudakoma firmasının geliştirdiği Weave Navigation® System-II yazılımı

ile gerçek zamanlı ayarlar ve izlemeler yapılabilen, atkı atma grafiği incelenip atkı atma zamanı ayarlanabilen, çözgüde gerilim değişiklikleri gözlenip çözgü gerilimi ayarlanabilen, tezgâhlardaki hava tüketimi izlenip anormal ayarlar kolaylıkla tespit edilebilen ve düzeltmeler yapılabilir (Şekil 12). Bu arayüz yardımıyla bakım ve ayarlama prosedürlerine de erişilebilir. Firma, işletmedeki tüm dokuma tezgâhlarını ve üretim süreçlerini izlemek ve yönetmek için TLM (Tsudakoma Loom Monitoring System) adlı bir yazılım da sunmaktadır. Bu yazılım ile tezgâhtan tezgâha ayar verileri ve armür desen bilgileri aktarılabilir [50]. Bu gelişmeler Endüstri 4.0 yaklaşımının dokuma üretim sürecinde uygulanması doğrultusunda atılmış önemli adımlar olarak değerlendirilebilir.



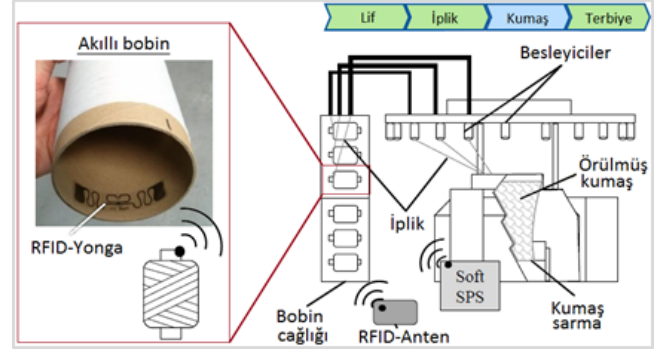
Şekil 12: Tsudakoma Yeni Weave Navigation® System -II yazılımı [50].

3.1.2 Örme alanında endüstri 4.0 uygulamaları

Örme işletmelerinde; etiket, etiket okuyucu ve veri işleme yazılımlarından oluşan, nesnelere izlemeye ve bilgi işlemeye yardımcı olan RFID (Radio Frequency Identification) teknolojilerinden yararlanarak ürün takibi yapılması hem üreticiye hem de müşteriye fayda sağlamaktadır. Yatay bütünleşme kapsamında müşteri kendi siparişi ile ilgili gelişmeleri anlık olarak izleyebilmektedir. İplik üretimi sırasında makineler gömülü duyarılardan alınan kalite verilerinin ilgili bobindeki yongalara (RFID etiketi) kaydedilerek örme kumaş üretim sürecine aktarılabilir ve bu verilere göre örme üretim hızlarının ayarlanabileceği gösterilmiştir. Çağlıktaki ipliklerin hammadde, numara, renk, uzunluk ve gerilim gibi özelliklerinin izlenmesi hedeflenmektedir. Şekil 13'te bu yaklaşımın çalışma prensibi şematik olarak verilmiştir. Ayrıca çalışanlara, ayar, bakım vb. konularda yardımcı olacak, Artırılmış Gerçeklik teknolojilerine dayalı bir arayüz ve görüntü işleme teknolojisi kullanarak örme kumaştaki hataları otomatik olarak belirleyecek bir sistem geliştirilmeye çalışılmaktadır [37],[47].

Düz örme fabrikasındaki tüm örme makinelerinden veri toplayıp merkezde değerlendiren ve makine kontrolüne izin veren bir Üretim Planlama Sistem yazılım paketi için pilot çalışma yapılmaktadır [51]. RWTH Aachen Üniversitesi'nde Tekstil Teknik Enstitüsü (Institut für Textiltechnik) ile Institute for Imaging and Computer Vision işbirliği ile atkılı örme kumaşlarda düzgün olmayan iplik gerginlik ayarından kaynaklı yatay bant hatalarının çevrimdışı (gerçek zamanlı olmayan) olarak %97 başarı oranıyla tespit edildiği gösterilmiştir. Örme kumaşlarda çevrimiçi (gerçek zamanlı) hata tespiti kumaşın ilmek geometrisi ve ağ yapısı nedeniyle dokuma kumaşlara göre daha zordur. Literatürde, örme kumaş üretiminde

çevrimiçi hata tespitine ilişkin çok az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır [49].



Şekil 13: Yuvarlak örmede akıllı bobin ve RFID teknolojisinin kullanımı [37]

ITMA 2015 fuarında, fitilden single jersey örme kumaş üreten spinitesystems® (Mayer & Cie. firması destekli) yuvarlak örme makinesi sergilenmiştir (Şekil 14). Bu makinenin üretim maliyetlerini düşürdüğü ifade edilmektedir [52]. Sözü edilen gelişmelerin örme üretim sürecinde Endüstri 4.0 yaklaşımına katkı sağlaması beklenebilir.

