





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Konfeksiyon İşletmelerinde Endüstri 4.0 Perspektifinde Akıllı Üretim Sistemleri Entegrasyonu İçin Bir Model Önerisi

 Aysun SAĞBAŞ<sup>a,\*</sup>,  Hilal ÖZDİL<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ/TÜRKİYE

<sup>b</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ/TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: asagbas@nku.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.909139

### ÖZ

Endüstri 4.0; üretim ve hizmet sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin, sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı elde etmek için, gelişmiş teknolojileri benimsediği ve entegre ettiği yeni bir endüstriyel çağdır. Üretim sektöründe, özellikle giyim, moda ve ayakkabı gibi kitlesel üretim yapan işletmeler için endüstri 4.0, uygulanması zorunlu bir devrim niteliğindedir. Sürdürülebilir tekstil ve konfeksiyon ürünlerine yönelik artan talepleri karşılamak için işletmeler, en yeni teknolojik çözümleri benimsemektedir. Günümüzde; kumaş diken ve kesen robotlardan, stil trendlerini tahmin eden yapay zekâ algoritmalarına kadar, büyük değişikliklerle karşı karşıya olan konfeksiyon sektöründe; üretim sürecini otomatikleştiren, kişiselleştiren ve hızlandıran bir teknolojinin kullanımı vazgeçilmez bir zorunluluk arz etmektedir. Dahası bu zorunluluk, konfeksiyon şirketleri için yalnızca ürün ve hizmetlerin zamanında sunulmasında değil, aynı zamanda uzun vadeli sürdürülebilirliği devam ettirmek için de kritik hale gelmektedir. Bu nedenle, tekstil ve konfeksiyon sektörü için endüstri 4.0 bağlamında süreç entegrasyonu mutlak bir gerekliliktir. Bu çalışmada; konfeksiyon işletmelerinde endüstri 4.0 ekseninde akıllı üretim sistemi entegrasyonu için bir model önerisi sunulmuş olup, önerilen modelin entegrasyonunda oluşan zorluklar irdelenmiş ve süreç entegrasyonunun gelecek projeksiyonu değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 4.0, Konfeksiyon Sektörü, Akıllı Üretim Sistemleri

## A Model Proposal for Intelligent Production Systems Integration in the Context of Industry 4.0 in Apparel Enterprises

### ABSTRACT

Industry 4.0 is a new industrial era in which businesses operating in the manufacturing and service sectors adopt and integrate advanced technologies to achieve sustainability and competitive advantage. Industry 4.0 is an unavoidable revolution in the manufacturing sector, especially for mass production enterprises such as clothing, fashion, and footwear. In order to meet the increasing demands for sustainable textile and apparel products, businesses adopt the latest technological solutions. Today, the apparel industry is facing big changes, from robots that sew and cut fabrics to artificial intelligence algorithms that anticipate style trends. The use of technology that automates, personalizes, and accelerates the production process is an indispensable necessity to stay competitive. Moreover, this imperative becomes critical for apparel companies not only to deliver the best products and services on time but also to maintain long-term sustainability. Therefore, process integration has become an absolute necessity in the context of industry 4.0 for the textile and apparel industry. In this study, a model for the integration

of the smart production system is proposed. In apparel businesses adopting industry 4.0, the difficulties arising in the integration of the proposed model are examined and future projections of the process integration are evaluated.

*Keywords: Industry 4.0, Apparel Industry, Smart Production Systems.*

## **I. GİRİŞ**

Endüstri 4.0; birçok üretim ve hizmet işletmesinde olduğu gibi, konfeksiyon işletmelerinde de sürdürülebilirliği sağlamak ve rekabet avantajı elde edebilmek için gelişmiş teknolojilerin süreçlerde entegre edildiği, yeni bir endüstriyel devrimdir. Genel olarak endüstri 4.0; bir ürünü veya hizmeti daha hızlı, daha ucuz, daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde sunmak için gelecekteki müşteri taleplerinin, kaynakların ve verilerin nasıl paylaşıldığına, nasıl kullanıldığına, nasıl organize edildiğine ve nasıl geri dönüştürüldüğüne ilişkin bir kavram olarak tanımlanmaktadır.

Sürdürülebilir konfeksiyon ürünlerine yönelik artan talepleri karşılamak için işletmeler en yeni teknolojik çözümleri benimsemektedir. Bu nedenle, konfeksiyon endüstrisi için endüstri 4.0 bağlamında çalışmaların ivedi olarak yapılması mutlak bir gerekliliktir. Endüstri 4.0; konfeksiyon işletmeleri için yalnızca en iyi ürün ve hizmetlerin zamanında sunulması için değil, aynı zamanda uzun vadeli sürdürülebilirliği devam ettirmek için de kritik hale gelmektedir [1]. Konfeksiyon endüstrisi, üretim maliyetini azaltmak, süreç verimliliğini artırmak, büyümeyi teşvik etmek, işgücü yapısını değiştirmek ve nihayetinde şirketin ve bölgenin rekabet gücünü artırmak için yeni zorlukların farkında olmalı ve bu değişime entegre olmak için doğru stratejiler ve yol haritası belirlemelidir [2]. Üretim sektöründe, özellikle giyim, moda ve ayakkabı gibi kitlesel üretim yapan işletmeler için endüstri 4.0 hareketi, bir devrim niteliğindedir. Bilim ve teknolojideki gelişmeler, tüm dünyada sanayileşmenin gelişimini sürekli olarak desteklemektedir [1], [3]. Küresel konfeksiyon pazarının 2020'de 1,5 trilyon ABD dolarından, 2025'e kadar yaklaşık 2,25 trilyon dolara çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu durum, giyim ve ayakkabı talebinin dünya genelinde hızlı bir şekilde artmakta olduğunu göstermektedir [4]. Hazır giyim ve konfeksiyon sektörü otomotiv sektöründen sonra, en büyük pay ile 2020 yılı Türkiye toplam ihracatının %10,1'ne sahiptir. Hazır giyim ve konfeksiyon ihracatında Türkiye, Dünyada altıncı sırada yer almaktadır [4]. Konfeksiyon sektörü sunduğu istihdam olanakları ve ihracat geliri ile Türkiye dâhil pek çok gelişmekte olan ülkede ekonomik gelişmeye katkıda bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler için sanayileşme hareketinin ana sektörlerinden biri olan giyim ve konfeksiyon endüstrisi, erkek, kadın ve çocuk giyim, örme iç giyim ve dış giyim üretiminde kumaş ve malzeme kullanımını içermektedir [5]. Konfeksiyon sektörü istihdam açısından Türkiye'nin önde gelen sektörlerinden biridir. Mevcut durum, konfeksiyon sektörünün Türkiye ekonomisinde önemli bir paya sahip olduğunu göstermektedir. Şu anda Türkiye konfeksiyon endüstrisi, iyi üretim uygulamalarını, yalın ve sürdürülebilirlik kavramlarını benimseme ve uygulama konusunda önemli aşamalar kaydetmiştir. Bu nedenle, tekstil ve konfeksiyon endüstrisi için endüstri 4.0 bağlamında yapılacak çalışmalar mutlak bir gereklilik arz etmektedir. Yukarıda açıklanan gerekçeler nedeniyle yapılan çalışma; emek yoğun sektörlerden birisi olan konfeksiyon işletmelerinde endüstri 4.0 bağlamında akıllı bir üretim sistemi modeli önerisi ortaya koyması ve bu alanda faaliyet gösteren diğer işletmelere de yol gösterici ve rehber niteliğinde olması açısından önemli görülmektedir. Bu çalışmada, konfeksiyon işletmelerinde ilgili literatür çerçevesinde, endüstri 4.0 perspektifinde akıllı üretim sistemi model önerisi sunulmaktadır. Bu çalışmada irdelenen kavramların, içinde bulunduğumuz dördüncü sanayi devrimini gerçekleştirme çabasında yeni fikirler için bir model olacağı düşünülmektedir. Yeni teknolojilerin kullanılması, üretim süreçlerinde sadece mevcut sistemleri optimize etmekle kalmayıp, aynı zamanda yeni süreçlerin geliştirilmesine de yol açan yeniliklere de izin vermektedir. Bir akıllı konfeksiyon fabrikası, daha çevik, daha modüler ve uygun maliyetli süreç için, üretim iş akışını tamamen yeniden tasarlayarak, uygun maliyetli toplu özelleştirme yaratmak gibi ikonik atılımları gerçeğe dönüştürebilmektedir [2], [6]. Konfeksiyon sektörü özelinde üretim sürecinde endüstri 4.0 ekseninde yapılan çalışmalar incelendiğinde [7]–[12] yapay zeka, makine öğrenimi, otomasyon, nesnelerin interneti, 3D baskı, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, kuantum hesaplama ve robotik gibi devrim niteliğindeki teknolojilerin ve bu teknolojiler arasındaki

