

HAZIR GİYİM VE KONFEKSİYON SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 DEVRİMİ: AKILLI KONFEKSİYON FABRİKASI

Ebru GÖKALP Başkent Üniversitesi, İ.İ.B.F., Teknoloji ve Bilgi Yönetimi Bölümü. ebru@baskent.edu.tr

Mert Onuralp GÖKALP O.D.T.Ü., Enformatik Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Bölümü. gmert@metu.edu.tr

P. Erhan EREN O.D.T.Ü., Enformatik Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Bölümü. ereren@metu.edu.tr

ÖZET

Son teknolojik yeniliklerle birlikte, Endüstri 4.0 olarak adlandırılan endüstriyel devrim ışığında akıllı fabrika vizyonunun gerçekleştirilmesine imkan sağlanmıştır. Endüstri 4.0, ülkemizin lokomotif sektörü olarak adlandırılan ve emek yoğun bir sektör olan hazır giyim ve konfeksiyon sektöründeki tüm üretim süreçlerini ve iş modellerini değiştirmek için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle, çetin küresel rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için hazır giyim ve konfeksiyon endüstrisinin sıradan üretim tesislerinden akıllı fabrikalara geçişleri başlatılarak, Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmasına ihtiyaç vardır. Ancak, nispeten yeni olan bu teknolojilerin hazır giyim ve konfeksiyon endüstrisini nasıl etkileyebileceğine dair literatürdeki çalışmaların sınırlı sayıda ve yeterli kapsamda olmadığı tespit edilmiştir. Bu eksikliği gidermek amacı ile hazırlanan bu çalışmada, öncelikle mevcut sistem analizi yapılarak, konfeksiyon fabrikalarında şu anda yürütülen sistem incelenmiş olup, ardından Endüstri 4.0 ve akıllı fabrika vizyonu doğrultusunda yeni bir üretim sistemi olarak akıllı konfeksiyon fabrikası önerilmiştir. Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası'nın teknolojik bileşenlerine yer verildikten sonra, bu teknolojik altyapıyı temel alarak geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar bütüncül bir şekilde sunulmuştur. Ayrıca, önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikasının fayda ve zorlukları analiz edilmiş olup, mevcut durumdan akıllı konfeksiyon fabrikasına geçiş için önerilen aşamalı uygulama planına yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital Dönüşüm, Endüstri 4.0, Akıllı Fabrika, Hazır Giyim ve Konfeksiyon

INDUSTRY 4.0 REVOLUTION IN THE APPAREL SECTOR: SMART APPAREL FACTORY

ABSTRACT

Together with the latest technological innovations, the vision of the smart factory has been enabled in the light of the last industrial revolution called Industry 4.0. Industry 4.0 has an important potential to change all production processes and business models in the fashion and apparel sector, which is a labor-intensive sector called the locomotive sector of our country. Therefore, in order to survive in a challenging global competitive environment, the transition of the fashion and apparel industry from ordinary production facilities to smart factories is required to invest in Industry 4.0 technologies. However, it has been determined that the studies in the literature on how these relatively new technologies can affect the apparel industry are limited and not adequately covered. In this study, which was prepared in order to address this gap, firstly the current system analysis was carried in the production system of an ordinary garment factory. Then, a smart apparel factory was proposed as a new production system in line with the vision of Industry 4.0. After introducing the technological components of the proposed Smart Apparel Factory, innovative approaches developed based on these technological components are presented in a holistic way. Then, the benefits and challenges of the proposed Smart Apparel Factory were analyzed and the proposed progressive implementation plan for transition from the current situation to the smart apparel factory was given.

Keywords: *Digital Transformation, Industry 4.0, Smart Factory, Clothing and Apparel*

Giriş

Gelişmiş ülkelerin birçoğunun sanayileşme hareketinin başlangıcı incelendiğinde, temel sektörün tekstil sektörü olduğu görülmektedir. Tekstil sektörünün en önemli alt dallarından biri olan hazır giyim ve konfeksiyon sektörü, kumaş ve malzemeler kullanarak nihai ürün olan erkek, kadın ve çocuk giyimi, örme iç ve dış giyim ile çorap elde edilmesini kapsar. Bu sektör, son yıllarda kaydettiği büyük ilerleme ile Türkiye ekonomisine büyük katkıda bulunmuştur. 2017 yılının sektör bazında ihracat rakamlarına bakıldığında, 17 milyar dolar ihracat ile Türkiye'nin toplam ihracatının %11'sini gerçekleştirerek, otomotiv sektöründen sonra en büyük paya sahip ikinci sektör olduğu görülmektedir (TEA, 2018). Türkiye, dünya hazır giyim ihracatı sıralamasında beşinci sıradadır. 1950'lerden beri, istihdam açısından Türkiye'nin lokomotif sektörü olan hazır giyim ve konfeksiyon sektöründe faaliyet gösteren firmaların sayısı 35.000 civarında olup, bu firmalarda kayıtlı yaklaşık 500.000 kişi istihdam edilmektedir.

2005 yılında Çin'e uygulanan kotaların kaldırılması ile birlikte, hazır giyim ve konfeksiyon sektörü küresel pazarda, özellikle Çin firmaları ile rekabet etmekte zorluk yaşamaktadır. Bu çetin küresel rekabet ortamında ayakta kalabilmek için, konfeksiyon üreticilerinin şu amaçlar doğrultusunda daha çok çalışma yapma ihtiyacı doğmuştur:

- Piyasadaki değişiklikleri karşılamak için daha esnek bir üretim sistemine sahip olmak;
- Artan müşteri beklentisini karşılamak için müşterilere mümkün olduğunca erken tarihte siparişlerini teslim etmek;
- İşgücünü daha etkin bir şekilde kullanmak ve yüksek verimlilik seviyelerine erişmek;
- Tüm kaynakları etkin bir şekilde kullanmak.

Hızla küreselleşen ve büyük teknolojik gelişmelerin olduğu günümüzün iş dünyasında, hazır giyim ve konfeksiyon üreticilerinin rekabetçi olarak kalabilmeleri için en güncel bilgi teknolojileri uygulamalarına yatırım yapmaları gerekmektedir (Steven, 2000). Çalışanların verimliliği arttırmak ve maliyetleri azaltmak için iyi bir strateji olan bilgi teknolojileri yatırımının, rekabet edebilirlik ve sürdürülebilir iyileşme için zorunlu olduğu görülmüştür (Grant, 1996; Sveiby, 2001).

Mekanik, elektrik, dijital devrim gibi üç endüstri devriminin geride kalmasının ardından, günümüzde dünya artık Siber-Fiziksel Sistemler (CPS), Nesnelerin İnterneti (IoT), Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT), ve akıllı fabrikalar kavramlarını bir araya getiren 4. sanayi devrimine tanık olmaktadır (Srivastava, 2016). Almanya'da "Endüstri 4.0", Amerika'da ise "Endüstriyel Nesnelerin İnterneti" olarak gündeme gelen son sanayi devrimi ile oluşan küresel akıllı fabrika pazarının 2020 yılında 67 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir. Şu anda dünya, Bilgi ve İletişim Teknolojileri (ICT) tarafından yönlendirilen üçüncü endüstri devriminden, dördüncü endüstri devrimine geçiş

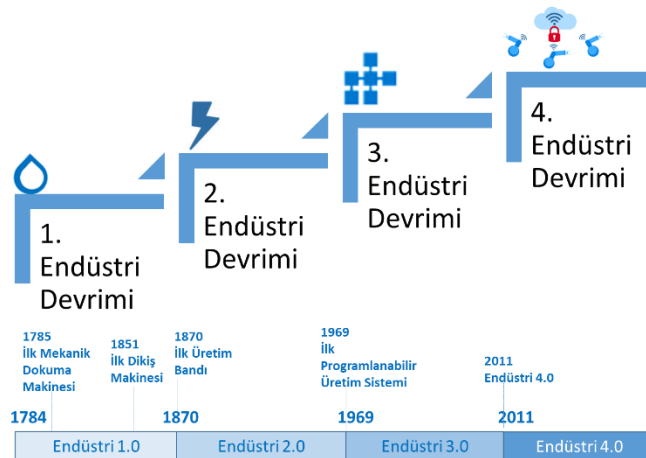
aşamasında olup, ilerleyen yıllarda gerekli entegrasyonların tamamlanıp firmalar tarafından uygulanabilir hale gelmesi öngörülmektedir. Ortak Konfeksiyon Birliği Forumu, bu gelişmelerin ileride oluşabilecek işçi yetersizliği problemi için ideal bir çözüm olduğunu belirtmiş, konfeksiyon sektörünün gelecek hedefi olarak verimliliği arttırmak için üretimdeki tüm aşamalarda insan etkisini en aza indirmek olduğunu açıklamıştır. Dolayısıyla, konfeksiyon fabrikalarının dördüncü sanayi devrimi ile kurumsal stratejilerini uyumlu hale getirmeleri gerekliliği gündeme gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizin lokomotif sektörü olan hazır giyim ve konfeksiyon sektöründeki firmaların çetin küresel rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için gerekli olan dördüncü sanayi devrimi uygulamaları, geliştirilen akıllı konfeksiyon fabrikası önerisi ile ele alınmıştır. Bu doğrultuda, öncelikle literatürde yer alan hazır giyim ve konfeksiyon sektöründe Endüstri 4.0 sanayi devrimine odaklanan çalışmalar incelenmiştir. Sonrasında, mevcut sistem analizi yapılarak, sıradan bir konfeksiyon fabrikasında yürütülen üretim süreci incelenmiş olup, ardından Endüstri 4.0 ve akıllı fabrika vizyonu doğrultusunda yeni bir üretim sistemi olarak Akıllı Konfeksiyon Fabrikası önerilmiştir. Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikasının teknolojik bileşenlerine yer verildikten sonra, bu teknolojik bileşenleri temel alarak geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar sunulmuştur. Ayrıca, önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası'nın fayda ve zorlukları analiz edilmiş olup, firmalara yol göstermek amacı ile mevcut durumdan Akıllı Konfeksiyon Fabrikası'na nasıl geçileceğine dair aşamalı uygulama planına yer verilmiştir. En son olarak, sonuç kısmı ile çalışma sonlandırılmıştır.