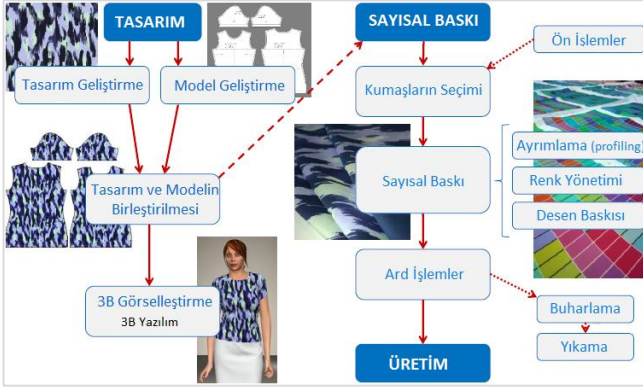


Şekil 14: spinitesystems® yuvarlak örme makinesi [53]

3.1.3 Terbiye alanında endüstri 4.0 uygulamaları

Terbiye sürecinde otomasyon, kalite üzerinde çok etkili olan basınç, sıcaklık, işlem süresi, su seviyesi vb. faktörlerin hassas bir şekilde kontrolünde yardımcı olmaktadır. Robotlar iplik bobinleri, levend vb. malzemelerin taşınması, makineye yüklenmesi ve indirilmesinde kullanılmaktadır. Otomasyon, su tüketimi miktarını ve maliyetini azaltmakta, kimyasal madde kullanımının kontrolünü sağlamakta, işgücü ve makine verimliliğini dolayısı ile üretkenliği artırmaktadır. Otomasyon sayesinde boyamada renk uyumu da sağlanarak bitmiş ürünün üniformitesi artırılabilir [54]. Terbiye işletmelerinde makine bakımının düzenli yapılması, enerji verimliliği ve yönetimi büyük önem taşımaktadır. Günümüzde, üretim sırasında toplanan verileri değerlendirerek periyodik bakım planlaması öneren, arıza olasılıkları için uyarı veren, maliyete büyük etki eden enerji tüketimini (elektrik, buhar, sıcak su vb.) takip ederek verimliliği artırmaya yardımcı olan yazılımlar sunulmaktadır [40]. Bunun yanında, RFID okuyucular ile ürün takibi, boyarmadde karışımlarını hassas şekilde zamanında hazırlamak, duyarlıların kumaşa aşırı bir çekme tespit etmesi durumunda akıllı makine denetleyicisinin otomatik olarak işlem parametrelerini düzeltmesi gibi uygulamalar mümkün olmaktadır [44].

Sayısal Tekstil Baskıcılığı (Digital Textile Printing) son teknolojik gelişmelerle, geleneksel tekstil baskıcılığına göre çok daha yüksek oranda büyümüştür. ITMA 2015'te öne çıkan ve büyük aşama kaydettiği gözlenen Sayısal Tekstil Baskı teknolojisinin su, enerji, kimyasal madde, zaman ve maliyet tasarrufu açısından olumlu özellikleri vardır. Mürekkep püskürtmeli (inkjet) yazıcıda bitim kimyasalları uygulanarak kumaşa kir iticilik, güç tutuşurluk, anti-mikrobiyal özellik kazandırmak mümkündür [55],[56]. Sayısal Baskı sürecine ait iş akışı Şekil 15'te verilmiştir. Bu alandaki gelişmeler hem Endüstri 4.0 yaklaşımına hem de kişiye özel üretim ve mini fabrika eğilimine önemli katkılar sağlayacaktır.



Şekil 15: Sayısal baskı sürecinde iş akışı [55].

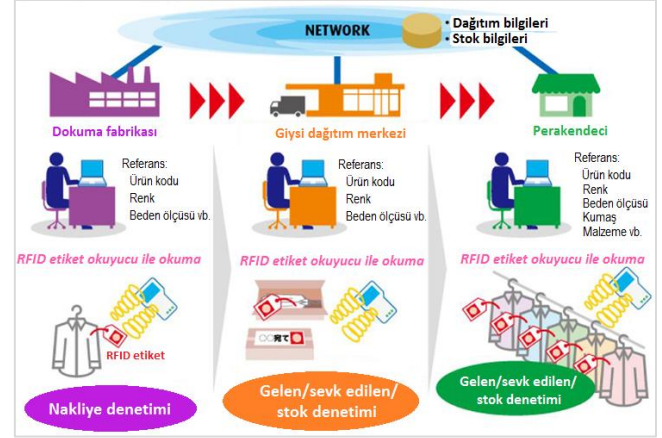
3.1.4 Hazır giyim alanında endüstri 4.0 uygulamaları

İşgücünün yetersiz ve/veya pahalı olması durumuna karşı Hazır Giyim endüstrisinde alınacak önlem, eldeki kaynakları optimum şekilde kullanmak ve üretkenliği artırmak amacıyla tüm üretim aşamalarında insan müdahalesini en aza indirmek olacaktır. Bu bağlamda, emek yoğun bir yapıya sahip olan Hazır Giyim sektöründe Endüstri 4.0 yaklaşımının uygulanma potansiyeli bulunmaktadır. Gelecekte olması beklenen gelişmeler arasında, müşteri gereksinim ve isteklerine dayalı "kişiyeye özel üretim" ve "küçük boyutlu akıllı üretim birimlerinin oluşturulması" sayılabilir [57].