etkileşimlerin, akıllı üretim sistemlerinin başlangıcını oluşturduğu görülmektedir. Akıllı sistemlerin üretim sürecine entegrasyonu ve dijital teknolojilerin benimsenmesi ve uygulamada devreye alınması, işletmelerde, yeni yönetim yaklaşımlarına ve yeteneklerine yol açmıştır [13]. Bu yeni potansiyellerin endüstri 4.0 içinde dijitalleştirilmiş çözümler aracılığıyla kullanılması, değer zincirlerinde artan müşteri talepleri nedeniyle önem kazanmıştır [14], [15].

## **II. ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİ VE ÜRETİM SEKTÖRÜ**

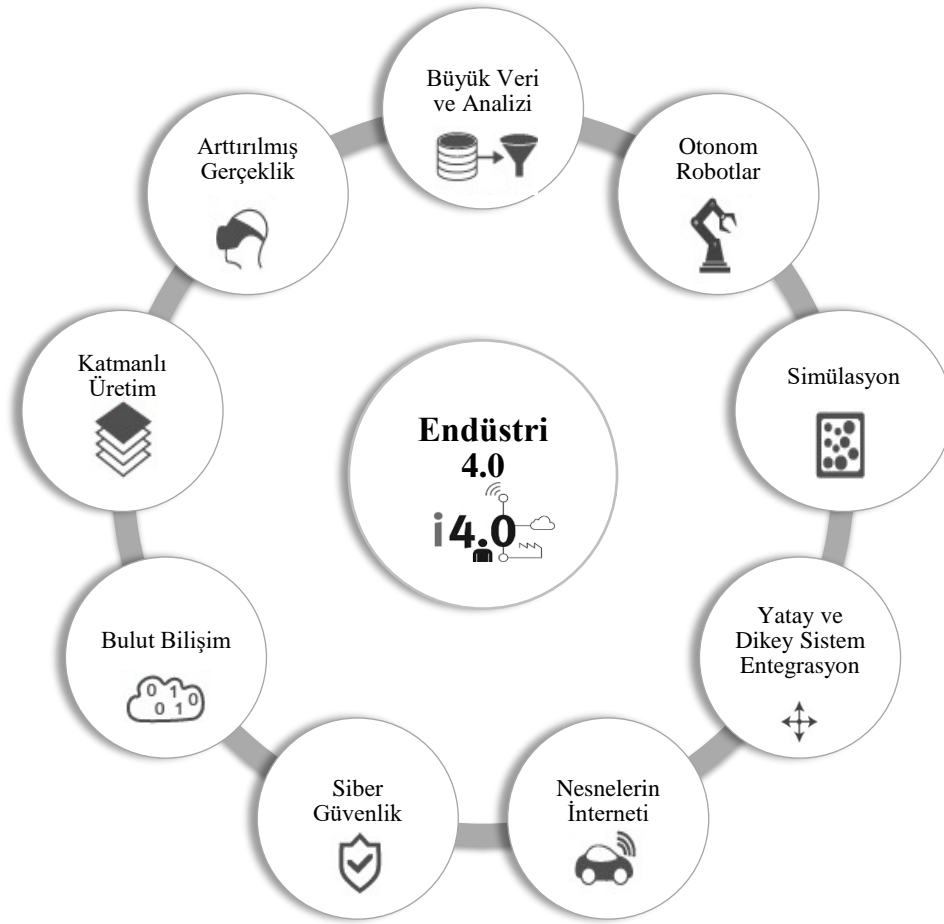
Dördüncü Sanayi Devrimi olarak adlandırılan endüstri 4.0; ilk olarak Almanya Federal Hükümeti tarafından 2011 yılında Hannover Fuarı'nda duyurulmuştur. Endüstri 4.0 teknolojileri ile fiziksel dünyanın bir kopyası sanal ortamda oluşturulmakta ve kararların makineler tarafından alınması sağlanmaktadır. Böylece verimlilik, üretkenlik, şeffaflık, sistemlerin izlenmesi, arıza tespit kolaylığı, maliyetlerin düşürülmesi ve esnekliğin artırılmasını sağlayan yeni hizmet ve iş modellerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir [16]. Endüstri 4.0; mevcut yazılım sistemleriyle birlikte, siber fiziksel sistemler ve nesnelerin internetine dayalı üretimin esnekliğini ve kişiselleştirilmesini sağlayarak, üretim sürecinin ve tedarik zincirinin sanallaştırılmasını beraberinde getirmektedir. Endüstri 4.0 sürecinde; siber fiziksel sistemler, üretim sürecini izleyebilmekte ve merkezi olmayan karar verme ve kendi kendini optimize etme işlemini gerçekleştirebilmektedir. Makine ile makine veya makine ile insan arasındaki gerçek zamanlı iletişim siber fiziksel sistemler ve nesnelerin interneti aracılığıyla gerçekleşmekte ve bilgi, iş birliği ağının tamamında paylaşılmaktadır. Hammaddeden ürün satışına kadar dijital takip cihazı, veri analizi, hata tahmini ve kendi kendine konfigürasyon için standart protokollere göre birbirine bağlanmıştır [17]–[19]. Endüstri 4.0 tamamen optimizasyonla ilgili olup, işletmelerin maliyetlerini en aza indirirken daha hızlı, daha akıllı kararlar almasını sağlamayı amaçlamaktadır. Endüstri 4.0, üretimin dijitalleştirilmesini sağlayarak esnekliği artırırken verimsizlikleri azaltmak ve maliyetleri düşürmek için siber ve fiziksel dünyaların bir araya gelmesini de zorunlu kılmaktadır. Nesnelerin Endüstriyel İnterneti (IoT) ile birbirinin yerine kullanılan endüstri 4.0; genellikle fabrika makine ve ekipmanlarında gömülü sensörler ve kablosuz bağlantı gibi teknolojileri kullanan "akıllı fabrika" konseptini de ifade etmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerine ilişkin teorik çerçeve Şekil 1'de yer almaktadır.