Literatür Taraması

Hazır Giyim ve Konfeksiyon Sektöründeki Endüstriyel Devrimler

Hazır giyim ve konfeksiyon sektörünün tarihindeki endüstriyel devrimler incelendiği zaman, Şekil 1'de gösterildiği gibi dört endüstriyel devrim olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1: Endüstri Devrimleri

Birinci Endüstri Devrimi, 1712’de buhar makinesinin İngiltere’de keşfi ile başlamış olup, daha sonra Avrupa ve Amerika’ya yayılmıştır. İlk mekanik dokuma tezgâhı, 1785’te İngiliz mucit Edmund Cartwright tarafından geliştirilmiştir. Bu devrim süresince tekstil sektöründe gerçekleşen ilerlemeler, tekstil tüketiminin, Maslow’un sonradan açıklayacağı gibi temel bir ihtiyaç olarak benimsenmesinin temellerini oluşturmuştur. *İkinci Endüstri Devrimi*, 1870 yılında elektriğin endüstriyel alanda kullanılmaya başlaması ile gerçekleşmiştir. İkinci Endüstri devrimi ile seri üretim ilk defa 1910’lu yıllarda Henry Ford tarafından gerçekleştirilerek gündeme gelmiştir. Bu devrimin hazır giyim ve konfeksiyon sektöründeki etkisi dikiş makinesinin seri bir şekilde üretilmeye başlanması ile olmuştur. Önceden keşfedilmesine rağmen Isaac Singer ilk dikiş makinesinin patentini 1851 yılında almış ve bu gelişme ile kıyafet üretimi ve tüketimi büyük bir ivme kazanmıştır. Daha sonra dikiş makineleri ayakkabı gibi başka üretim alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır (McNeil, 2002). *Üçüncü Endüstri Devrimi*, 1969 yılında ilk programlanabilir yönetim sisteminin kullanılması ile başlamış olup, aynı zamanda Dijital Devrim olarak da adlandırılmaktadır. Bu devrim ile Bilgi ve İletişim Teknolojileri endüstride kullanılmaya başlanmış olup mikroişlemciler, yazılım, fiber optik kablolar ve telekomünikasyon alanlarında gerçekleşen gelişmeler ışığında elde edilen entegre sistemler sayesinde analog yapıdan dijital teknolojiye geçiş sağlanmıştır. *Dördüncü Endüstri Devrimi*, 2011 yılında Hannover Fuarı’nda Alman Federal Hükümeti tarafından ilk defa dile getirilmiştir. Endüstri 4.0 /Sanayi 4.0 olarak da adlandırılan bu devrim kapsamında, nesnelerin interneti ile siber-fiziksel sistemler birbirleriyle ve insanlarla gerçek zamanlı olarak iletişime geçip işbirliği içinde çalışabilmektedir (Kagermann, Hellbig, Hellinger, & Wahlster, 2013; Monostori, 2015). Bu devrim kapsamında, fiziksel işlemler siber-fiziksel sistemlerle izlenip, fiziksel dünyanın sanal ortamda bir kopyası oluşturularak, merkezi olmayan kararların makineler tarafından verilmesi sağlanmaktadır. Böylece, verimlilik, üretkenlik, şeffaflık, sistemlerin izlenmesi ve arıza tespitinin kolaylaşması, azalan maliyetler ve artan esneklik sağlanarak, yeni hizmet ve iş modellerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Porter & Heppelmann, 2014, 2015). Endüstri 4.0’da güncel araştırma konularını inceleyen çalışmalarda (Kayabay, Akyol, Gökalp, Koçyiğit, & Eren, 2018) nesnelerin interneti ve büyük veri yönetimini temel alan çerçevelerin ön plana çıktığı tespit edilmiştir.

Endüstri 4.0’ın temel özellikleri: Siber fiziksel sistemlerin nesnelerin interneti ve hizmetlerin interneti aracılığı ile insanlarla ve birbirleriyle gerçek zamanlı olarak iletişim kurabilmesini kapsayan *Birlikte Çalışabilirlik*; Fabrikada kullanılan sensör (algılayıcı), RFID vb. verilerin sanal ortamda simülasyon modelleri ile bağlanmasını kapsayan *Sanallaştırma*; Siber fiziksel sistemlerin, toplanan ve işlenen veriler ışığında optimum kararları belirleyerek kendi kararlarını vermesini kapsayan *Özerk Yönetim*; Verilerin gerçek zamanlı olarak anlık şekilde toplanması ve analiz edilmesini kapsayan *Gerçek Zamanlı Yönetim*; Değişen gereksinimlere adapte olacak şekilde parça yapısının olmasını kapsayan *Modüler Yapı*; olarak sınıflandırılabilir.

Konfeksiyon sektöründe Endüstri 4.0 uygulamaları ile ilgili literatürde çalışmalar başlangıç aşamasındadır. Yapılan bir çalışma kapsamında, Sri Lanka’daki konfeksiyon sektörü paydaşlarıyla yapılan anket sonucu Endüstri 4.0’ın konfeksiyon firmalarına sağlayabileceği fırsatlar analiz edilmiştir (Jayatilake & Rupasinghe, y.y.; Jayatilake & Withanaarachchi, 2016). Literatürde, konfeksiyon fabrikalarında 4. Endüstri devrimi ile oluşabilecek yenilikçi

yaklaşımlarla ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, literatürdeki bu eksikliği gidermeyi amaçlamaktadır. Bir sonraki bölümde, konfeksiyon fabrikalarındaki üretim süreci anlatılarak, bu fabrikalarda 4. Endüstri devrimi ile oluşabilecek yenilikçi yaklaşımlar analiz edilmiştir.

Mevcut Üretim Sisteminin Analizi

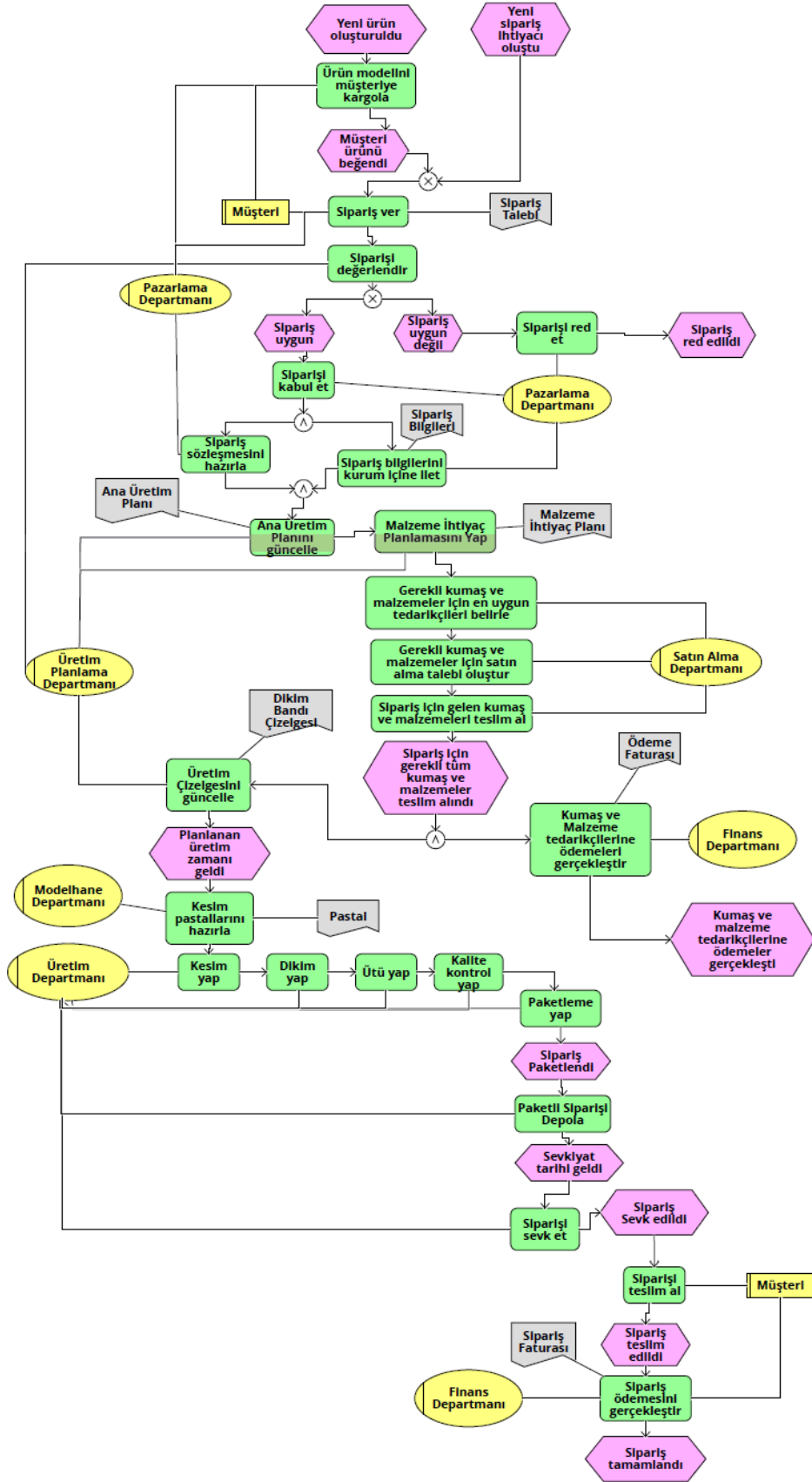
Sıradan bir hazır giyim ve konfeksiyon fabrikasındaki üretim sistemi Şekil 2’de gösterilen temel süreç adımlarını içermektedir. Konfeksiyon sektörü, her üründe beden, renk, aksesuar seçimi gibi birçok değişen parametreyi barındırdığı için sipariş odaklı çalışma prensibine sahiptir. Bu nedenle, üretim sürecinin başlangıç aşaması müşteri tarafından yeni sipariş ihtiyacının oluşmasıdır. Müşteri, fiyat, sipariş adedi, beden dağılımı, malzeme örnekleri, istenen teslim tarihi gibi sipariş bilgilerini konfeksiyon fabrikasının pazarlama departmanına iletir. Siparişin uygun olduğuna karar verilmesi durumunda pazarlama birimi tarafından sipariş kabul edilir ve sipariş bilgileri ilgili birimlere iletilir. Yapılan Malzeme İhtiyaç Planlaması çalışması ışığında, birim kumaş sarfiyatı ve birim malzeme ihtiyacının tespit edilmesinin ardından, satın alma birimi en uygun kumaş ve malzeme tedarikçisini belirleyerek, tedarik sürecini başlatır. Kumaş ve malzemelerin geliş tarihi, üretim planındaki diğer siparişler, siparişin üretim süresi vb. bilgiler ışığında üretim planlama departmanı ana üretim planını ve dikim bandı çizelgesini yaparak siparişin termin/teslim tarihini belirler. Kumaş ve malzemelerin satın alma birimine bağlı depo tarafından teslim alınmasının ardından, modelhane departmanı tarafından hazırlanan kesim pastalları kesimhane birimine iletilerek, üretim sürecinin ilk aşaması olan kesim işlemleri başlar, ardından dikim, ütü, kalite kontrol, paketlenme işlemleri yapılır. Kesim işlemi sırasında, kumaş düz bir zemine serilerek, modelhanenin beden dağılımına göre hazırladığı pastallara göre kumaş kesim işlemi yapılır. Dikim işlemi sırasında, dikim işçileri öncül/ardıl bir şekilde yerleştirilerek, her bir işçinin ürünün bir veya birkaç dikim adımını yapacağı şekilde dikim hattı oluşturulur, dikim hattının sonunda ürün dikilmiş bir şekilde çıkar. Dügme vb. eklenecek malzemeler varsa dikilir, kot gibi yıkama işlemi yapılacak ürün ise yıkanır ve ardından ütü işlemi yapılır. Ütü sonrası yapılan kalite kontrol işlemi sırasında, ürünün ölçüm, kumaş hatası, üretim hatası vb. kontrolleri yapılır. Son olarak yapılan paketlenme işleminde, ürüne ilgili etiketler eklenerek, müşterinin isteği doğrultusunda kutu, askı vb. paketlenme işlemleri yapılır. Tüm bu işlemlerin ardından sipariş müşteriye sevk edilerek, ödemesi müşteriden alınır. Sipariş ödemesinin gerçekleşmesini takiben, sipariş tamamlanarak süreç sona erer.