Son zamanlarda internet üzerinden ısmarlama (made to order) yoluyla kişiye özel üretime ilişkin ticari uygulamalara rastlanmaktadır. Kişiyeye özel üretimde, müşteriyi tasarım sürecine dâhil etme, giysinin müşteri bedenine uyumunun sağlanması, hızlı üretim, teslimat ve müşteri memnuniyeti gibi hedefler söz konusudur. Kişiyeye özel üretimin gelişmesine en çok katkı sağlayacak unsurlardan biri 3B sanal tasarım cihazları ve yazılım teknolojisindeki ilerlemeler olacaktır [49],[57],[59].

Hazır Giyim üretiminde, sayısallaşmanın önemli araçlarından olan RFID teknolojisi (Şekil 16), envanter kontrolü, depolama, dağıtım, lojistik, otomatik nesne izleme (bitmiş ürünler, farklı kalıp parçaları, aksesuarlar vb.) ve tedarik zinciri yönetimi amacıyla şimdiden kullanılmaya başlanmıştır [47]. Tekstil üretim sürecinde izlenebilirlik sağlayan RFID ve barkod sistemleri yapılarından kaynaklı bazı sınırlamalara sahiptir. Bu nedenle literatürde izleme etiketlerini ipliğe dolayısıyla kumaş içine gömülü hale getirmeye dönük bilimsel çalışmalara rastlanmaktadır. Kumar ve ark. yaptıkları çalışmada, geleneksel tekstil üretim yöntemleriyle kodlanabilir izleme etiketi barındıran özel bir iplik üretmek dokuma ve örme kumaş içinde kullanışlı, oldukça yüksek izleme başarısı elde ettiklerini ve yıkamanın sistem üzerindeki etkisinin çok az olduğunu belirtmişlerdir [60]. RFID teknolojinin tekstil üretim

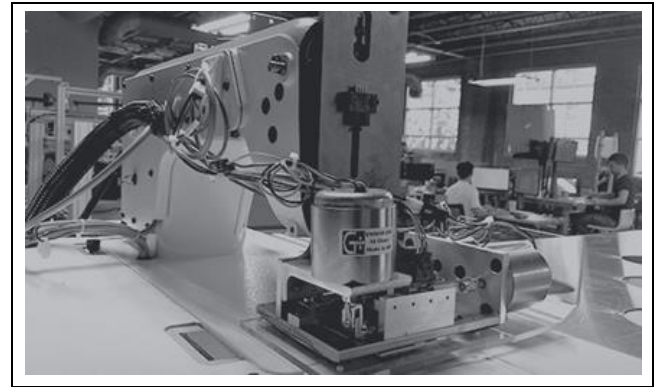
sürecinin her aşamasında kullanıma potansiyelinin bulunduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 16: RFID teknolojisinin giysi üretiminde kullanımı [58].

Üretici-müşteri-tedarikçi arasında gerçek zamanlı enformasyon paylaşımı, büyük veri kullanımı, üretimin uygun aşamalarında (kesme, taşıma, ambalaj vb.) otomasyon ve robotik sistemlerin kullanımı odaklanılan güncel konular arasında sayılabilir. Son zamanlarda "otonom dikiş makineleri" konusundaki şaşırtıcı gelişmeler, gelecekte akıllı fabrikalarda hazır giyim üretiminin gerçekleştirilebileceğine dair umutları arttırmaktadır.

Konfeksiyonda yoğun emek gerektiren dikiş işlemini gerçekleştirecek otonom robotik sistemlerin geliştirilmesinde oldukça ileri düzeylere gelindiği anlaşılmaktadır. Şekil 17'de görülen robotik dikiş makinesinde, gelişmiş bilgisayarlı gözlem sistemi yardımıyla kumaş hareketlerinin izlendiği ve sapma oluşması durumunda küçük bir robot yardımıyla düzeltilebildiği ifade edilmektedir. Bununla birlikte mevcut dikiş makineleri ile bütünleştirilmesi mümkün olan, dikilecek kumaşı alıp dikiş makinesine yerleştirebilen ve dikiş süresince kontrol edebilen robotlar geliştirilmiş durumdadır [61]-[63].



Şekil 17: Otonom dikiş makinesi ilk örneği [61].

Endüstri 4.0 kapsamında yer alan önemli teknolojilerden biri de Eklemeli Üretim teknolojisidir. Tekstilde kullanımı ticari olarak yaygınlaşmamış olsa da, 3B yazıcılar ile giysi üretimi teknolojik olarak mümkündür. Çeşitli moda gösterilerinde bu teknoloji ile üretilmiş giysi örnekleri sergilenmiştir. Hammadde olarak PLA (polilaktik asit) polimeri kullanımı yaygındır ve bu sürdürülebilirlik açısından da önemlidir. Bu teknolojinin tekstil üretiminde yaygınlaşması için henüz zamana ve yeni teknolojik gelişmelere gereksinim olduğu söylenebilir. Ancak, tekstil

üretiminde gerçek bir seçenek oluşturma potansiyeli olduğu açıktır [64]-[67].