*Şekil 1. Endüstri 4.0 teknolojilerinin teorik çerçevesi*

Statista Araştırma Departmanının yaptığı bir araştırmaya göre; 2018 yılında 78,19 milyar ABD dolar küresel değeri olan endüstri 4.0'ın, 2026 yılına kadar %16.3 yıllık bileşik büyüme oranı ile 260,71 milyar ABD dolarına yükselmesi beklenmektedir [20]. Üretim sektöründe, endüstri 4.0 temelde; operasyonel verimliliği artırmak, talep tahminini iyileştirmek, çalışanlara güvenlik ve sanal eğitim için destek sağlamak ve daha fazlasını yapmak için kullanılmaktadır. Endüstri 4.0; derin analitik, atölye veri sensörleri, akıllı depolar, simülasyon değişiklikleri, ayrıca ürün ve varlık takibi için çözümler ile planlamadan teslimata kadar olan üretimi kapsamaktadır [21]. Üreticiler için endüstri 4.0 teknolojileri,

ayrı süreçler olan ve birçok eyleme dönüştürülebilir ve tüm organizasyon genelinde daha şeffaf, görünür bir görünüm arasındaki boşluğu kapatmaya yardımcı olmaktadır [2]. Bilişim teknolojileri ile üretim operasyonlarının kombinasyonundan meydana gelen Endüstri 4.0'ın kazanımları, üretimle sınırlı değildir. Lojistik sektöründen, finansal hizmetlere, sağlık hizmetlerinden eğitime kadar pek çok sektörde, ekonomik etki yaratmakta ve hızlı, kalıcı ve köklü değişimlere neden olmaktadır [17]. Endüstri 4.0; işletmelerin üretim esnekliğinin artırılmasında önemli bir yere sahip olmasının yanı sıra, üretim ve hizmet organizasyonlarının, pazarda oluşacak değişkenliklere hızlı bir şekilde adaptasyon sağlanma sürecinde de kritik bir araçtır [22]. İşletmelerin, üretim süreçlerini birbirine bağlamak için nesnelerin internetini, tesisleri izlemek için büyük veri sistematiğini ve karar verme süreçlerini desteklemek için yapay zeka teknolojilerini kullanması ile birlikte, dijital dönüşüm araçları, üretim süreçlerinde büyük değişimler yaratmıştır. Nihayetinde; bilgi ve iletişim teknolojilerinin kademeli bir şekilde birleştirilmesi ve bunların üretim süreci ile entegrasyonu, üretim operasyonlarını daha akıllı ve sürdürülebilir hale getirmiştir [10], [23]. Şekil 2'de Endüstri 4.0'ın önde gelen teknolojileri yer almaktadır.



*Şekil 2. Endüstri 4.0'ın başlıca teknolojileri [27]*

Mobil bilgi işlemden bulut bilişime kadar uzanan yeni endüstri 4.0 teknolojileri, son on yılda büyük gelişme kaydetmiş ve üretimde ticari olarak birbirine bağlı sistemler olarak kullanılmaya hazır hale gelmiştir. Endüstri 4.0, gerçek zamanlı çıktılara ve verilere ulaşmanın bir yolu olarak görülmektedir [17], [18]. Üretim endüstrisini, bilgi ve iletişim teknolojisi ile akıllı, veriye dayalı ve otomatik karar vermeyi bütünleştirmeye dayalı olarak dönüştüren dördüncü endüstriyel devrimi; teknolojik gelişmelerin getirdiği iş süreçlerinin, ürün merkezli kontrolünü ifade etmektedir [24]. Akıllı depo robotlarından katmanlı üretime, endüstriyel nesnelerin internetinden yapay zeka tabanlı yazılıma kadar uzanan teknolojilerin hızlı bir şekilde artışı, her zamankinden daha yaygın ve karmaşık hale gelmiştir. Tablo 1'de Endüstri 4.0'ın başlıca teknolojileri yer almaktadır.

*Tablo 1. Endüstri 4.0 teknolojileri [17], [18], [25]–[28]*

<b>Nesnelerin İnterneti (IoT)</b>	Üretim dünyasındaki verilerin, makinelerin ve insanların birbirine bağlanması ve iş birliğidir.
<b>Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi</b>	Yapay zeka ve makine öğrenimi, verileri işlemek ve insanlar tarafından programlanmamış sonuçlara ulaşmak için algoritmalarından yararlanan makineleri ifade eder. Bu makineler, giderek daha doğru tahminler üretmek için verilerden öğrenmektedirler.
<b>Simülasyon (Simulation)</b>	Bir simülasyon, dijital bir alan içindeki gerçek dünya nesnesinin, konseptinin veya alanının simülasyonunu yaratmanın arkasındaki teknolojidir. Bir tesisin tamamındaki tüm fiziksel varlıkların, operasyonel sistemlerin ve yapıların 3B temsilini içermektedir.
<b>Otonom Robotlar (Autonomous Robots)</b>	Otonom robotlar, bir insanın operatöre ihtiyaç duymadan görevlerini akıllıca yönetebilen kendi kendine yeten makinelerdir. Bakım haricinde çok az veya hiç kesinti gerektirmeden, karmaşık olsalar bile tekrar eden görevleri hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirirler.
<b>Katmanlı Üretim (Additive Manufacturing)</b>	Katmanlı üretim, öğeleri katman–katman oluşturmak, çıkarmak yerine yeni malzeme eklemek anlamına gelmektedir.
<b>Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)</b>	Artırılmış gerçeklik, gerçek dünyanın üzerine yerleştirilmiş, genellikle görsel olan ekstra duyuşal girdiyi içermektedir. Yaygın örnekler arasında; Google Glass ve Pokémon Go oyunu bulunmaktadır.
<b>Bulut Bilişim (Cloud Computing)</b>	Bulut, internetteki çok sayıda bağlı sistemi ifade eden belirsiz bir terimdir. Genellikle, işletmenin dışında bulunan bir sunucu anlamına gelir. "Bulut", yerel bir makine yerine internette bir yerde depolanan yazılım ve veriler için kullanılabilir.
<b>Siber Güvenlik (Cybersecurity)</b>	Siber güvenlik teknolojisi, dijital sistemleri dahili ve harici saldırı vektörlerinden koruyan bir yapıdır. Modern siber güvenlik, "blockchain" veya yapay zeka gibi teknolojileri içerir ve endüstriyel IoT cihazları gibi yeni teknolojileri koruyabilmektedir.
<b>Büyük Veri Ve Analizi (Big Data And Analytics)</b>	İşletmelerin geleneksel ve dijital kaynaklarından temin edilen büyük veri; endüstri 4.0'ın diğer teknolojilerinin çoğunun temelini oluşturur. Ne kadar çok veri kullanılırsa, etkinlik seviyesi o kadar yüksek olmaktadır.
<b>Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu (Horizontal And Vertical System Integration)</b>	Endüstri 4.0'ın omurgası olarak adlandırılan yatay ve dikey entegrasyonda; "görünürlük ve bağlantılı olma" sistemin temelini oluşturmaktadır. Makineler ve şirketler sürekli olarak iletişim kurmakta ve verileri paylaşmakta, herkes için daha derin analiz fırsatları, daha fazla şeffaflık ve daha fazla verimlilik elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Endüstri 4.0; üretim endüstrisini, bilgi ve iletişim teknolojisi ile akıllı, veriye dayalı ve otomatik karar vermeyi bütünleştirmeye dayalı olarak dönüştüren, dördüncü endüstriyel devrim olarak tanımlanmaktadır. Endüstri 4.0, teknolojik gelişmelerin getirdiği iş süreçlerinin ürün merkezli kontrolünü ifade etmektedir. Endüstri 4.0, ilk aşamadan son müşteriye kadar toplam ürün ve süreç yaşam döngüsünü analiz ve entegre etmekle ilgilidir [9]. Böylece tedarik zinciri boyunca herkes, üretim sistemleri ve personel ile doğrudan iletişim kurabilmektedir. Bu, tedarikçilerin ürünlerinin ve üretim operasyonlarının nasıl performans gösterdiğinin ve müşterilerin ihtiyaçlarının zaman içinde nasıl değiştiğinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Endüstri 4.0 perspektifindeki gerçekleştirilen önemli bir entegrasyon; üretim verimliliğinin artırılmasına yardımcı olan, tesis içindeki bileşenleri ve malzemeleri taşımak için robotik kullanımının artmasıdır. Bu kapsamda konfeksiyon sektöründe özellikle dikiş teknolojisi alanında, diğer birçok üretim endüstrisine kıyasla daha az otomatize edilmiş süreç mevcuttur [2], [22]. Endüstri 4.0, çevremizdeki dünyayla etkileşim şeklimizi değiştirmeye devam