Mevcut sistem analiz edildikten sonra, Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegre edilmesiyle birlikte elde edilen yeni sistem önerisi olan Akıllı Konfeksiyon Fabrikası’na bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

Yeni Sistem Önerisi-Akıllı Konfeksiyon Fabrikası

Gelişen bilgi teknoloji servisleri, ucuzlayan akıllı cihaz donanımlarının siber-fiziksel sistemler ile etkin bir şekilde entegrasyonun gerçekleşmesi sayesinde fiziksel dünyanın dijital ortama aktarım maliyetini azaltmakta ve verimli üretim süreçlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, 4. Endüstri devrimi ile oluşabilecek

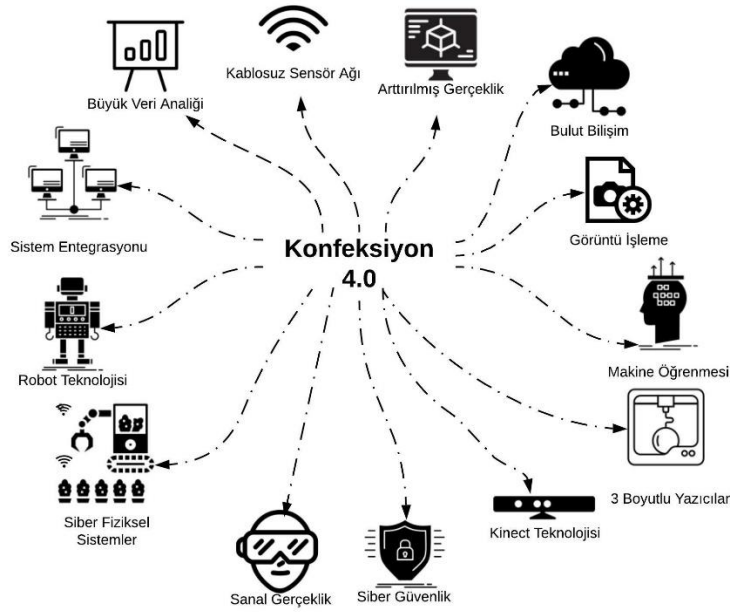
yenilikçi yaklaşımlar bütüncül bir şekilde yeni sistem önerisi olarak Akıllı Konfeksiyon Fabrikası kapsamında önerilmiştir. Akıllı Konfeksiyon fabrikasını oluşturan teknolojik bileşenler açıklandıktan sonra, bu teknolojik bileşenler temel alınarak geliştirilen yeni üretim sistemi önerisine yer verilmiş, ardından bu sistemdeki yenilikçi yaklaşımlar incelenmiştir.



Şekil 1: Mevcut Hazır Giyim ve Konfeksiyon Üretim Sistemi

Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası Teknolojik Bileşenleri

Bu çalışma kapsamında önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası konseptinde kullanılan teknolojik bileşenler Şekil 3'te gösterildiği gibi, Kablosuz Sensör Ağı; Siber Fiziksel Sistemler; Nesnelerin İnterneti; RFID; Büyük Veri; Robot Teknolojisi; Sanal Gerçeklik; Arttırılmış Gerçeklik; Bulut Bilişim; Kinect Teknolojisi; Görüntü İşleme; Makine Öğrenimi ve Siber Güvenlik başlıklarını içermektedir.



Şekil 3 Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası Bileşenleri

- **Kablosuz Sensör Ağı:** Nesnelerin interneti kavramının bir parçası olan RFID etiketleri, RFID okuyucular, Otomatik tanımlama (AutoID) sensörleri, kablosuz iletişimi sağlayan *Wifi*, *GSM veya düşük güçlü yakın mesafe iletişim* teknolojilerinden oluşan kablosuz sensör ağı ile, ürün ve ürün parçalarına ait bilgilerin depolama aşamasından son kullanıcıya ulaşmasına kadar geçen her aşamada otomatik veri toplama, senkronize etme, analiz etme işlemlerinden geçmesi sağlanır (Keung Kwok & Wu, 2009; Stoppa & Chiolerio, 2014; Zhong, Dai, Qu, Hu, & Huang, 2013).
- **Siber-Fiziksel Sistemler:** Çevreleyen fiziksel dünya ve yürütülen süreçler ile bağlantılı olan, sensör ve işlemcilerle donanmış, internet bağlantılı bilgisayar tabanlı algoritmalar tarafından izlenen, kontrol edilen, koordine edilen ve entegre edilen fiziksel ve mühendislik sistemleridir. Siber-fiziksel sistemlerde, fiziksel ve yazılım bileşenleri derinlemesine iç içe geçmiş olup birçok değişik şekilde birbirleriyle etkileşime girmektedirler (Rajkumar, Lee, Sha, & Stankovic, 2010).
- **Nesnelerin İnterneti:** İnternet tabanlı iletişimi ve veri alışverişini mümkün kılan elektriksel, mekanik, bilgi işlem ve iletişim mekanizmalarının gömülü sistemlerini içeren teknolojidir. Etrafımızdaki çeşitli varlıkların veya nesnelerin, Radyo Frekanslı Kimlik Doğrulama (RFID) etiketleri, sensörler, aktüatörler, cep telefonları vb. gibi

yaygın adresleme düzenlerinin birbirleriyle etkileşime girebilmesi, işbirliği yapması ile oluşan iletişim ağıdır. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) ise nesnelerin interneti teknolojisinin endüstriyel sistemlerde kullanılması ile hem eski hem de yeni sayısız endüstriyel cihazın İnternet Protokolü (IP) iletişim teknolojilerini kullanmaya başladığı dönüştürücü bir olaydır.