Kişiyeye özel üretim ve moda taleplerine hızlı yanıt verme gereksinimini karşılayacak Sayısal Tekstil Mini Fabrika (Digital Textile Micro Factory) yaklaşımının ilk örneği Texprocess 2017 fuarında sunulmuştur [68]. Bu yaklaşımda sayısallaşma ve otomasyonun katkısı büyük önem taşımaktadır. Buna ilave olarak, eklemeli üretim teknolojisindeki ilerlemeler ile birlikte mini fabrikaların gelecekte yaygınlaşacağı öngörülebilir.

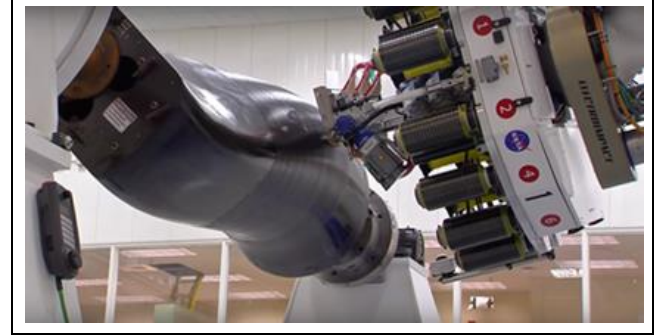
3.2 Endüstri 4.0 ve akıllı fabrika için genel değerlendirme

Genel olarak Endüstri 4.0 yaklaşımına, Almanya'da hizmet odaklı, ABD'de veri merkezli olarak bakılmaktadır. Her iki yaklaşımın da özü "üretimi tamamen otomatikleştiren ve optimize eden makineler ağı" elde etmektir. Endüstri 4.0 kavramının, gündeme getiren ülkeler tarafından bile tüm yönleriyle tanımlanmış ve anlaşılabilir olmadığı görülmektedir. Almanya'nın yeni endüstriyel devrimde başarılı olması için internet altyapısını geliştirmeye, Ar-Ge'ye daha fazla kaynak ayırmaya, nitelikli personel artırmaya gereksinimi olduğu, özellikle Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelere Endüstri 4.0'ın nasıl uygulanacağına dair bir stratejisinin olmadığı, bu açığı kapatmak için çeşitli girişimler ve araştırmalar içinde olduğu belirtilmektedir. Almanya'da Endüstri 4.0 için aşağıdaki araştırma konuları belirlenmiştir.

- Standardizasyon ve referans mimarisi: Şirketler arası iletişimin sağlanması ve değer zinciri ağına entegrasyon,
- Karmaşık sistemlerin yönetimi: Sayısal ve fiziksel dünyanın entegrasyonu, profesyonel faaliyetlerin otomasyonu için modeller tanımlanması,
- Endüstride geniş bant internet altyapısı: Yüksek hacimli, kaliteli ve hızlı veri alışverişi için gerekli,
- İş güvenliği ve emniyet: İşletme içinde iş güvenliği, veri gizliliği ve enformasyon güvenliği sağlamak,
- İş organizasyonu ve tasarım: Endüstri 4.0 ortamında tasarımcı ve karar vericiler için öneriler ortaya koymak,
- Eğitim ve işbaşı eğitimi: Eğitim ve mesleki gelişim için içerik ve yenilikçi kavramlar tanımlamak,
- Düzenleyici çerçeve: Endüstri 4.0 için Avrupa çapında geçerli bir yasal çerçeve oluşturmak. Örneğin, sayısal ürünlerin korunması,
- Kaynak verimliliği: Tüm kaynakların (hammadde ve sarf malzemelerin yanı sıra insan ve mali kaynaklar) sorumlu kullanımı gelecekteki endüstriyel üretim için bir başarı faktörü kabul edilmektedir.

Yukarıda belirtilen konuların dışında; akıllı robotlar, insanın doğal uzantısı sayılan teknolojiler, akıllı nesnelere ve duyargalar (sensörler), büyük veri analitikleri ve ileri algoritmalar gibi Endüstri 4.0 kapsamındaki teknolojiler yeni gelişen teknolojiler olarak sayılmaktadır [69],[70]. Dolayısıyla ile bu alanlardaki gelişmeler Endüstri 4.0'ın gelişme hızı ve yaygınlaşması üzerinde etkili olacaktır. Karmaşık, çok aşamalı ve işlem çeşitliliği çok fazla olan tekstil sektöründe akıllı fabrikalara ulaşmak için gerekli olan otonom robotların geliştirilmesi için, bazı başarılı örnekler görülmeye başlansa da, henüz zamana ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Burada kritik olan bir nokta, bu tür teknolojilerin işletmeler için uygun maliyet seviyelerinde ulaşılabilir hale gelmesidir. Endüstri 4.0 yaklaşımını doğrultusunda, tekstilde otomasyonun geldiği seviye ve robot kullanımına ilişkin işaretler ITMA 2015 fuarında gözlemlenmiştir. Şekil 18'de uzay araçlarının parçalarını karbon liflerinden kompozit malzeme biçiminde daha hızlı,

ucuz ve az emekle üretmek amacıyla tasarlanmış bir robotun ilk örneği sunulmuştur [71]. Artık, tekstil endüstrisinde kullanılan makinelerin otomasyonu ve robot tasarımı alanına odaklanmış, bu alanda ürünler sunan firmaların mevcut olduğu gözlemlenmektedir [72]. Bu gelişmeler tekstilde akıllı fabrikalar yolunda gelişmelerin devam edeceğinin göstergesi sayılabilir.



