

Büşra ERASLAN

Doktora Öğrencisi | PhD Student
İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya ABD, İstanbul-TÜRKİYE
Istanbul University, Institute of Social Sciences, Department of Geography, Istanbul-TURKIYE
ORCID: 0000-0003-1822-2368
busraayan9555@gmail.com

Ahmet UYSAL

Doç. Dr. | Assoc. Prof.
Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya ABD, Nevşehir-TÜRKİYE
Hacı Bektaş Veli University, Faculty of Letters, Department of Geography, Nevşehir-TURKIYE
ORCID: 0000-0003-3278-5570
ahmetuysal@nevsehir.edu.tr

Endüstri 4.0 Çağında Türkiye: Akıllı Fabrikaların Yükselişi ve Mekânsal Dinamikler*

Öz

Üretim sektöründeki teknolojik ilerlemeler, geçmişten günümüze kadar sosyal ve ekonomik yaşamı köklü bir şekilde etkilemiştir. Özellikle Dördüncü Endüstri Devrimi, mevcut ve gelecek koşullarımızı inkâr edilemez biçimde dönüştürmektedir. Endüstri 4.0, ilk defa 2011 yılında Almanya tarafından, bir dizi yeni teknolojiyi bütünleştiren bir ekonomik ve politik strateji olarak ortaya konulmuştur. Diğer ülkeler de bu kavrama farklı tanımlar yükleyerek ulusal planlarını duyurmuşlardır. Endüstri 4.0 kavramı, iletişim ve bilişim teknolojileri, internet ve Nesnelerin İnterneti (IoT), otomasyon, simülasyon, siber güvenlik, siber-fiziksel sistemler, büyük veri analizi, bulut bilişim, dijital ikizler, robotik ve yapay zeka gibi teknolojilerin üretim süreçlerindeki yoğun etkileşimi ve bu etkileşimin sonucunda meydana gelen dönüşümü ifade etmektedir. Endüstri 4.0, özellikle üretim sektöründe ekonomik yapıları derinden etkileyerek devletlerin rekabet gücünü artırmak ve hızlı teknolojik değişimlere adaptasyon sağlamak için stratejik planlamalar yapmalarına neden olmaktadır. Türkiye'de de son dönemlerde Endüstri 4.0'a büyük önem verilmekte ve bu yeni sanayi devrimine geçiş için stratejik yol haritaları geliştirilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı da, Endüstri 4.0 çerçevesinde tartışılan yeni teknolojilerin Türkiye'deki akıllı fabrikalarda yaşanan sosyo-mekânsal dönüşümlerini anlamaktır. Bu bağlamda, çeşitli fabrikaların ve sektörlerin mevcut durumları ile geleceğe yönelik beklentileri hakkında genel bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmıştır. Araştırma metodolojisi olarak derinlemesine görüşmeler ve söylem analizi kullanılmış, Endüstri 4.0'a uyum sürecinde olan işletmelerin yöneticileri ve dijitalleşme alanında uzman kişilerle görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, çeşitli fabrika ve sektör temsilcileri ile yapılan görüşmelere ek olarak, medyada öne çıkan sektör liderlerinin açıklamaları da analiz edilmiştir. Katılımcılar, Endüstri 4.0'a geçişin zorunlu olduğunu belirtmişler, ancak yeni teknolojilerin işletmelere entegrasyonunda mevcut bilgi, bilişim ve iletişim altyapılarının yetersiz kaldığını ifade etmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Dijital dönüşüm, Teknolojik ve mekânsal dönüşüm, Akıllı fabrika.

Turkey in the Age of Industry 4.0: The Rise of Smart Factories and Spatial Dynamics

Abstract

Technological advancements in the manufacturing sector have profoundly impacted social and economic life from past to present. Particularly, the Fourth Industrial Revolution is undeniably transforming our current and future conditions. Industry 4.0, first introduced by Germany in 2011 as an economic and political strategy integrating a range of new technologies, has been interpreted and adopted differently by various countries in their national plans. The concept of Industry 4.0 encompasses the intensive interaction of technologies such as communication and information technologies, the Internet and the Internet of Things (IoT), automation, simulation, cybersecurity, cyber-physical systems, big data analytics, cloud computing, digital twins, robotics, and artificial intelligence in

* Bu makale, yazarın "Teknolojik ve Sosyo-Mekansal Dönüşüm: Türkiye'de Akıllı Fabrikalar" başlıklı yüksek lisans tezi çalışmasından üretilmiştir.

production processes, resulting in significant transformations. Industry 4.0 profoundly impacts economic structures in the manufacturing sector, prompting nations to enhance their competitive advantage and strategically plan for rapid technological changes. Recently, Turkey has also prioritized Industry 4.0, developing strategic roadmaps for transitioning to this new industrial revolution. The primary aim of this study is to understand the socio-spatial transformations in smart factories in Turkey, discussed within the framework of Industry 4.0. The study attempts to provide a general overview of the current situations and future expectations of various factories and sectors. The research methodology includes in-depth interviews and discourse analysis, involving conversations with managers of businesses adapting to Industry 4.0 and experts in digitalization. In addition to interviews with factory and sector representatives, statements from prominent industry leaders in the media were also analyzed. Participants emphasized the necessity of transitioning to Industry 4.0 but noted that current knowledge, information, and communication infrastructures are insufficient for integrating new technologies into businesses.

Keywords: Industry 4.0, Digital transformation, Technological and spatial transformation, Smart factory.