ederken, yeni zorluklar ortaya çıkmaktadır. Endüstri 4.0'ın başlıca faydaları ve zorlukları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Endüstri 4.0'ın başlıca faydaları ve zorlukları

Ortaya çıkan endüstri 4.0 teknolojileri, üretim değer zincirini tamamen dönüştürebilir durumdadır. Artan üretim verimliliğinden yenilikçi ürün ve hizmet dağıtımına kadar dijitalleşmenin faydaları oldukça fazladır [29]. Endüstri 4.0'ın faydalarının yanında üstesinden gelinmesi gereken bazı zorluklar da vardır. Örneğin, siber güvenlik önemli bir endişe kaynağı olmaya devam etmekte olup, bu durum endüstri 4.0'ın ortaya çıkardığı en büyük zorluklardan biridir [29].

### **III. ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNİN KONFEKSİYON SEKTÖRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Endüstri 4.0'ın temel özelliklerinden biri, üretimde kritik süreçleri hızlandırma, genişletme ve temelden değiştirme yeteneğidir. Geleceğin fabrikaları, asgari insan müdahalesi gerektiren tamamen otomatik, kendi kendine hizmet veren ve kendi kendini onaran yapılar olarak düşünülmektedir. Tam entegre bir akıllı fabrika, web tabanlı IoT cihazlarından ve sensörlerinden gelen verilerin gerçek zamanlı olarak işlenmesi ve analizi sayesinde üretim işlemlerine son derece hassas bir perspektif sağlamaktadır [30]. Konfeksiyon ve hazır giyim sektöründeki teknolojik gelişmeler; özellikle tasarım, kalıp oluşturma ve kesimde bilgisayarlı ekipmanların kullanımı, 3D tarama teknolojisi, otomasyon ve robotik, giyilebilir teknoloji entegrasyonu ve gelişmiş malzeme taşıma sistemleri ekseninde gerçekleşmektedir [12]. Konfeksiyon sektörü için uygulamada önemli ölçüde devreye alınmış olan birçok gelişmiş dijital teknoloji vardır. Bunlardan bazıları:

- Yerleştirme ve tasarım için artırılmış gerçeklik ve bilgisayar görüşü,
- Termal görüntüleme,
- Atölye operasyonları için yapay zeka,
- Lojistik için makine öğrenimi,
- Kişiselleştirilmiş giysiler üretmek için 3D baskı ve örgü,
- Paketleme ve dağıtım için robotik

Yukarıda belirtilen teknolojiler; konfeksiyon endüstrisini müşteriler için kişiselleştirilmiş giyim ürünleri yaratma kabiliyetine sahip yapan gelişme ve yeniliklerden sadece birkaçıdır. Yakın gelecekte, akıllı fabrikaların artan sayısı ve verimliliği, özelleştirilmiş giysi sipariş etmeyi kolay ve yaygın hale getirecektir. Genel anlamda, endüstri 4.0'ın getirdiği üretim yeniliklerinin, şirketlerin mevcut sistemlerini optimize etmelerine ve daha verimli süreçler oluşturmak için büyümelerine olanak sağladığı görülmüştür. Yapay zeka, makine öğrenimi, otomasyon, IoT, 3D baskı, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, enerji depolama ve üretim, kuantum hesaplama ve robotik gibi devrim niteliğindeki teknolojiler arasındaki etkileşimler, kurumsal değer zincirinin doğasını değiştirmektedir. Üretim sektörü için, özellikle giyim, moda ve ayakkabı gibi kitlesel üretilen mallar için endüstri 4.0 hareketi, yapımda bir devrimdir niteliği taşımaktadır [19]. Endüstri 4.0'ın konfeksiyon sektöründe donanım ve yazılım trendlerine entegre olabilmesi için işletmelerin bir yol haritası oluşturması gerekmektedir. Hangi temellerin kurulduğunu ve bu temellerin nasıl ilerletildiğini belirleyip, mevcut sistemlerde yeni yazılım ve cihaz biçimleri kullanılmaya başlanmalıdır. Bir konfeksiyon işletmesi aşağıdaki adımları izleyerek sistemlerini organize edebilmektedirler (Şekil 4).



*Şekil 4. Konfeksiyon işletmelerinin Endüstri 4.0 sürecinde izlemesi gereken adımlar*

Mevcut bilişim teknolojilerini iyileştirme ile bilişim teknolojileri konusunda yazılım ve donanım sorunlarıyla ayrı ayrı ilgilenmek yerine, işletmedeki mevcut sistemlerin iyileştirilmesi sağlanarak uzun süreli kalıcı çözümler geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çerçevede; işletmedeki tüm verilerin bulut sistemlerinde depolanması sağlanmalıdır. Böylece, bulut sisteminin endüstri 4.0 araçlarıyla daha faydalı hale getirilmesi mümkün olacaktır. Nesnelerin interneti ağının işletmede uygulanması konusunda; konfeksiyon işletmelerinde; teknik personele gelişmiş programlama becerileri kazandırılmalıdır. Bu sebeple alan bilgisine sahip programcılarla iş birliği yapılarak, gerekli hazırlıkların uzman bir ekiple önceden hazırlanması gerekmektedir. Uygulama için yeterli zamanın tanınması noktasında: hızlı gibi görünen değişikliklerin bir anda gerçekleşemeyeceği unutulmamalıdır. Değişimlere zaman tanınmalı ve kısa bir süre içinde insan gücüyle çalışan bir sistemden çoğunlukla bilgisayar tarafından çalıştırılan bir sisteme geçişi uygun ve planlanmış bir zaman planı yapılmalıdır. Mevcut sistemlerin entegre edilme sürecinde: konfeksiyon işletmesinin halihazırda sahip olduğu insan, makine, teknoloji vb. gibi yetkinlikler değerlendirilip, yeni geliştirilen sisteme entegre edilmesi gerekir.