- **RFID (Radyo Frekansı Tanımlama) Barkod Teknolojisi:** Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin temel bileşenleri arasında, küçük boyutlarda tasarlanan kablosuz ağa bağlanma özelliği olan, insan ve objeleri tanımlayabilmek için kullanılan bir veya daha fazla okuyucu ve etiketten oluşan RFID barkod teknolojisi yer alabilir (Juels, 2006). Etiketler benzersiz bir tanımlayıcı ile tanımlanır, okuyucular ise etiket iletimini, çevredeki muhtemel etiketlerin varlığı ve kimliklerinin alınması için bir sorguyu temsil eden bir sorgu üreterek tetikler. RFID sistemleri, nesneleri görüş hattında olmaya gerek kalmadan gerçek zamanlı olarak izlemek için kullanılmakta olup, gerçek dünyayı sanal dünyaya eşlemeyi sağlaması nedeniyle lojistikten e-sağlık ve güvenliğe kadar çok çeşitli uygulama senaryolarında kullanılmaktadır.
- **Büyük Veri:** Nesnelerin İnterneti, web kaynakları ve benzer bilgi teknoloji servisleri ile üretilen yapılandırılmış, yarı-yapılandırılmış ve/veya yapılandırılmamış yapıda, hızlı ve hacimli verileri tanımlamak için Büyük Veri kavramı kullanılmaktadır (Gokalp, Kayabay, Akyol, Eren, & Kocayigit, 2016; Gokalp, Kayabay, Çoban, Yandık, & Eren, 2019; Kayabay, Gokalp, Akyol, Eren, & Kocayigit, 2016). Makine öğrenimi ve yapay zeka gibi kompleks hesaplama gerektiren uygulamalarda ciddi derecede büyük ve çoğu zaman oldukça karmaşık veri grupları işlenmesi kapsamında kullanılmaktadır.
- **Robot Teknolojisi:** Endüstriyel robotlar, üretim sistemlerinde kullanılan otomatik, programlanabilir ve üç veya daha fazla eksenle hareket edebilen teknolojileri kapsamaktadır. İlk endüstriyel robotların zeka, özerklik ve operasyonel özgürlük dereceleri sınırlı iken, son yıllarda yapay zeka alanında gerçekleşen ilerlemeler sayesinde artık robotlar kendi kendilerine en iyi kararı verebilme, kendi aralarında iletişim kurabilme ve öngörü yapabilme gibi yeteneklere sahiptirler.
- **Sanal Gerçeklik:** Bilgisayarlar aracılığıyla yaratılan ürünlerin sanal ortamla karşılıklı etkileşim olanağı sağlayan üç boyutlu benzetim modelidir (Steuer, 1992). Simüle edilmiş bir ortamda gerçekleşen esas olarak işitsel ve görsel geribildirim içeren, ancak aynı zamanda dokunsal gibi diğer duyuşsal geribildirim türlerine de izin verebilen etkileşimli bir deneyimdir.
- **Arttırılmış Gerçeklik:** Üç boyutlu olarak yaratılan sanal objelerin gerçek dünya ortamında gösterilmesini sağlayan teknolojidir (Azuma, 1997). Arttırılmış gerçeklik sistemleri, sanal bir bilgiyi canlı bir kamera beslemesi üzerinden bir kulaklığa veya bir akıllı telefon ya da tablet cihaz üzerinden kullanıcıya üç boyutlu görüntüleri gösterebilme olanağı sağlayan katmanları oluşturan teknolojidir.
- **Bulut Bilişim:** Sanallaştırma, dağıtık bilişim, hizmet bilişimi ve en yeni ağ ve yazılım servisleri ile ilgili onlarca yıllık araştırmalara dayanan bulut bilişim teknolojisi uygulamalarının geliştirilmesi için donanım ve yazılım kaynaklarının entegrasyonuna yönelik ölçeklenebilir bir altyapı sunar (Kayabay, Gokalp, Eren, & Koçyigit, 2018). Bu sayede Endüstri 4.0 cihazları üzerindeki iş yükü ile başa çıkabilmek ve bu cihazlardan

toplanan verileri işlenmek için gereken yazılımsal ve donanımsal kaynaklar düşük ücretler ile bulut bilişim sağlayıcılarından elde edilebilir.

- **Kinect (3 Boyut Algılama) Teknolojisi:** Kinect teknolojisi, uzaktan kullanıcıların hareketlerini izlemek amacı ile geliştirilmiş olup, kırmızı-yeşil-mavi renkli kamera, 3 boyutlu sensör ile mikrofondan oluşan bir algılama sistemidir (Pham, 2009). Endüstriyel robotların eğitilmesi için kullanım örnekleri vardır (Chen, Wang, & Lin, 2014; Gil, Mateo, & Torres, 2014; Lisboa vd., 2013).
- **Görüntü İşleme:** Dijital ortama aktarılan görüntülerin bilgisayar algoritmaları kullanarak işlenmesidir. Görüntünün tarayıcı veya kamera gibi optik cihazlarla veya doğrudan dijital ortama aktarılması, görüntülerin analiz edilmesi, görüntü işleme sonucunun raporlanması aşamalarını içerir. İnsan gözü ile ayırt edilemeyen ayrıntıların tespiti ve yorumlanmasını sağlayan bu teknoloji meteorolojiden savunma sanayisine uzanan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.
- **Makine Öğrenimi:** Açık programlama yolu yerine sistemin verilerden öğrenmesini sağlayan bir yapay zekâ çeşididir. Makine öğrenme algoritmaları, önceden belirlenmiş bir denkleme model olarak güvenmeden, bilgileri doğrudan veriden “öğrenmek” için hesaplama yöntemlerini kullanır. Yinelemeli olarak kullanılan çeşitli algoritmalar, öğrenme için mevcut örnek sayısı arttıkça performanslarını uyarlar.
- **Siber Güvenlik:** Bir çevreyi, organizasyonu ve kişisel kullanıcı varlıklarını korumak için kullanılabilecek araçlar, politikalar, risk yönetimi kılavuzları, güvenlik kavramları ve güvenlik önemlerini kapsayan teknolojilerin bir arada kullanılmasıdır (Von Solms & Van Niekerk, 2013).

Akıllı Konfeksiyon Fabrikasındaki Yenilikçi Yaklaşımlar

Şekil 4’te gösterilen Akıllı konfeksiyon fabrikasında müşteri tarafından siparişin alınması, prototip modelin yapılması, müşteri tarafından onayın alınması, gerekli kumaş ve malzemenin tedarik edilmesi, üretim planlama, kurumsal kaynak yönetimi, çalışan performans yönetimi ve üretim yönetimi aktiviteleri için geliştirilen ve bir kısmı başlangıç çalışmamızda (Ebru Gökalp, Gökalp, & Eren, 2018) verilen yenilikçi yaklaşımların geliştirilmiş hali aşağıdaki şekildedir.

a) Pazarlama Departmanında Yürütülen Faaliyetler:

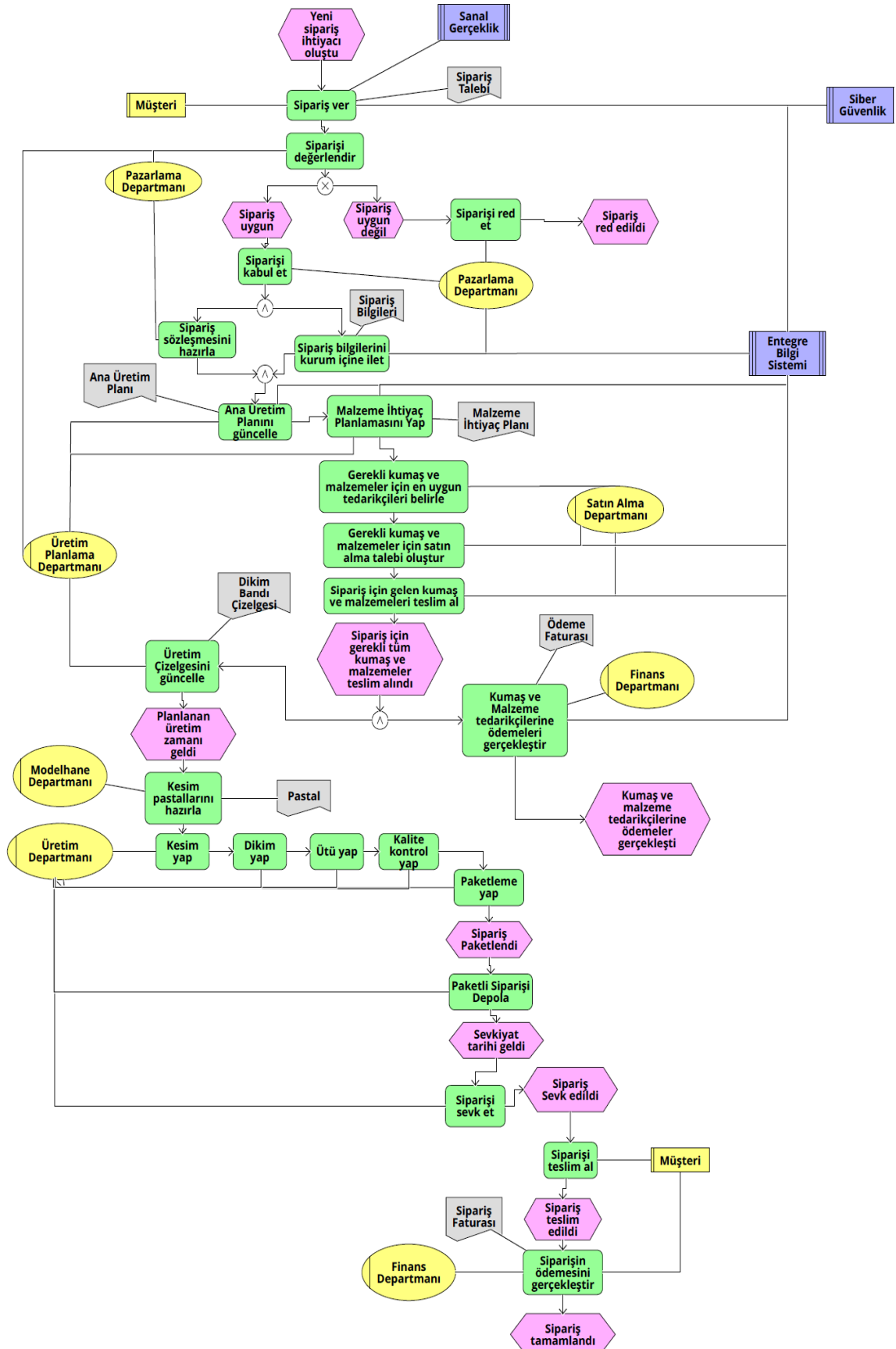
Sipariş Alma Süreci, pazarlama departmanı tarafından yürütülmektedir. **Üç Boyutlu Ürün Tasarımı** faaliyeti yürütülmesi kapsamında, kıyafetlerin üç boyutlu olarak **Sanal gerçeklik** teknolojileri ile dijital ortamda incelenebilmesi, sanal ortamda ön/prototip ürünün (kıyafetin) yapılmasını kapsar. Bu sayede, üretim ön hazırlık aşamasında insan hatası oranı azalarak, müşteri onay süresinin kısalması sağlanır.