Şekil 18: Roket parçası için karbon lifinden tekstil kompozitleri üretiminde robot kullanımı [71].

Dünya Ekonomi Forum'u (WEF) tarafından yayımlanan Küresel Rekabetçilik İndeksi Raporu'nda (GCIR) yer alan ülkelerarası sıralamanın Endüstri 4.0 sürecine adaptasyon seviyesinin bir göstergesi olduğu belirtilmektedir. 2017 yılına ait indeks sıralamasında 137 ülke arasında ilk 5 ülke sırasıyla İsviçre, ABD, Singapur, Hollanda ve Almanya olmuştur. Türkiye ise 53. sırada yer almıştır. Türkiye'nin sıralamadaki yerinin yıllara göre değişimi ise yatay bir seyir izlemektedir. Yapılan araştırmalar, Endüstri 4.0 yaklaşımının Türk tekstil sektöründe, üretkenliği %10-16, maliyetleri %4-9 civarında artırma potansiyeli bulunduğunu göstermektedir. Tüm bunlar, Türkiye'nin Endüstri 4.0 sürecini tartışması, anlaması, stratejik bir plan çerçevesinde hızlı bir şekilde eyleme geçmesi gerektiğini göstermektedir. Bunun için, ar-ge ve yenilikçilik yolunda yapısal ve kültürel bir dönüşümün gerçekleştirilmesi zorunludur [70].

4 Sonuçlar

Endüstrileşme sürecinin yeni bir aşamasını temsil eden Endüstri 4.0, küreselleşme, yaygın ekonomik düzen ve teknolojik gelişmelerin sonucu olarak ortaya çıkan bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Genel anlamda teknolojik ve ekonomik rekabetin yükseldiği, kaynak kıtlığının arttığı ve küresel ekolojik dengenin tehdit altında olduğu, tekstil sektörü özelinde ise kâr oranlarının düştüğü, ürün yaşam döngüsünün kısaldığı, ürün çeşitliliğinin arttığı, tüketici taleplerinin hızlı değiştiği ve kişiyeye özel talep eğiliminin yükseldiği, üretimde parti boyutlarının küçüldüğü bir endüstri ve ekonomi dünyasında Endüstri 4.0 kavramı gelişmiş ülkeler tarafından gündeme getirilmiştir. Bu kavram, endüstrileşmiş ülkelerin gereksinimlerinin bir sonucu olduğu gibi teknolojik gelişmelerin eriştiği düzeyin bir ürünü olarak da görülebilir. Endüstri 4.0 sürecinin, tüm dünya ülkelerinin ciddi olarak ilgilendiği, geleceğin üretim ve hizmet süreçlerini belirleyecek, rekabet yarışını etkileyecek hatta insanların yaşama alışkanlıklarını değiştirecek bir kavram olduğu anlaşılmaktadır. Endüstri 4.0'ın yaygınlaşması her ne kadar tüm paydaşlar için değişik fırsatlar doğurmaya açık gibi görünse de, ekonomik anlamda teknoloji üreten gelişmiş ülkelerin lehine sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir. Yoğun bilgi ve teknoloji içeren, nitelikli ve eğitilmiş personel gerektiren

Endüstri 4.0 sürecini, tüm bu gereksinimleri dış ülkelerden satın alma ve kopyalama yoluyla yürütebilmek olanaklı görünmemektedir. Gelecekte öngörülen endüstri ve ekonomi dünyasında rekabet gücüne sahip olabilmek adına, Türkiye’de bilim, teknoloji, ar-ge, tasarım ve yenilikçiliği önceliğe alan yapısal ve kültürel dönüşümün bir an önce gerçekleştirilmesi zorunludur. Bu alanda diğer ülkelerdeki gelişmeler incelendiğinde, Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlayabilmenin ancak devletin başat rol üstlenmesi ile mümkün olduğu görülmektedir. Bu durumda Türkiye, tüm paydaşların katılımı ile belirlenen özgün bir stratejik plan çerçevesinde, devletin yönlendirilmesi ve desteği ile hareket etmelidir. Bu strateji belirlenirken, söz konusu sürecin sosyal ve ekonomik etkileri, gerektirdiği insan özellikleri ve ülkenin özgün yapısı göz önüne alınmalıdır. Bu kapsamda ilk yapılması gereken, bilim ve teknoloji üretebilecek donanımlara, yaratıcı ve çağın gereklerine uygun becerilere sahip bireyler yetiştirmeye dönük olarak eğitim sisteminin yeniden yapılandırılması olmalıdır.