## **IV. KONFEKSİYON İŞLETMELERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 PERSPEKTİFİNDE AKILLI ÜRETİM SİSTEMLERİ**

Konfeksiyon sektörü, dikiş makinesinin icadından e-ticaretin yükselişine kadar her zaman yenilikçi süreçlerin ve yeni iş modellerinin uygulanması konusunda öncelikli bir alan olmuştur. Teknoloji gibi konfeksiyon sektörü de ileriye dönük ve döngüsel [31]. Global ekonomideki en büyük endüstrilerden biri olan konfeksiyon sektörünün geleceği; tasarımdan satın almaya kadar, mevcut ve gelişen teknolojilerin, konfeksiyon sektörünü nasıl yeniden şekillendirdiğiyle ilgilidir. Günümüzde, konfeksiyon teknolojisi, her zamankinden daha hızlı büyümektedir [6]. Konfeksiyon endüstrisi, büyük değişikliklerle karşı karşıyadır. Kumaş diken ve kesen robotlardan stil trendlerini tahmin eden yapay zeka algoritmalarına, giyinme odalarındaki VR aynalarına kadar, modayı her yönüyle otomatikleştiren, kişiselleştiren ve hızlandıran bir teknoloji öngörülmektedir. Üretim otomasyonu ve ürün teknolojisi yeniliği ile birleştirilen büyük veri, üretimi daha hassas, daha yerel ve sürdürülebilir hale getirme potansiyeline sahiptir. Olası faydalar, daha kısa nakliye süreleri ve daha düşük stokların bir sonucu olarak daha yüksek hız, daha hızlı teslimat süreleri ve şu anda olduğundan daha düşük maliyeti içerir

[19].Tüm sektörlerde olduğu gibi teknoloji; veri analitiği, yapay zeka, sanal teknoloji ve benzeri kullanımıyla işletmelerin çalışma biçiminde devrim yaratmaktadır. Bu teknolojilerin ışığında, perakende sektörü de büyümekte ve perakendecilerin yeni ortama uyum sağlamaları, konfeksiyon endüstrisinin dönüm noktası haline gelmektedir [32].

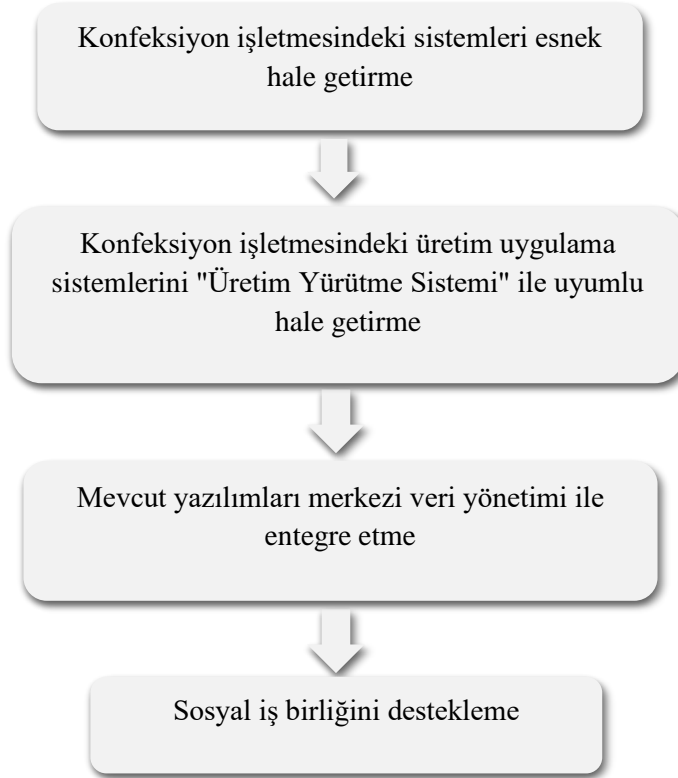
Gelişmiş bilgi ve üretim teknolojilerinden en üst seviyede yararlanarak, üretim ve ürün işlemlerini optimize etmeyi amaçlayan akıllı üretim teknolojisi; bilgisayarla entegre üretim, yüksek düzeyde uyarlanabilirlik ve hızlı tasarım değişiklikleri, dijital bilgi teknolojisi ve daha esnek teknik işgücü eğitimi kullanan geniş bir üretim kategorisidir [33]. Bu konseptin gerçekleştirilmesinin bir yolu da, geleneksel üretim sistemini akıllı hale getirmek için yeni modeller, yeni formlar ve yeni metodolojiler benimseyerek, yeni nesil üretim sistemi olarak adlandırılan akıllı üretim sisteminin devreye alınmasıdır. Bu sayede müşteri memnuniyeti, üretim hızı ve ürün kalite süreçlerinde önemli iyileşmeler beklenmektedir [34]. İnsan ve makine iş birliği yüksek olan entegrasyonlar, organizasyonel, yönetsel ve teknik seviyelerin sorunsuz bir şekilde birleştirilebilmesi için akıllı üretim sistemlerine dahil olan çeşitli üretim unsurlarından oluşan bir ekosistem kurmayı amaçlamaktadır [25]. Endüstri 4.0 tüm dünyada ve ülkeler özelinde benimsedikçe, akıllı fabrikalar, yapay zeka, akıllı öğrenme analizi ve akıllı karar verme gibi süreçlerin hız kazanacağı düşünülmektedir [35]. Endüstri 4.0; manuel işlemlerde dijital teknolojilerin yaygın kullanımı sayesinde akıllı fabrikayı gerçeğe dönüştürmüştür.

Günümüzde az sayıda şirket, endüstri 4.0'ı gerçeğe dönüştürmek için çeşitli ölçeklerde yeni konfeksiyon üretim sistemlerini denemektedir. Örneğin Boston merkezli bir giyim şirketi kişiselleştirilmiş blazer ceketler, gömlekler, elbiseler ve kazaklar oluşturmak için termal görüntüleme, 3B baskı ve 3B örgü teknolojilerini kullanmaktadır. Bu öğeler, bir müşterinin vücut ısısı mekaniğine göre özelleştirilmekte ve üretim sırasında sıfır atık malzeme üretilmektedir [23]. Yakın gelecekte, e-ticaret ağırlıklı faaliyet gösteren bir işletmenin, tam otomatik akıllı giyim fabrikasının kişiselleştirilmiş siparişleri tek tıkla alışveriş kadar kolay bir şekilde işlemesi beklenmektedir. Böyle bir sistem, tasarım ve montaj için artırılmış gerçeklik ve bilgisayar vizyonu, üretim için 3B baskı, atölye operasyonları için bilgisayarla görme ve yapay zeka, lojistik için makine öğrenimi, paketlenme ve dağıtım için çeşitli modern teknolojilerden yararlanmaktadır. Akıllı fabrikalar yaygınlaştığında, müşteriler doğum günü pastası sipariş ettikleri kadar hızlı bir şekilde, giyim ürünleri satın alabilecektir [33]. [33]. Akıllı üretim sistemleri yaklaşımı, her şirket düzeyinde aşağıdaki şekilde özetlenen geniş kapsamlı iyileştirmeler öngörülmektedir [30], [33].

- Seri üretim maliyetlerine göre parça üretimi gerçekleştiren şirketler, müşterinin gereksinimlerine göre yüksek teknoloji kişiselleştirilmiş parçalar üretebilecektir.
- Üretim süreçleri daha kısa sürede gerçekleşebilecek ve uzaktan kontrol edilebilecek bir aşamaya gelecektir.
- Robotlar ve akıllı sistemler, üretim süreçlerinin tüm aşamalarına dahil olabilecek ve üretim süreçlerini daha verimli bir hale getirebileceklerdir.
- Üretim süreçlerinin dünyanın her yerinden izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi başarısı sayesinde, çalışanların kişisel durumuna göre işler daha esnek şekilde uyarlanabilecektir.
- Üretim yapan şirketler, ağ teknolojisini tüm üretim süreçlerinde ve tedarikçileriyle olan ilişkilerinde kullanabileceklerdir.
- Akıllı fabrikalar ve akıllı sistemler sayesinde sürdürülebilir bir gelecek çok daha mümkün hale gelecektir.