b) Müşteri tarafından Yürütülen Faaliyetler:

Ürün Modeli üç boyutlu olarak **Sanal gerçeklik** teknolojileri ile dijital ortamda alınır, üç boyutlu yazıcı ile modelin çıktısı alınarak, gerekli incelemeler yapıp geri bildirimler dijital ortamda üç boyutlu ürün üzerinde pazarlama departmanına iletilir. Sipariş verildikten sonra, gerekli yetkilendirme sağlanarak, siparişin tüm aşamalarına şeffaf bir şekilde **Entegre Bilgi Sistemi** üzerinden erişilerek **Müşterinin Gerçek Zamanlı Sipariş Takibi** yapılması sağlanır. Bu kapsamda, üretime giren her ürün/ürün parçasının **RFID etiketleri** ile hangi istasyonda olduğunun takip edilmesi ve müşteri tarafından ürünün

http://www.ajit-e.org/?menu=pages&p=details_of_article&id=403

durumunun anlık olarak izlenmesi mümkün hale gelir. Böylece, şeffaflığın, dolayısı ile müşteri memnuniyetinin artırılması sağlanır.



Şekil 4: Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası Sistemi

c) Satın Alma Departmanında Yürütülen Faaliyetler:

Tedarikçi araştırma, en uygun tedarikçiyi bulma ve sipariş verilen kumaş ve malzemelerin depoya giriş süreçleri bu departman tarafından yürütülmektedir. Tedarikçi araştırma ve en uygunun tespiti için, önceki siparişlerdeki verilerin analizini yapan *yapay zekâ* uygulamaları kullanılmaktadır. Depoya girişi yapılan kumaş ve aksesuar gibi hammaddelerin üzerine yerleştirilen *RFID etiketlerinde*, hammaddenin hangi siparişin üretimi için kullanılacağı, son ürüne hazır hale getirilebilmesi için kaç derece su ile yıkanması gerektiği ve düğmeleme işleminin nasıl yapılacağı gibi sipariş ile ilgili tüm bilgiler saklanır. Hangi hammaddenin deponun hangi kısmında olduğu bilgisi depo yönetim sisteminde kayıt altında tutulur ve üretime girecek sipariş için insan etkisi olmadan *robotlar* ve/ya *siber fiziksel sistemler* aracılığı ile kumaş ve malzemeler otomatik olarak depodan getirilir.

Depoda kullanılan *kablosuz sensör ağı*, gerçek zamanlı veri toplamanın temel parçasıdır (Prasanna & Hemalatha, 2012; Zhang, Huang, Sun, & Yang, 2014). Sağlanan *Gerçek Zamanlı Depo Yönetimi* ile hangi malzemelerin, deponun neresinde, ne kadar olduğu, hangi sipariş için kullanılacağı gibi bilgiler gerçek zamanlı olarak tutulur. Böylece malzeme eksikliği, malzemenin bulunamaması/geç bulunması vb. problemlerin önüne geçilmiş olur.

Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası *Gerçek Zamanlı Tedarik Zinciri Yönetiminin* yapılmasına olanak sağlar. Konfeksiyon sektöründe, müşteri ihtiyaçlarına kısa sürede yanıt verebilmek için doğru malzemelerin, doğru miktarda, doğru zamanda teslim alınması çok kritik bir konudur. Bir kıyafette, iplik, düğme, fermuar, çıt-çıt vb. birçok malzeme kullanılır ve hızlı bir şekilde malzeme ihtiyaçlarını karşılamak gerekmektedir. *Nesnelerin İnterneti* ile toplanan veriler *büyük veri* işleme yaklaşımları ile analiz edilerek, depoda tutulan hammadde miktarı ile dijital ortamda son kullanıcıdan alınan ürün talepleri eş zamanlı olarak kontrol edilerek hızla değişen hammadde ihtiyacı yönetilir. Tedarikçiden ne zaman talep edildiği, teslim tarihi, teslim sırasında yapılan kalite kontrol sonuçları bilgileri gerçek zamanlı olarak diğer sistemlerle bütünsel bir şekilde yönetilir. Birçok malzeme kullanıldığı için sayısı çok olan tedarikçilerin performansı, sistemden elde edilen raporlar ile yönetilir. Böylece, Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikasında, üretim ve stok maliyetlerinin en aza indirilmesi, üretim sürecinin aksamaması, süreç hızının artırılması sağlanır.

d) Modelhane Departmanında Yürütülen Faaliyetler:

Ürün modelinin dijital olarak üç boyutlu modellenmesi/çizilmesi, bilgisayarlar tarafından simüle edilen ortam olan *sanal gerçeklik* ile ürünün dijital ortamda incelenebilmesi ve kesim sistemlerine *bulut teknoloji* altyapısı kullanılarak, dijital ortamda *kablosuz ağ* aracılığı ile gönderilmesini kapsar.

e) Üretim Departmanında yürütülen faaliyetler:

Kesim, Dikim, Ütü, Kalite Kontrol, Paketleme ve Sevkiyat süreçleri üretim departmanı tarafından yürütülmektedir.

- i. *Kesim Süreci:* Kumaşın depodan alınması, kesimhaneye getirilmesi ve kesim masasına serim işlemi, *Siber-fiziksel sistemler* ve *robotlar* aracılığı ile yapılır.

- Dijital ortamda alınan postal bilgisine uygun olarak, lazer sistemler aracılığıyla en az seviyede insan etkileşimi ile kesim işlemi tamamlanır.
- ii. **Dikim Süreci:** Ürünlerin üzerlerine yerleştirilen radyo frekansı kullanarak nesneleri tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemi olan **RFID** etiketlerinde düğmeleme, ütüleme, yıkama, paketleme işlemlerinin nasıl yapılacağı gibi üretim için gerekli bilgiler mevcuttur. Her istasyona yerleştirilen ve sistem ile entegre olan RFID okuyucuları aracılığı ile düğmeleme işlemine giren bir ürünün RFID etiketini okutarak düğmelerin yerleştirileceği yer ve düğme türü bilgisi alınıp **siber fiziksel sistemler** aracılığı ile düğmeleme işlemi yapılır. Ayrıca, ürünün kalite kontrol için hazır hale getirilmesi için kaç derece su ile yıkanması gerektiği bilgisi alınıp yıkama makinelerine taşınması ve yıkanan ürünlerin ütülenmesi işlemleri de **siber fiziksel sistemler** ile insan-makine etkileşimi olmadan yapılmaktadır.
- iii. **Kalite Kontrol Süreci:** Hazır giyim ve konfeksiyon fabrikalarının, müşteri memnuniyeti ve devamlılığı kazanabilmek için belirli seviyelerde kalite standartları sunmaları gerekmektedir. Bu nedenle, önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikasında son ürün müşteriye gönderilmeden daha önceden belirlenmiş ve son ürüne özgü bazı kalite kriterleri sağlanmak zorundadır. Bu kalite standartları, ürünün beden ölçülerinin doğruluğu, kumaşın kalitesi ve tasarlanan model ile uyumluluğu gibi kriterleri içermektedir. Günümüzde kalite kontrol insanlar aracılığı ile elle yapılmaktadır ancak insanlar ile yapılan kontroller bazen hatalı sonuç vermektedir ve üretimin hangi aşamasında sorun çıktığı bilgisinin düzenli olarak tutulmasını zorlaştırmaktadır. Bu amaçla, önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası kapsamında, kalite kontrol sürecinin hızlandırılması, başarısının artırılması ve üretim ile ilgili verilerin düzenli olarak toplanması için **bilgisayar destekli** kalite kontrol sistemleri kurulmuştur. Gelişmiş **görüntü işleme yöntemleri, makine öğrenimi** yaklaşımları kullanılarak son ürün üzerinde oluşabilecek kalite sorunları bilgisayar destekli sistemler tarafından öğrenilebilir ve kolayca raporlanabilir bir yapıdadır. Bu raporlar işlenerek önerilen sistem üzerinde yaşanan sorunlar tespit edilip, üretim hızı ve verimlilik artışının sağlanması amaçlanmaktadır.
- iv. **Paketleme Süreci:** Üretim bandında kalite kontrolünden geçen son ürünler, paketleme birimine iletilip müşteriye gönderilmek üzere paketlenerek, üzerindeki **RFID** etiketleri ile müşteri tarafından üretim bilgilerine erişilmesi, böylece şeffaflığın artması sağlanmaktadır. Paketleme işlemi, RFID etiketinde yer alan bilgiye göre, **siber fiziksel sistemler** ile insan etkileşimi olmayacak şekilde yapılır.
- v. **Makine Bakımı:** **Siber fiziksel sistemler**, içerdikleri sensörler ve algoritmalar sayesinde, periyodik olarak kontrol ederek, oluşan küçük problemleri gerçek zamanlı olarak takip edip, oluşabilecek hata ve kalite problemlerini tahmin ederek kendi kendilerine optimize edilmiş kararlar verebilirler (Lee, Kao, & Yang, 2014). Böylece **Öngörücü Makine Bakımı** sağlanmış olur.