Türkiye güçlü bir tekstil sektörüne ve makine parkına sahip olmakla birlikte teknolojide dışa bağımlı durumdadır. Ülke ekonomisine net girdi ve yüksek oranda istihdam sağlayan tekstil sektörü, sözü edilen süreçten en çok etkilenecek ve sosyo-ekonomik sonuçlara yol açacak sektörlerden biridir. Bu açmazdan çıkmanın biricik yolu, tekstil sektörünü sahip olduğu güçlü yanlarından destek alarak Endüstri 4.0 sürecinin yaslandığı teknolojik alanlarda “tüketici konumdan üretici konuma” geçirecek iklim şartlarını ve mekanizmaları oluşturmaktır. Endüstri 4.0’ın tekstil üretim süreçlerinde uygulanmasına ilişkin örnekler mevcuttur. Ancak akıllı fabrikaların uçtan uca gerçekleşmesinin uzun bir süreç ve büyük zorluklar içerdiği, en azından kısa vadede, standartlaştırılmaya uygun belirli üretim birimlerinde gerçekleşebileceği söylenebilir.

5 Kaynaklar

- [1] McClellan III JE, Dorn H. *Dünya Tarihinde Bilim ve Teknoloji*. Çeviri: Haydar Yalçın. Ankara, Türkiye, Arkadaş Yayınevi, 2006.
- [2] Alçın S. “Üretim için yeni bir izlek: sanayi 4.0”. *Journal of Life Economics*, 8, 19-30, 2016.
- [3] Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş. “Endüstri 4.0 Yolunda”. http://cdn.endustri40.com/file/ab05aaa7695b45c5a6477b6fc06f3645/End%C3%BCstri_4.0_Yolunda.pdf (06.05.2017).
- [4] Savaş G. “Endüstri 4.0 Nedir - Ne Değildir?”. http://www.theprowess.net/index.php?option=com_content&view=article&id=467:endustri-4-0-nedir-ne-degidir&catid=30:makaleler&Itemid=160 (11.02.2018).
- [5] TÜSİAD. “Türkiye’nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0 Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi Raporu”. Türkiye Sanayici ve İş Adamları Derneği, İstanbul, Türkiye, Yayın No: TÜSİAD-T/2016-03/576, 2016.
- [6] Giannachi G. *Archive Everything: Mapping the Everyday*. The MIT Press, 2016.
- [7] Kagermann H, Wahlster W, Helbig J. “Alman İmalat Endüstrisinin Geleceğini Güvence Altına Almak, Stratejik Girişim INDUSTRIE 4.0’ın Uygulamaya Konulması İçin Tavsiyeler, Industrie 4.0 Çalışma Grubu’nun Son Raporu”. Almanya, 2013.
- [8] Kagermann H, Lukas W, Wahlster W. “Industrie 4.0-Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. VDI Nachrichten”. http://www.wolfgang-wahlster.de/wordpress/wp-content/uploads/Industrie_4.0_Mit_dem_Internet_der_Dinge_auf_dem_Weg_zur_vierten_industriellen_Revolution_2.pdf (09.02.2018).
- [9] Hermann M, Pentek T, Otto B. “Design principles for industrie 4.0 scenarios”. *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), IEEE*. 3928-3937, USA, 5-8 January 2016.
- [10] Scalabre O. “Bir Sonraki Üretim Devrimi Kapıda”. https://www.ted.com/talks/olivier_scalabre_the_next_manufacturing_revolution_is_here?language=tr#t-43315 (06.05.2017).
- [11] Banger G. *Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme*. Ankara, Türkiye, Dorlion Yayınları, 2016.
- [12] ETP Fibers Textiles Clothing, European Technology Platform. “Towards a 4th Industrial Revolution of Textiles and Clothing A Strategic Innovation and Research Agenda for the European Textile and Clothing Industry”. Public Version, Belgium, October 2016.
- [13] Coşkunoglu O. “Endüstri 4.0: bir tekno-politik değerlendirme”. *Elektrik Mühendisliği*, 459, 8-13, 2016.
- [14] Vardar S. “IV. Endüstri Devrimi Paradigması”. <https://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/iv-endustri-devrimi-paradigmasi/7296> (13.02.2018).
- [15] Roblek V, Meško M, Krapež A. “A complex view of Industry 4.0”. *SAGE Open*, 6(2), 1-11, 2016.
- [16] Pendrous R. “Smart Food Factories Move Even Closer”. <https://www.foodmanufacture.co.uk/Article/2017/06/15/Smart-food-factories-move-even-closer> (11.02.2018).
- [17] Internet Society. “The Internet of Things: An Overview”. <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview> (11.02.2018).
- [18] Rifkin J. *Nesnelerin İnterneti ve İşbirliği Çağı*. Çeviri: Levent Göktem. İstanbul, Türkiye, Optimist Yayınları, 2015.
- [19] Kim KD, Kumar PR. “Cyber-physical systems: a perspective at the centennial”. *Proceedings of the IEEE*, 100, 1287-1308, 2012.
- [20] 2B1st Consulting. “Cyber Physical Systems (CPS)”. <https://www.2b1stconsulting.com/cyber-physical-systems-cps/> (11.02.2018).
- [21] Lee J, Bagheri B, Kao HA. “A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems”. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23, 2015.
- [22] Ege Bölgesi Sanayi Odası Araştırma Müdürlüğü. “Sanayi 4.0”. Türkiye, Ekim 2015.
- [23] Yazıcı A. “Endüstri 4.0 ve otonom robotlar”. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 459, 39, 2016.
- [24] Parreno J. “Augmented Reality in Industry 4.0-A Great Gimmick or Potential Industry Changer?”. <https://www.machines4u.com.au/mag/augmented-reality-industry-4-0-great-gimmick-potential-industry-changer/> (24.05.2017).
- [25] Kahraman H. “Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)”. <http://www.endustri40.com/artirilmis-gerceklik-augmented-reality/> (08.05.2017).
- [26] GCInfotech. “Cloud Computing & Virtualization”. <http://gcinfectech.com/it-services-company-nyc-ct/cloud-computing-virtualization/> (11.02.2018).