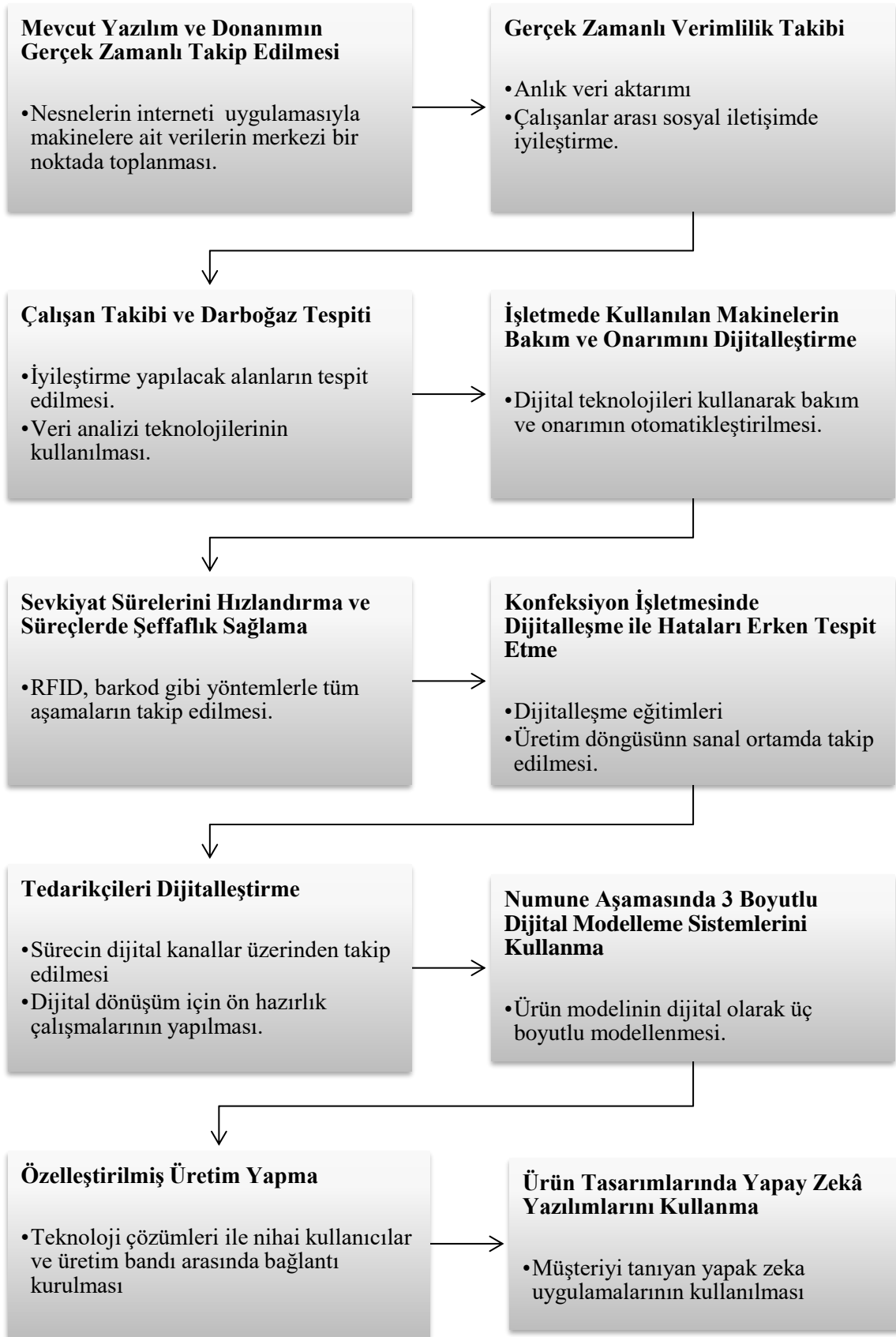
Öncelikle konfeksiyon işletmelerinin mevcut sistemlerinin, kullanılan endüstri 4.0 yazılımları, donanımları ve uygulamaları ile uyumlu hale getirilmesine ilişkin izlenmesi gereken aşamalar Şekil 5'te verilmiştir:





*Şekil 5. Konfeksiyon Sektörünün Endüstri 4.0 için Hazırlık Aşamaları*

Endüstri 4.0; akıllı ürünlere, prosedürlere ve süreçlere odaklanmaktadır. Bu nedenle endüstri 4.0'ın önemli bir unsuru akıllı fabrikalardır. Akıllı fabrika, hızlı büyüyen karmaşıklığı kontrol ederken, aynı zamanda üretim verimliliğini de arttırmaktadır. Akıllı fabrikada insan, makine ve kaynaklar arasında doğrudan iletişim vardır. Akıllı ürünler, üretim süreçlerini ve bir sonraki adımdaki uygulamalarını öngörebilmektedir. Bu bilgi ile, ne zaman yapıldığı, hangi parametrelerin verileceği, nereye teslim edileceği gibi, üretim sürecini ve dokümantasyonunu aktif olarak destekleme yetkinliğine sahiptirler [9]. Şekil 6'da konfeksiyon işletmelerinde kullanılabilecek endüstri 4.0 bağlamında akıllı üretim sistemi model önerisi verilmiştir.



*Şekil 6. Konfeksiyon İşletmelerinde Endüstri 4.0 Bağlamında Akıllı Üretim Sistemi Model Önerisi*

Konfeksiyon işletmelerinde Şekil 2 ve Tablo 1’de verilen endüstri 4.0 bileşenleri göz önünde bulundurularak bu bağlamda geliştirilen akıllı üretim sistemi modeli on aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar aşağıda açıklanmıştır:

**Mevcut Yazılım ve Donanımın Gerçek Zamanlı Takip Edilmesi:** Nesnelerin interneti uygulamasıyla makinelerle ait verilerin merkezi bir noktada toplanması ile; konfeksiyon işletmelerinde üretimde hız ve verimlilik artışı sağlanır. Nesnelerin interneti sistemi ile elde edilen veriler, bilişim teknolojileri sayesinde, tablet, dizüstü bilgisayar ve çeşitli teknolojik araçlara grafikler şeklinde aktarılabilir.

**Gerçek Zamanlı Verimlilik Takibi:** Anlık veri aktarımına olanak sağlar. Üretim sahasından anlık verilerin aktarımı sayesinde, yöneticilerin karar alıp uygulamaları hız kazanır.

**Çalışan Takibi ve Darboğaz Tespiti:** İyileştirme yapılacak alanların tespit edilmesi hız kazanır. Stok biriken alanlar, kontrol altına alınır. İşin aksamasına sebep olacak etkenlere önceden önlem alınmış olur. İşletmede Kullanılan Makinelerin Bakım ve Onarımını Dijitalleştirme: Dijital teknolojileri kullanarak bakım ve onarımın otomatikleştirilmesi amaçlanmaktadır. Dijitalleşme sayesinde makine duruş süresi azaltılır ve makineden elde edilen verim artar.