f) **Üretim Planlama Departmanında yürütülen faaliyetler:**

Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası *Gerçek Zamanlı Üretim Planlama* yapılmasına olanak sağlar. Fabrika sisteminde çalışan tüm otomasyon cihazlarındaki sensörlerden ve üretim sürecinde olan ürünlerin RFID etiketlerinden toplanan verilerin gerçek zamanlı *büyük veri* işleme yaklaşımları ile işlenerek, üretim hızını etkileyen faktörlerin izlenmesini sağlar. Toplanan verilerin toplu işleme yaklaşımları ile işlenmesi, iş-zekası çözümleri geliştirilmesi ile ürün kalitesi ve müşteri memnuniyeti artırılması amacıyla kullanılır. Ayrıca, Akıllı teknolojilerin kullanılması ile konfeksiyon fabrikalarında karmaşık bir işlem olan *Üretim Hattı Dengeleme* etkinliği iyileştirilip verimlilik artırılmaktadır. Dijitalleşen veriler ile üretim akışı anlık olarak takip edilmekte, üretim hattındaki darboğazlar anında tespit edilerek optimizasyon algoritması ile hızlı çözüm geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

g) *Eğitim Departmanında yürütülen faaliyetler:*

- i. *Personelin Eğitimi: Arttırılmış Gerçeklik* teknolojisi ile fabrikada çalışan işçilerin daha önce kullanmadıkları bir dikiş makinesi ile dijital ortamda çalışmasına imkân sunarak makine üzerinde tecrübe kazanması sağlanır. Bu sayede insan gücünün devreye girdiği yerlerde üretim hızının ve verimliliğin artırılması ve dikim sürecindeki insan hatalarının düşürülmesi amaçlanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalara göre (Sääski vd., 2008), üretimden önce arttırılmış gerçeklik ile çalışan işçilerin verimlilikleri %50'ye kadar artabilmektedir ve hata yapma oranları düşmektedir.
- ii. *Robotların Eğitimi:* Dikim işlemini sadece otomasyon cihazları ile insan-makine etkileşimini ortadan kaldırarak yapmak oldukça karmaşık ve zor bir süreçtir (Islam, Mohiuddin, Mehidi, & Sakib, 2014). Bu nedenle, Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası kapsamında, dikim işlemini otomatikleştirerek insan-makine etkileşimini ortadan kaldırmak yerine, makine operatörlerinin yaptığı operasyonları robotlara öğretmek için *kinect teknolojisi* kullanılması önerilmektedir.

h) *Yönetimsel faaliyetler:*

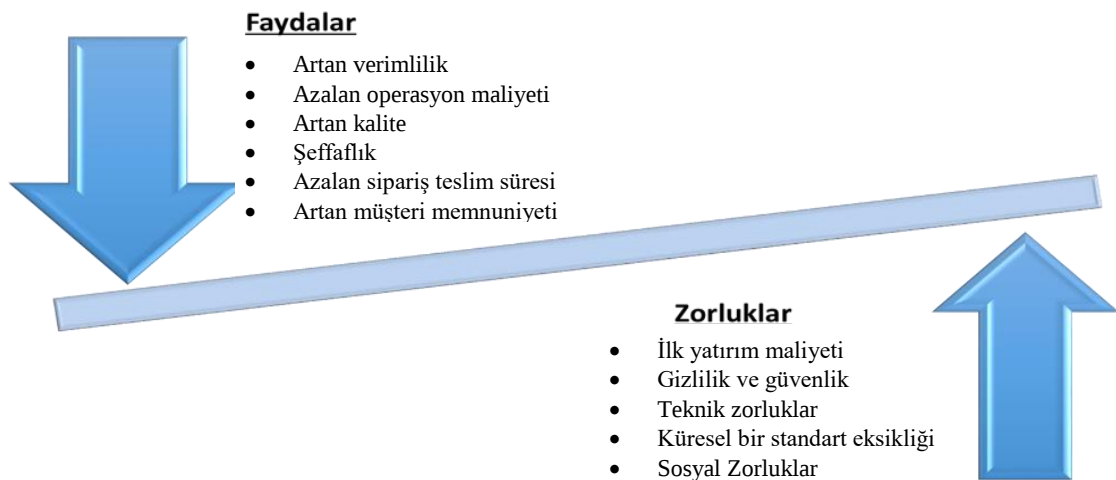
- i. *Ürün Yönetimi:* Ürünlerin üzerlerine yerleştirilen RFID etiketleri ile ürünün hangi aşamada olduğu bilgisi ile *Gerçek Zamanlı Ürün Takibi* sağlanmaktadır. Üretim hattında, hangi iş adımıyla kaldığı, kuyrukta bekleyen ürünler vb. bilgileri de gerçek zamanlı olarak alınabildiği için ürün takibi gerçek zamanlı olarak yapılmakta, gerekli durumlarda ana üretim planının otomatik olarak güncellenmesi için üretim planlama departmanı otomatik olarak bilgilendirilmektedir. *RFID barkod* teknolojisini kullanan gerçek zamanlı bir üretim izleme ve karar verme sisteminin, üretim sisteminin esnekliğini ve kabiliyetini arttıracığı tespit edilmiştir (Cooray & Rupasinghe, 2015).
- ii. *Çalışan Performans Yönetimi:* Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikasında, dikim bandında öncül, ardıl olarak yerleştirilen işçilerin her bir dikim adımını gerçekleştirecek şekilde yerleştirilmesiyle oluşan üretim hattının

dengelenmesi için gerçek zamanlı veriler kullanılır. Ürün/ürünü oluşturacak parçadaki RFID etiketi ile hangi çalışmada ne kadar sürede işlem gördüğü bilgisi gerçek zamanlı olarak alınmaktadır. *Büyük veri* işleme yaklaşımlarının kullanılmasıyla *Gerçek Zamanlı Çalışan Performans Yönetimi sağlanır*. Elde edilen tüm çalışma süresini kapsayan çalışan performans raporlarının oluşturulması ile çalışan verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır.

- iii. **Bilgi Yönetimi:** Sağlanan *Uçtan uca Dijital Entegrasyon* kapsamında fiziksel nesnelerin birbirleriyle veya daha büyük sistemlerle bağlantılı olduğu iletişim ağını ifade eden *nesnelerin interneti*, buradan elde edilen büyük hacimli, çeşidi bol ve hızlı gelen verinin toplama, saklama, temizleme, görselleştirme, analiz etme ve anlamlandırma işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan *büyük veri* uygulamaları ve bu verilerin depolanmasını ve erişilebilirliğini sağlayan *bulut sistemleri* altyapısının entegre edilmesi sonucu elde edilen *Entegre Bilgi Sistemi* ile, fiziksel ortamın sanal ortamda bir kopyasını oluşturarak hem dikey hem yatay entegrasyonun yapılmasını kapsar. Ancak dijital bilgi transferini gerçekleştirirken, endüstriyel cihazları artan *siber güvenlik* tehditlerine karşı koruyan güvenli ve esnek bir ağ altyapısı üzerinde güvenilir bir veri iletişim stratejisi geliştirilmesi esastır. Böylece, verilerin ve bilgilerin üretim sürecindeki değişik sistemler ve kurumsal kaynak planlaması gibi yönetimsel sistemler tarafından erişilebilir ve yönetilebilir bir yapıda olması sağlanır.

Akıllı Konfeksiyon Fabrikasının Fayda ve Zorlukları

Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası'nın sunacağı faydalar ve zorluklar analiz edilmiş olup, Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikasının Fayda ve Zorlukları

Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası'nın sağlayabileceği faydalar şu şekildedir;

- **Artan verimlilik:** Siber fiziksel sistemler ve insan-robot teknolojisi birlikteliği ile süreçlerin otomatikleştirilmesi, gerçek zamanlı üretim yönetimi ile artan müdahale hızı, gerçek zamanlı çalışan performans yönetimi ve öngörücü bakım sayesinde verimliliğin artması öngörülmektedir.
- **Çeviklik ve hızlı çözüm oluşturma:** Elde edilen gerçek zamanlı verilerin işlenmesi ile üretim sürecinin anlık takibi yapılabilen, bu vesile ile hızlı bir şekilde problemler tespit edilerek müdahale edilebilmesi öngörülmektedir.
- **Azalan operasyon maliyeti:** Otomatikleştirilen süreçler sayesinde emek yoğun üretimin teknoloji yoğun üretim şeklinde dönüşmesi ile birlikte azalan işçilik maliyeti, uçtan uca dijital entegrasyon ve otomatik hazırlanan raporlar ile azalan yönetsel aktiviteler sayesinde operasyon maliyetlerinin azalması öngörülmektedir.
- **Artan kalite:** Siber fiziksel sistemler ve robotik teknolojilerle otomatikleştirilen süreçler sayesinde azalan insan hatası, görüntü işleme ve öğrenilmiş makine yaklaşımı ile yapılan kalite kontrol ile artan kalite kontrol hassasiyeti, üretimin gerçek zamanlı takibi ile azalan kalite problemlerine müdahale süresi, arttırılmış gerçeklikle dikim eğitimi ile azalan insan hatası sayesinde ürün kalitesi artması öngörülmektedir.
- **Şeffaflık:** Müşterinin entegre olan üretim sistemine erişmesi, tedarikçilerin gerçek zamanlı takibi, üretim sürecindeki tüm verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilip analiz edilerek anlık raporların üretilmesi sayesinde fabrikanın şeffaflığının artması öngörülmektedir.
- **Azalan sipariş teslim süresi:** 3 boyutlu ürün tasarımı ile azalan müşteriden model onayı alma süresi, gerçek zamanlı tedarikçi yönetimi, gerçek zamanlı üretim yönetimi, otomatikleştirilen süreçler, siber fiziksel sistemler ve insan-robot teknolojisi birlikteliği sayesinde sipariş teslim süresinin azalması öngörülmektedir.
- **Artan müşteri memnuniyeti:** Artan kalite, şeffaflık ve azalan sipariş teslim süresi sonucunda müşteri memnuniyetinin artması öngörülmektedir.