- [27] Loughborough University. "About Additive Manufacturing". http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/whatisa_m/ (25.05.2016).
- [28] Çalışkan MG. "Üç boyutlu yazıcılar ve gelecekte yaratacağı olası fikri haklar çatışmaları". *Ankara Barosu Fikri Mülkiyet ve Rekabet Hukuku Dergisi (FMR)*, 17(2), 61-90, 2015.
- [29] European Commission. "Science for Environment Policy." http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/commercial_desktop_3D_printers_emit_ultra_fine_particles_48si9_en.pdf (10.05.2017).
- [30] Mendes L, et al. "Characterization of emissions from a desktop 3D printer". *Journal of Industrial Ecology*, 21(1), 94-106, 2017.
- [31] Zhou Y, Kong X, Chen A, Cao S. "Investigation of ultrafine particle emissions of desktop 3D printers in the clean room". *Procedia Engineering*, 121, 506-512, 2015.
- [32] Özsoylu AF. "Endüstri 4.0". Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21(1), 41-64, 2017.
- [33] Lucke D, Constantinescu C, Westkämper E. "Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing". *The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Tokyo, Japan, 26-28 May 2008.
- [34] Subirana BB. Technologies for the Next Generation of Production Systems. Undergraduate Thesis. Mechanical Engineering and Business Economics, Institute of Production Science and Management, Graz University of Technology, Austria, 2014.
- [35] Elektrik Mühendisliği Dergisi. "Endüstri 4.0 Fırsat mı, Tehdit mi?". http://www.emo.org.tr/ekler/6b640f202090c57_ek.pdf?dergi=1069 (10.05.2017)
- [36] Duarte AYS. "Future trends in production and consumption in textile and fashion design: the fourth industrial revolution". *Trends in Textile & Fashion Design*, 1(1), 1-2, 2018.
- [37] Simonis K, Gloy YS, Gries T. "INDUSTRIE 4.0-automation in weft knitting technology". *48th Conference of the International Federation of Knitting Technologists (IFKT)*, Mönchengladbach, Germany, 8-11, June 2016.
- [38] Gloy YS, Schwarz A, Gries T. "Cyber-physical systems in textile production, the next industrial revolution". *Proceedings of the 1st International Conference on Digital Technologies for the Textile Industry*, Manchester, UK, 5-6 September 2013.
- [39] Bozkurt Ş. "Endüstri 4.0 Korkutmasın Ancak Dikkat." <http://40endustri40.com/endustri-4-0-korkutmasin-ancak-dikkat/> (12.05.2017).
- [40] Jerzembeck J. "Industry 4.0 potential in textile production (dyeing and finishing)". *Melliand International*, 4, 220-222, 2016.
- [41] Chen Z, Xing M. "Upgrading of textile manufacturing based on Industry 4.0". *5th International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering (ICADME)*, Shenzhen, China, 19-20 September 2015.
- [42] Rieter Machine Works Ltd. "Servotrail – The Flexible, Modular Roving Bobbin Transport System". <http://www.rieter.com/en/machines-systems/products/automation/servotrail/> (25.05.2017).
- [43] TexTalks.com. "Marzoli: Competence Throughout The Spinning Process & Spinning Mill 4.0". <http://textalks.com/competence-throughout-the-spinning-process-spinning-mill-4-0/> (25.05.2017).
- [44] Knitting Industry, Inside Textiles Ltd. "Steps Towards Industry 4.0: An Interview With Some Of Germany's Leading Textile Machinery Manufacturers". <http://www.knittingindustry.com/hosiery-socks/steps-towards-industry-40-an-interview-with-some-of-germanys-leading-textile-machinery-manufacturers/> (15.05.2017).
- [45] Innovation in Textiles, Inside Textiles Ltd. "ITMA 2015: Neuenhauser On Automation And Industry 4.0". <http://www.innovationintextiles.com/packaging/itma-2015-neuenhauser-on-automation-and-industry-40/> (15.05.2017).
- [46] Nayak R, Padhye R. *Automation in Garment Manufacturing*. İngiltere, The Textile Institute Book Series, Woodhead Publishing, 2018.
- [47] Nayak R, Singh A, Padhye R, Wang L. "RFID in textile and clothing manufacturing: technology and challenges". *Fashion and Textiles*, 2(9), 1-16, 2015.
- [48] Tianyong Z. "Progress of intelligent yarn spinning technology in China". *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering*, 1(1), 1-3, 2017.
- [49] Henry A. "Five Best Online Custom Clothing Stores". <http://lifehacker.com/5909754/five-best-online-custom-clothing-stores> (25.05.2017).
- [50] TSUDAKOMA Corp. "Advanced New Electronic Components". <https://www.tsudakoma.co.jp/former/textile/english/product/1000.html> (25.05.2017).
- [51] The Textile Magazine. "Digitalisation Of Flat Knitting Machines By Stoll". <http://www.indiantextilemagazine.in/it-solutions/digitalisation-of-flat-knitting-machines-by-stoll/> (23.05.2016).
- [52] Mayer & Cie. GmbH & Co. KG. "Spinit 3.0 E". <http://www.spinitystems.com/home/> (23.05.2017).
- [53] Knitting Industry, Inside Textiles Ltd. "Gebrüder Otto Nominated For ITMA Award With Mayer & Cie.'s Spinitystems". <http://www.knittingindustry.com/gebruder-otto-nominated-for-itma-award-with-mayer-cies-spinitystems/> (25.05.2017).
- [54] Choubey NS, Agrawal M. "Automation in textile industry." *International Journal on Textile Engineering and Processes*, 2(1), 30-33, 2016.
- [55] Korger M, Güntzel D, Lutz M, Steinem C. "Innovative digital textile printing applications-a contribution to sustainability and customization". *International Textile Machinery Association (ITMA)*, Milano, Italy, 12-19 November 2015.
- [56] Wright B. "Digital Textile Printing A Key Theme At Texprocess". http://www.just-style.com/news/digital-textile-printing-a-key-theme-at-texprocess_id130385.aspx (23.05.2017).
- [57] Jayatilake H, Rupasinghe TD. "Implementing Industry 4.0 In The Apparel Industry; A Study To Design A Customized Smart Apparel Production Plant". <http://science.kln.ac.lk/simdec/images/Students/Hasitha-Jayatilake.pdf> (20.05.2017).
- [58] Coresight Research. "RFID: Has Its Time Finally Come for Retail?". <https://www.funglobalretailtech.com/research/rfid-time-finally-come-retail/> (25.05.2017).