**Sevkiyat Sürelerini Hızlandırma ve Süreçlerde Şeffaflık Sağlama:** Barkod ve RFID gibi yöntemlerle tüm aşamaların takip edilmesi sağlanır. Tedarik zincirinin aşamalarında harcanacak zaman belirlenerek sürelerin azaltılması için çalışmalar yapılır.

**Konfeksiyon İşletmesinde Dijitalleşme ile Hataları Erken Tespit Etme:** Üretim döngüsü sanal ortamda takip edilerek hataların erken tespit edilmesi sağlanır. Dijital ikaz sistemi geliştirilir.

**Tedarikçileri Dijitalleştirme:** Sürecin dijital kanallar üzerinden takip edilmesi ile tedarikçiler dijital ortamdaki takip edilir.

**Numune Aşamasında 3 Boyutlu Dijital Modelleme Sistemlerini Kullanma:** Ürün modelinin dijital olarak üç boyutlu olarak modellenmesi ile numune aşaması hızlanır ve üretime geçiş süreci ivme kazanır.

**Özelleştirilmiş Üretim Yapma:** Teknoloji çözümleri ile nihai kullanıcılar ve üretim bandı arasında bağlantı kurularak özelleştirilmiş üretim yapmaya imkan tanır.

**Ürün Tasarımlarında Yapay Zekâ Yazılımlarını Kullanma:** Müşteriyi tanıyan yapay zeka uygulamalarının kullanılması hazır giyim alanında faaliyet gösteren üreticilerin veri toplama alt yapılarını güçlendirerek geleceğe hazırlık yapmaları sağlanır.

## **V. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER**

Üretim sektöründe, özellikle giyim, moda ve ayakkabı gibi kitlesel üretim yapan işletmeler için endüstri 4.0, bir devrim niteliğindedir. Genel anlamda, endüstri 4.0'ın getirdiği üretim yeniliklerinin, şirketlerin mevcut sistemlerini optimize etmelerine ve daha verimli süreçler oluşturmak için büyümelerine olanak sağladığı görülmüştür. Giderek daha fazla sayıda üretim makinesi ve bileşenin, sensörler ve otomasyon özellikleriyle entegre edilmesi ve konfeksiyon sektöründe tamamen hayata geçirilmiş akıllı fabrika sistemlerinin daha yaygın hale gelmesi kaçınılmazdır. Endüstri 4.0'ı destekleyen sistemler, her geçen gün daha akıllı, daha ucuz ve daha hızlı hale gelmekte ve konfeksiyon üretimini her zamankinden daha yüksek bir verimlilik, üretkenlik ve rekabet gücüne yükseltmeye hazırlanmaktadır. İlk aşamadan son müşteriye kadar, toplam ürün ve süreç yaşam döngüsünün analiz edilmesi ve entegre edilmesi ile ilgili olan endüstri 4.0 sürecinde; tedarik zinciri boyunca, üretim sistemleri ve personel ile doğrudan iletişim kurulabilmektedir. Bu çerçevede endüstri 4.0 çok daha etkili, verimli olabilme ve müşteri ihtiyaçlarına ve bütçelerine uygun bir ürünü hızla tedarik edebilme yeterliliğine sahiptir. Dahası, hızla değişen dünyamızda; müşteri talebinin doğru bir şekilde tahmin edebilmesi ve karşılanabilmesi mümkün olabilmektedir. Endüstri 4.0 olanakları sınırsızdır. Son yıllarda, daha fazla sayıda üretim makinesi ve bileşeni, sensörler ve otomasyon özellikleriyle entegre hale geldikçe, konfeksiyon dünyasında tamamen hayata geçirilmiş akıllı fabrika sistemlerine her geçen gün daha da yaklaşılmaktadır. Böylelikle

şirketlerin, daha kısa bir termin süresi ve daha yüksek kalitede ve daha kişiselleştirilmiş ürünler üretmenin zorluklarıyla başa çıkması mümkün olabilmektedir. Konfeksiyon üreticileri, diğer birçok üretim sektöründe olduğu gibi; günlük operasyonlarda daha fazla mobiliteye ihtiyaç duymaktadır ve bu durum mevcut yazılıma kullanıcı dostu erişimi, telefon ve tablet gibi cihazlar da dahil olmak üzere teknolojik iletişim araçlarına sahip olunmasını gerekli hale getirmektedir. Dördüncü sanayi devrimi kavramı düşünüldüğünde ortaya çıkabilecek sorulardan biri, Türkiye'nin bu kavramı benimsemiş yeteneğine sahip olup olmadığıdır.

Hazır giyim ve konfeksiyon sektöründe akıllı konfeksiyon fabrikası önerisinin yapıldığı çalışma [36] incelendiğinde küresel rekabet ortamında sürekliliği sağlamak için endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojileri en kısa sürede benimsemenin oldukça önemli bir rol oynadığı görülmekte ve benzer şekilde yapılan bu çalışmada da önerilen modelin bu doğrultuda bir öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Akıllı üretim, akıllı ürünler, akıllı tedarik zinciri ve akıllı çalışma bağlamında; nesnelerin interneti, bulut hizmetleri, büyük veri ve analitik teknolojilerinin uygulanmasını incelemek için 92 imalat şirketinde anket çalışması gerçekleştirilen çalışmada [3] endüstri 4.0'ın akıllı üretimde merkezi bir rol oynadığı ve teknolojilerin sistemli bir şekilde benimsenmesiyle ilgili olduğunu göstermektedir. Akıllı üretimi mümkün kılmak için kullanılan IoT, siber-fiziksel sistemler (CPSs), bulut bilişim, büyük veri analitiği (BDA) ve bilgi ve iletişim teknolojisi (ICT) gibi temel teknolojilerin ele alındığı ve farklı ülkelerden hükümetlerin stratejik planları ve Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Çin'deki büyük uluslararası şirketlerin stratejik planları dahil olmak üzere akıllı üretimdeki dünya çapındaki gelişmelerin incelendiği çalışma da [37] endüstri 4.0 ve bileşenlerinin akıllı üretim ve akıllı fabrikalardaki etkisini destekler niteliktedir.

Türkiye, endüstri 4.0 devriminin ana unsurlarından biri olan akıllı fabrika konseptiyle teknolojik bir standardizasyon sürecine doğru ilerlemektedir. Bu sebeple çeşitli sektörlerde “endüstri 4.0” ile ilgili ön hazırlık çalışmalarının yapılması önerilmektedir. Yapılan çalışmada; konfeksiyon işletmelerinde endüstri 4.0 entegrasyonu süreci irdelenmiş ve bu bağlamında geliştirilen akıllı üretim sistemi model önerisi sunulmuştur. Bu kapsamda, yapılan literatür taramasının ve sunulan model önerisinin, yenilikçi yaklaşımların uygulanabilirliği açısından giyim ve konfeksiyon üreticileri, araştırmacıları ve uygulayıcıları için yol gösterici olduğu düşünülmektedir. İleride yapılacak çalışmalar için, konfeksiyon 4.0 çerçevesinde; maliyet-fayda analizinin ve konfeksiyon 4.0'da gerekli yeniliklerin belirlenmesi için pilot çalışmaların yapılması önerilmektedir. Bu çalışma konfeksiyon işletmelerine odaklanmış bir araştırmadır. Gelecek araştırmaların başka sektörlerle de odaklanması hem ülke hem bölge hem de sektörler özelinde önemli katkılar sağlayabilir.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] M. Dastbaz and P. Cochrane, Eds., *Industry 4.0 and Engineering for a Sustainable Future*, Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019, pp. 13–65.
- [2] S. S. Muthu, eds., *Circular Economy in Textiles And Apparel: Processing, Manufacturing, and Design*. Duxford, UK: Cambridge, Ma: Woodhead Publishing, an Imprint of Elsevier, 2019, pp. 207–217.
- [3] A. G. Frank, L. S. Dalenogare, and N. F. Ayala, “Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 210, pp. 15–26, 2019.
- [4] World Trade Organization. (2021, March 13). *World trade statistical review 2020* [Online]. Available: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2020\\_e/wts2020\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2020_e/wts2020_e.pdf).
- [5] İ. İlhan, “Tekstil üretim süreçleri açısından endüstri 4.0 kavramı,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 25, s. 7, ss. 810–823, 2018.