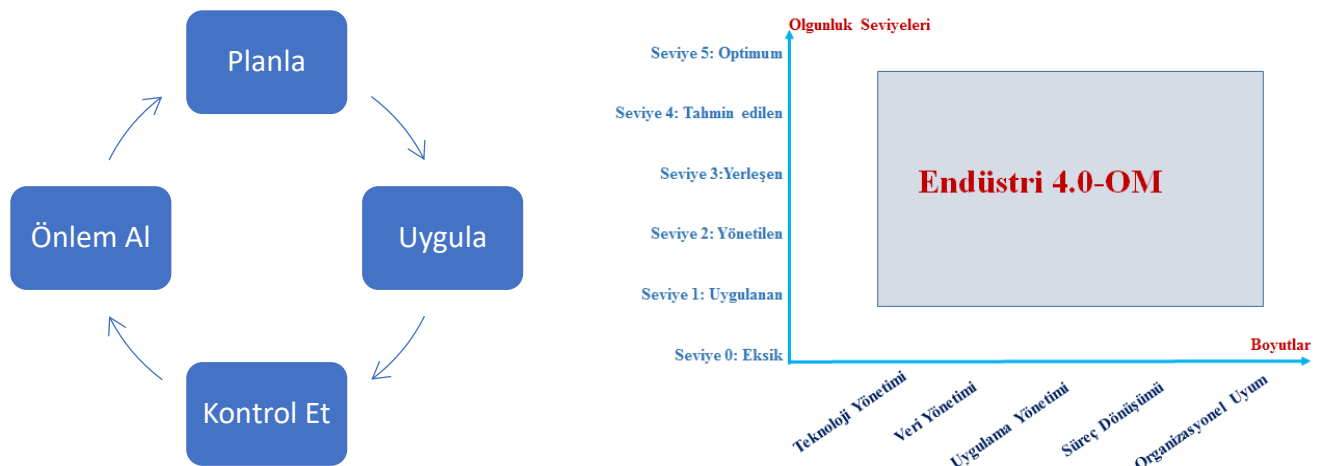
Önerilen Akıllı Fabrika sistemi için karşılaşılabilecek zorluklar ise şu şekildedir;

- **İlk yatırım maliyeti:** Siber fiziksel sistem, robotik, sanal gerçeklik, üç boyutlu ürün tasarımı, kablosuz sensör ağı, büyük veri teknolojileri ve bunların entegrasyonu büyük maliyet gerektiren uygulamalardır. Türkiye’de ihracat yapan konfeksiyon firmalarının %90’ı küçük ve orta ölçekli işletmeler olduğu için Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası kapsamında önerilen yenilikçi yaklaşımların oluşturacağı faydalar ve gereksinim duyulan maliyetin analizi yapılmalı, en yüksek fayda getireceği tespit edilen yaklaşımdan başlanarak yavaş bir geçiş süreci tasarlanmalıdır.
- **Gizlilik ve güvenlik:** Dijital verilerin gizliliği ve güvenliğinin tam olarak sağlanması için son yıllarda birçok çalışma yapılmış olsa da, hala birçok kurum için önemli bir gündem maddesidir. Fabrika ile ilgili toplanan tüm veriler çok kritik olduğu için, iyi korunamadığı durumda büyük problemlere yol açabilir. Bu nedenle, gizlilik ve güvenlik için çeşitli protokollerle iletişim sağlanmalı, veriler korunmalıdır.

- **Teknik zorluklar:** Ülkemizde, Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası kapsamında belirtilen teknolojilere hâkim insan kapasitesinin yetersiz oluşu, bu teknolojilerin nispeten yeni teknolojiler olması ve uygulama örneklerinin az olması beraberinde teknik zorlukları da getirmektedir. Bu nedenle, bu kapasitelerin arttırılması için ulusal politikalar geliştirilmeli ve desteklenmelidir.
- **Küresel bir standart eksikliği:** Endüstri 4.0 kapsamında geliştirilmiş küresel bir standardın mevcut olmayışı uygulama zorluklarına neden olmaktadır. Firmalara ve uygulayıcılara yol gösterecek bir rehber mekanizması oluşturulması amacı ile Endüstri 4.0 olgunluk modeli geliştirilmelidir.
- **Sosyal Zorluklar:** Ülkemizin istihdam açısından lokomotif sektörü olan hazır giyim ve konfeksiyon sektöründeki üretim süreçlerinin otomatikleştirilerek işgücüne olan ihtiyacın azalması beraberinde işsizlik gibi toplumsal problemleri de getirebilir. Endüstri 4.0 devriminin önümüzdeki 5 yıl içinde, 15 gelişmiş ekonomide 5 milyon kişinin işinden ayrılmasına neden olacağı öngörülmektedir (World Economic Forum, 2016). Bu teknoloji devriminin ülkemize sosyal açıdan etkileri incelenerek, ulusal işgücü kapasitesinin bu doğrultuda geliştirilmesi gerekmektedir.

Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikasının Uygulama Planı

Önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası'nın sunduğu fırsatlar görüldüğü zaman, hazır giyim ve konfeksiyon fabrika yöneticileri akıllı teknolojileri fabrikalarına entegre etmek istemelerine rağmen, nereden nasıl başlanması gerektiğiyle ilgili bir karmaşa ile karşılaşmaktadırlar. Akıllı teknolojilere geçiş sürecinin proje yönetimi prensipleri uygulanarak, aşamalı bir şekilde yönetilmesi gerekmekte olup, yukarıda sıralanan zorluklar da dikkate alınarak, en faydalı çözümlerin/teknolojilerin en önce uygulamaya alınması ile başlatılmalıdır. Bu nedenle, sürekli iyileştirme kalite prensibinin temeli olan Şekil 6'da gösterilen Deming döngüsü olarak da adlandırılan PUKÖ döngüsü uygulama planı oluşturmak için kullanılmıştır. Şekil 7'de gösterilen Endüstri 4.0 teknolojilerin adaptasyonu ile ilgili kuruluşun mevcut olgunluk seviyesini ölçüp, bir ileri seviyeye geçmesi için yapılması gerekenleri içeren yol haritası sunan Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli (Endüstri 4.0-OM) (E. Gökalp, Şener, & Eren, 2017) kapsamında tanımlanan boyutlar temel alınarak uygulama planı geliştirilmiştir.



Şekil 6.PUKÖ Döngüsü (Deming, 1951)

Şekil 7. Endüstri 4.0-OM
(Şener, Gökalp, & Eren, 2018)

PUKÖ Döngüsü Planlama, Uygulama, Kontrol Etme ve Önlem Alma olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Endüstri 4.0- OM ise, kuruluşların Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerini teknoloji yönetimi, veri yönetimi, uygulama yönetimi, süreç dönüşümü ve organizasyonel uyum olmak üzere beş ana başlık altında incelemektedir. Herhangi bir akıllı teknoloji kullanmayıp, geleneksel yöntemlerle üretim yapan örnek bir orta ölçekli bir konfeksiyon fabrikası için akıllı teknolojilere geçiş projesinde ilk aşama olarak *Uçtan Uca Dijital Entegrasyon* sağlamak amacıyla geliştirilen PUKÖ döngüsünün aşamaları aşağıda sunulmuştur.

İlk Aşama: Planlama

- **Teknoloji Yönetimi:** Uçtan uca entegrasyon için gerekli Nesnelerin İnterneti altyapısı için ihtiyaç duyulan bileşenlerin (Sensör, RFID, Bulut Teknoloji, vb.) tespiti.
- **Veri Yönetimi:** Analiz için ihtiyaç duyulan, toplanması gereken verilerin tespiti.
- **Uygulama Yönetimi:** İhtiyaç duyulan yazılım gereksinimlerinin tespiti.
- **Süreç Dönüşümü:** Fabrikadaki hangi süreçlerin dijital dönüşüm teknolojileri ile yeniden yapılandırılacağına tespiti.
- **Organizasyonel Uyum:** Yapılması planlanan dijital dönüşüm için gerekli işgücünün niteliklerinin ve niceliklerinin tespiti.

İkinci Aşama: Uygulama

- **Teknoloji Yönetimi:** Nesnelerin İnterneti altyapısının kurulması, entegrasyonun sağlanması
- **Veri Yönetimi:** Verilerin Nesnelerin interneti teknolojileri ile toplanmaya başlanması, toplanan verilerin analiz edilmesi
- **Uygulama Yönetimi:** Yazılımların geliştirilmesi ve uygulamaya alınması, kullanıcılara karar destek sağlaması
- **Süreç Dönüşümü:** İş Süreçlerinin Yeniden Mühendisliği (BPR) yöntemi ile, fabrikadaki ilgili süreçlerin akıllı teknolojiler entegre edilerek yeniden yapılandırılmasının sağlanması.
- **Organizasyonel Uyum:** Yapılması planlanan dijital dönüşüm için gerekli işgücünün istihdam edilmesi.

Üçüncü Aşama: Kontrol Etme

- **Teknoloji Yönetimi:** Nesnelerin İnterneti altyapısıyla ilgili bir sorun olup olmadığı, planlandığı gibi işleyip işlemediği kontrol edilir.
- **Veri Yönetimi:** Verilerin Nesnelerin interneti teknolojileri ile toplanması ve analiz edilmesi sürecinin planlandığı gibi işleyip işlemediği kontrol edilir.
- **Uygulama Yönetimi:** Kullanılan yazılımların beklenen işlevleri, doğru, zamanında, tutarlı bir şekilde yerine getirip getirmediği kontrol edilir.