- [59] Schlomski I. "Gertsch Consulting & Mode Vision: Personalized Clothing & Industry 4.0". <https://textile-network.com/en/Fashion/Gertsch-Consulting-Mode-Vision-Personalized-Clothing-Industry-4.0> (25.05.2017).
- [60] Kumar V, Koehl L, Zeng X, Ekwall D. "Coded yarn based tag for tracking textile supply chain". *Journal of Manufacturing Systems*, 42, 124-139, 2017.
- [61] SoftWear Automation. "SEWBOT®S". <http://softwearautomation.com/> (22.05.2017).
- [62] Reddy KP. "The Rise Of Robotic Automation In The Sewing Industry". <http://www.textileworld.com/textile-world/knitting-apparel/2016/05/the-rise-of-robotic-automation-in-the-sewing-industry/world/knitting-apparel/2016/05/the-rise-of-robotic-automation-in-the-sewing-industry/> (22.05.2017).
- [63] The Telegraph Technology. "This Sewing Robot Could Put Sweatshops Out Of Business". <https://www.telegraph.co.uk/technology/2016/09/22/his-sewing-robot-could-put-sweatshops-out-of-business/> (10.02.2018).
- [64] Grunewald S. "3D Fashion: New Research Project Wants the Fashion of the Future to be 3D Printed". <https://3dprint.com/130556/research-fashion-3d-printed/> (20.05.2017).
- [65] Yıldırım M. "Moda giyim sektöründe üç boyutlu yazıcılarla tasarım ve üretim". *Art-e Sanat Dergisi*, 9(17), 155-172, 2016.
- [66] Aba Innolab. "3D Moda Projesi Endüstride Devrim Yaratıyor". <http://abainnolab.com/3d-moda-projesi-endustride-devrim-yaratiyor/> (20.05.2016).
- [67] Melnikova R, Ehrmann A, Finsterbusch K. "3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 62(1), 1-6, 2014.
- [68] Messe Frankfurt. "Digital Textile Micro Factory". <https://techtexil.messefrankfurt.com/frankfurt/en/besucher/events/digital-textile-micro-factory.html?nc> (10.02.2018)
- [69] Raina A, Gries T. "Industry 4.0: understanding needs and challenges of technical textiles industry". *International Journal of Textile Science & Engineering*, 2017(1), 1-15, 2017.
- [70] Öztürk D. "Technological transformation of manufacturing by smart factory vision: industry 4.0". *International Journal of Development Research*, 7(11), 17371-17382, 2017.
- [71] Dollaghan KC. "This Robot Is a Loom For Weaving Carbon Fiber Into Rocket Parts". <http://gizmodo.com/this-robot-spins-carbon-fiber-threads-into-rocket-parts-1722022204> (22.05.2017).
- [72] Neuenhauser Maschinenbau GmbH. "Automation For Textile, World-Wide Leading". <http://www.neuenhauser-wickeltechnik.de/en/products/automation-for-textile-industry.html> (22.05.2017).