- [6] T.-M. J. Choi, *Information Systems for The Fashion and Apparel Industry*, 1st ed., Duxford, UK: Elsevier Ltd., 2016, pp. 199–217.
- [7] S. Ahmad, S. Miskon, R. Alabdan, and I. Tlili, “Towards sustainable textile and apparel industry: Exploring the role of business intelligence systems in the era of industry 4.0,” *Sustainability*, vol. 12, no. 7, pp. 2632, Mar. 2020.
- [8] J. Bellemare, “Fashion apparel industry 4.0 and smart mass customization approach for clothing product design,” in *Customization 4.0*, S. Hankammer, K. Nielsen, F. T. Piller, G. Schuh and N. Wang, Ed., Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 619–633.
- [9] G. Büchi, M. Cugno, and R. Castagnoli, “Smart factory performance and industry 4.0,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 150, no. 119790, 2020.
- [10] M. Ghobakhloo, “Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability,” *J. Clean. Prod.*, vol. 252, no. 119869, 2020.
- [11] S. Gürsev, “Generating an assessment model for industry 4.0,” Doktora tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [12] R. Nayak and R. Padhye, “Introduction: the apparel industry,” in *Garment Manufacturing Technology*, 1st ed., Cambridge, UK: Elsevier, Woodhead Publishing, 2015, pp. 1–17.
- [13] B. Hinings, T. Gegenhuber, and R. Greenwood, “Digital innovation and transformation: An institutional perspective,” *Inf. Organ.*, vol. 28, no. 1, pp. 52–61, 2018.
- [14] A. Petrillo, F. D. Felice, R. Cioffi, and F. Zomparelli, “Fourth industrial revolution: Current practices, challenges, and opportunities,” in *Digital Transformation in Smart Manufacturing*, A. Petrillo, R. Cioffi, and F. D. Felice, Ed., Rejeka, Croatia: Intech, 2018.
- [15] M. W. Rundassa, D. K. Azene, and E. Berhan, “Comparative advantage of ethiopian textile and apparel industry,” *Res. J. Text. Appar.*, vol. 23, no. 3, pp. 244–256, 2019.
- [16] E. G. Popkova, Y. V. Ragulina, and A. V. Bogoviz, Ed., *Industry 4.0: Industrial Revolution of The 21st Century*, vol. 169. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019.
- [17] H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, “Industry 4.0,” *Bus. Inf. Syst. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, 2014.
- [18] C. Machado and J. P. Davim, Ed., *Industry 4.0: Challenges, Trends, And Solutions In Management and Engineering*, Boca Raton, FL: Crc Press/Taylor & Francis Group, 2020.
- [19] A. Majumdar, H. Garg, and R. Jain, “Managing the barriers of industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework,” *Comput. Ind.*, no. 103372, 2020.
- [20] Statista. (2021, March 13). *Global Size of The Smart Factory Market in 2019 and 2024* [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/872289/worldwide-smart-factory-market-size>.
- [21] D. N. Koleva, “Industry 4.0’s opportunities and challenges for production engineering and management,” vol. 1, no. 2, pp. 17–18, 2018.
- [22] A. Khan and K. Turowski, “A perspective on industry 4.0: From challenges to opportunities in production systems,” in *Proceedings of The International Conference On Internet Of Things And Big Data*, Rome, Italy, 2016, pp. 441–448.

- [23] M. Ghobakhloo, "The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward industry 4.0," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 29, no. 6, pp. 910–936, 2018.
- [24] A. Ghadge, M. Er Kara, H. Moradlou, and M. Goswami, "The impact of industry 4.0 implementation on supply chains," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 31, no 4, pp. 669–686, 2020.
- [25] Y. Cheng, K. Chen, H. Sun, Y. Zhang, and F. Tao, "Data and knowledge mining with big data towards smart production," *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 9, pp. 1–13, 2018.
- [26] G. R. Kanagachidambaresan, R. Anand, E. Balasubramanian, and V. Mahima, Ed., *Internet Of Things For Industry 4.0: Design, Challenges And Solutions*, Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2020.
- [27] J. Lee, H. Davari, J. Singh, and V. Pandhare, "Industrial artificial intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems," *Manuf. Lett.*, vol. 18, pp. 20–23, 2018.
- [28] L. Zhe, D. Tao, and T. Huan, "Research on garment mass customization architecture for intelligent manufacturing cloud," *E3s Web Conf.*, vol. 179, no. 02125, 2020.
- [29] M. Sony, "Pros and cons of implementing industry 4.0 for the organizations: A review and synthesis of evidence," *Prod. Manuf. Res.*, vol. 8, no 1, pp. 244–272, 2020.
- [30] M. W. Waibel, L. P. Steenkamp, N. Moloko, and G. A. Oosthuizen, "Investigating the effects of smart production systems on sustainability elements," *Procedia Manuf.*, vol. 8, pp. 731–737, 2017.
- [31] A. Z. Piprani, N. I. Jaafar, and S. Mohezar Ali, "Prioritizing resilient capability factors of dealing with supply chain disruptions: An analytical hierarchy process (ahp) application in the textile industry," *Benchmarking Int. J.*, vol. 27, no. 9, pp. 2537–2563, 2020.
- [32] K. P. Subramaniya, C. Ajay Guru Dev, and V. S. Senthilkumar, "Critical success factors: A topsis approach to increase agility level in a textile industry," in *Materials Today: Proceedings*, 2017, vol. 4, pp. 1510–1517.
- [33] M. M. Queiroz, S. Fosso Wamba, M. C. Machado, and R. Telles, "Smart production systems drivers for business process management improvement: An integrative framework," *Bus. Process Manag. J.*, vol. 26, no. 5, pp. 1075–1092, 2020.
- [34] Y. Zhang, Z. Guo, J. Lv, and Y. Liu, "A Framework for smart production-logistics systems based on cps and industrial iot," *Ieee Trans. Ind. Inform.*, vol. 14, no. 9, pp. 4019–4032, 2018.
- [35] C. Zhuang, J. Liu, and H. Xiong, "Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 96, no. 1–4, pp. 1149–1163, 2018.
- [36] E. Gökalp, M. O. Gökalp, ve P. E. Eren, "Hazır giyim ve konfeksiyon sektöründe endüstri 4.0 devrimi: Akıllı konfeksiyon fabrikası önerisi," *Ajit-E Bilişim Teknol. Online Derg.*, c. 10, s. 37, ss. 73–96, 2019.
- [37] R. Y. Zhong, X. Xu, E. Klotz, and S. T. Newman, "Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review," *Engineering*, vol. 3, no. 5, pp. 616–630, 2017.