- **Süreç Dönüşümü:** Yeniden yapılandırılan iş süreçlerinin etkin bir şekilde işleyip işlemediği kontrol edilir.
- **Organizasyonel Uyum:** İstihdam edilen işgücünün yeterli olup olmadığı, eğitim veya nicel ve nitel anlamda işgücü ihtiyacı kontrol edilir.

Dördüncü Aşama: Önlem Alma

- **Teknoloji Yönetimi:** Nesnelerin İnterneti altyapısıyla ilgili bir sorun tespit edildi ise değerlendirilerek, önlem alınması sağlanır.
- **Veri Yönetimi:** Verilerin Nesnelerin interneti teknolojileri ile toplanması ve analiz edilmesi süreciyle ilgili bir sorun tespit edildi ise değerlendirilerek, önlem alınması sağlanır.
- **Uygulama Yönetimi:** Kullanılan yazılımlarla ilgili bir sorun tespit edildiyse, değerlendirilerek çözüm uygulanır.
- **Süreç Dönüşümü:** Yeniden yapılandırılan iş süreçleri değerlendirilerek, bir sorun veya iyileşme ihtiyacı tespit edilmesi durumunda, önlemler değerlendirilerek, en uygun önlem uygulamaya alınır.
- **Organizasyonel Uyum:** İstihdam edilen işgücü değerlendirilerek, bir sorun veya iyileşme ihtiyacı tespit edilmesi durumunda, önlemler değerlendirilerek, en uygun önlem uygulanır.

“Uçtan Uca Dijital Entegrasyon” sağlamak amacı ile PUKÖ döngüsü tamamlandıktan sonra, “gerçek zamanlı performans yönetimi” sağlamak amacı ile yeni bir PUKÖ döngüsü başlatılır. Bu şekilde en önemli olandan başlayarak, iteratif bir yaklaşım ile akıllı teknolojilerin adaptasyonunun sağlanması önerilmektedir.

SONUÇ

Yeni bir sanayi devriminin eşiğinde bulunduğumuz bu dönemde, çetin küresel rekabet ortamında ayakta kalabilmek için yeni devrimin getirdiği teknolojileri en kısa sürede benimsemek çok önemli bir rol oynayacaktır. Bu çalışma kapsamında, ülkemizin lokomotif sektörü olan hazır giyim ve konfeksiyon sektöründeki firmalara yön göstermek amacı ile dördüncü sanayi devrimi teknolojilerinin etkisi ile konfeksiyon sektöründe oluşabilecek yenilikçi yaklaşımlar önerilen Akıllı Konfeksiyon Fabrikası altında geliştirilmiştir. Bu kapsamda oluşabilecek faydalar ve karşılaşılabilecek zorluklar analiz edilmiş, iteratif bir yaklaşımı içeren uygulama planı önerilmiştir.

Gelecek çalışmalara yönelik olarak, önerilen sistemin uygulama planının, bir vaka çalışması kapsamında orta ölçekli bir konfeksiyon fabrikasında hayata geçirilmesi hedeflenmektedir. Böylece, üreticilerin ve uygulayıcıların görüşleri doğrultusunda, Akıllı Konfeksiyon Fabrikası yapısının uygulanabilir ve yeterli olup olmadığının doğrulanması amaçlanmaktadır.

REFERANSLAR

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355–385.

http://www.ajit-e.org/?menu=pages&p=details_of_article&id=403

- Chen, T., Wang, Y.-C., & Lin, Z. (2014). Predictive distant operation and virtual control of computer numerical control machines. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1–17.
- Cooray, P., & Rupasinghe, T. (2015). A Real Time Production Tracking and a Decision Support System (PTDSS): A Case Study from an Apparel Company.
- Deming, W. E. (1951). *Elementary principles of the statistical control of quality: a series of lectures*. Nippon Kagaku Gijutsu Remmei.
- Gil, P., Mateo, C., & Torres, F. (2014). 3D visual sensing of the human hand for the remote operation of a robotic hand. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(2), 26.
- Gökalp, E., Gökalp, M. O., & Eren, P. E. (2018). Industry 4.0 Revolution in Clothing and Apparel Factories: Apparel 4.0. İçinde *Industry 4.0 from the MIS Perspective* (ss. 169–183). Bern, Switzerland: Peter Lang.
- Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017). *Development of an assessment model for industry 4.0: Industry 4.0-MM. Communications in Computer and Information Science* (C. 770). https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10
- Gokalp, M. O., Kayabay, K., Akyol, M. A., Eren, P. E., & Kocyigit, A. (2016). Big Data for Industry 4.0: A Conceptual Framework. İçinde *2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)* (ss. 431–434). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSCI.2016.0088>
- Gökalp, M. O., Kayabay, K., Çoban, S., Yandık, Y. B., & Eren, P. E. (2019). Büyük Veri Çağında İşletmelerde Veri Bilimi.
- Grant, R. M. (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic management journal*, 17(S2), 109–122.
- Islam, M., Mohiuddin, H. M., Mehidi, S. H., & Sakib, N. (2014). An optimal layout design in an apparel industry by appropriate line balancing: A case study. *Global Journal of Research In Engineering*, 14(5).
- Jayatilake, H., & Rupasinghe, T. D. (y.y.). Implementing Industry 4.0 in the apparel industry; A study to design a customized smart apparel production plant.
- Jayatilake, H., & Withanaarachchi, A. S. (2016). Industry 4.0 in the Apparel-Manufacturing Sector: Opportunities for Sri Lanka.
- Juels, A. (2006). RFID security and privacy: A research survey. *IEEE journal on selected areas in communications*, 24(2), 381–394.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for Implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 working group*. Forschungsunion.
- Kayabay, K., Akyol, M. A., Gökalp, M. O., Koçyiğit, A., & Eren, P. E. (2018). Current Research Topics in Industry 4.0 and an Analysis of Prominent Frameworks. İçinde *Industry 4.0 from the MIS Perspective* (ss. 126–139). Bern, Switzerland: Peter Lang.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3726/b15120>

Kayabay, K., Gokalp, M. O., Akyol, M. A., Eren, P. E., & Kocyigit, A. (2016). GELECEĞİN KURULUŞLARI İÇİN BÜYÜK VERİ: MEVCUT DURUM VE EĞİLİMLER.

Kayabay, K., Gokalp, M. O., Eren, P. E., & Koçyiğit, A. (2018). [WiP] A Workflow and Cloud Based Service-Oriented Architecture for Distributed Manufacturing in Industry 4.0 Context. İçinde *2018 IEEE 11th Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA)* (ss. 88–92). IEEE.

Keung Kwok, S., & Wu, K. K. W. (2009). RFID-based intra-supply chain in textile industry. *Industrial Management & Data Systems*, 109(9), 1166–1178.

Lee, J., Kao, H.-A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia Cirp*, 16, 3–8.

Lisboa, H. B., de Oliveira Santos, L. A. R., Miyashiro, E. R., Sugawara, K. J., Miyagi, P. E., & Junqueira, F. (2013). 3D virtual environments for manufacturing automation. İçinde *22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013), University of São Paulo, Brazil November* (ss. 3–7).

McNeil, I. (2002). *An encyclopedia of the history of technology*. Routledge.

Monostori, L. (2015). Cyber-physical production systems: roots from manufacturing science and technology. *at-Automatisierungstechnik*, 63(10), 766–776.

Pham, A. (2009). E3: Microsoft shows off gesture control technology for Xbox 360. *Los Angeles Times*, 1.

Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.

Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 93(10), 96–114.

Prasanna, K. R., & Hemalatha, M. (2012). RFID GPS and GSM based logistics vehicle load balancing and tracking mechanism. *Procedia Engineering*, 30, 726–729.

Rajkumar, R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010). Cyber-physical systems: the next computing revolution. İçinde *Design Automation Conference (DAC), 2010 47th ACM/IEEE* (ss. 731–736). IEEE.

Sääski, J., Salonen, T., Liinasuo, M., Pakkanen, J., Vanhatalo, M., & Riitahuhta, A. (2008). Augmented reality efficiency in manufacturing industry: a case study. İçinde *DS 50: Proceedings of NordDesign 2008 Conference, Tallinn, Estonia, 21.-23.08. 2008*.

Şener, U., Gokalp, E., & Eren, P. E. (2018). Toward A Maturity Model for Industry 4.0: A Systematic Literature Review. İçinde *Industry 4.0 from the MIS Perspective* (ss. 290–302). Bern, Switzerland: Peter Lang.

Srivastava, S. K. (2016). *Industry 4.0. Lucknow: BHU Engineer's Alumni*.

Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of*
http://www.ajit-e.org/?menu=pages&p=details_of_article&id=403

communication, 42(4), 73–93.

Steven, A. (2000). *Information systems: A management perspective*. Addison-Wesley.

Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: a critical review. *Sensors*, 14(7), 11957–11992.

Sveiby, K.-E. (2001). A knowledge-based theory of the firm to guide in strategy formulation. *Journal of intellectual capital*, 2(4), 344–358.

TEA. (2018). <http://www.tim.org.tr/>. Tarihinde adresinden erişildi <http://www.tim.org.tr/>

Von Solms, R., & Van Niekerk, J. (2013). From information security to cyber security. *computers & security*, 38, 97–102.

World Economic Forum. (2016). *The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*. World Economic Forum, Geneva, Switzerland.

Zhang, Y., Huang, G. Q., Sun, S., & Yang, T. (2014). Multi-agent based real-time production scheduling method for radio frequency identification enabled ubiquitous shopfloor environment. *Computers & Industrial Engineering*, 76, 89–97.

Zhong, R. Y., Dai, Q. Y., Qu, T., Hu, G. J., & Huang, G. Q. (2013). RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(2), 283–292.