1. Giriş

Sanayi devrimleri hem sosyal hem de ekonomik yapıları derinden etkileyerek insanlık tarihinde önemli bir rol üstlenmiş ve günümüz ekonomik ve sosyal yaşamının gelişimine katkı sağlamıştır (Mohajan, 2019). 1760 ile 1830 yılları arasında İngiltere'de meydana gelen Birinci Sanayi Devrimi sırasında, buhar gücü üretim tezgâhlarının geliştirilmesi ve üretim sisteminin performansının artırılması amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Manavalan & Jayakrishna, 2019). İkinci Sanayi Devrimi, 1850'li yıllarda kömür, demir, çelik, buhar ve petrol gibi kimyasal maddeler ile elektrik teknolojisinin fabrika, atölye ve diğer üretim alanlarında kullanımını başlatmıştır. Bu dönem, endüstride elektriğin kullanımını ve üretim hacmi oluşturarak elektrik gücünün optimizasyonunu öne çıkarmıştır (Manavalan & Jayakrishna, 2019, p. 934). Üçüncü Sanayi Devrimi ise 1969 yılında bilişim ve programlama teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler sayesinde fabrikalarda gelişmiş bir dijitalleşme üzerine kurulmuştur (Drath & Horch, 2014). Dördüncü Sanayi Devrimi ise, teknolojik ilerlemelerle hızlı ve yenilikçi bir üretim tarzını tanımlamaktadır ve bu kavram ilk kez 2011 yılında Hannover Sanayi Fuarı'nda ortaya atılmıştır (Kang et al., 2016). İlerleyen yıllarda, bu yeni üretim biçimi üzerinde Almanya ve benzer şekilde ABD ile Çin, kendi teknoloji stratejilerini geliştirmişlerdir (Zhang et al., 2017). Endüstri 4.0, bilişim ve internet teknolojilerinin üretim süreçlerine entegrasyonu ile, insan, makine ve altyapıların etkileşiminden doğan dijital bir dönüşümle karakterize edilen 'Akıllı Üretim Sistemi'ni ortaya çıkarmıştır. Bu yeni dönem, mekanik sistemlerin yerini alarak, üretimde siber fiziksel sistemlere geçişi simgelemektedir (TÜBİTAK, 2016). Kısacası, endüstri 4.0, makinelerin üretim sürecinde birbiriyle insan kontrolü olmadan etkileşime girdiği akıllı bir üretim ağını ifade etmektedir (Özsoylu, 2017). Akıllı Fabrikalar ve Geleceğin Tesisleri, sanayinin geleceğini öngörür. Bu vizyonu hızlandıran faktörler arasında hızla gelişen teknoloji, çeşitlenen küresel talep, tedarik zinciri karmaşıklığı ve bilişim ile operasyonel teknolojilerin birleşmesi yer almaktadır (Deloitte, 2017). Bu bağlamda akıllı fabrika kavramının yıllar içerisinde nasıl ele alındığına dair bir literatür çalışması yapılmaya çalışılarak konunun özü daha iyi bir şekilde irdelenecektir.

Endüstri 4.0 kavramını tanıtan ilk çalışmalardan biri olan Lucke et al. (2008)'e göre Stuttgart Modeli ile adaptif, dönüştürülebilir ve sanal fabrikalara yönelik "Akıllı Fabrika" kavramını ortaya koymuştur. Radziwon et al. (2014) ise IoT ve yaygın bilgi işlem teknolojilerinin akıllı fabrikaları nasıl dönüştürdüğünü ve özellikle KOBİ'ler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Hozdić (2015)'e göre Endüstri 4.0'ın akıllı fabrikalara olan etkisini inceleyerek, siber-fiziksel sistemlerin (CPS) ve IoT'nin bu yeni üretim döneminde merkezi bir rol oynadığını vurgulamıştır. Bu çalışmaların devamında, Hwang et al. (2017) IoT tabanlı bir performans ölçüm sistemi geliştirmiş ve bu sistemin siber-fiziksel sistemlerin (CPS) ve akıllı fabrika ortamlarında nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceğini araştırmıştır. Mehrpouya et al. (2019) akıllı fabrikalarda katkı maddeli üretimin potansiyelini ve sürdürülebilirlik yönlerini derinlemesine incelemiş, bu teknolojinin ekonomik, sosyal ve çevresel katkılarını ve gelecekteki trendlerini tartışmışlardır. Shi et al. (2020) akıllı fabrikaların geleneksel üretim sistemlerinden zeki üretim sistemlerine dönüşümünü ele

alırken, bu süreçte karşılaşılan zorlukları ve CPS'lerin rekabetçilik üzerindeki potansiyel etkilerini vurgulamışlardır. Gao et al. (2020) akıllı fabrikalardaki büyük veri analitiğinin önemine değinerek, sensörlerin ilerlemesiyle artan veri miktarının nasıl değerli bilgiye dönüştürülebileceğini tartışmışlardır. Evjemo et al. (2020) insan ve endüstriyel robotların akıllı fabrikalardaki rollerini tartışarak, teknolojilerin üretim süreçlerindeki dönüşümleri ve gelecekteki akıllı üretimleri nasıl şekillendireceğini incelemişlerdir. Olyai et al. (2020) ise iş süreci yönetim sistemlerinin (BPMS) akıllı fabrikalarda nasıl daha dinamik iş süreçlerini destekleyebileceğini araştırmışlar ve süreçlerin daha etkin izlenmesi ve yönetilmesi için yeni bir BPMS prototipi sunmuşlardır. Sinha and Roy (2020) siber-fiziksel sistemlerin (CPS) Endüstri 4.0 kapsamında akıllı fabrikalarla olan etkileşimini ve bunun sosyo-ekonomik sonuçlarını derinlemesine inceleyerek, CPS'lerin sanayi alanında nasıl bir dönüşüm yarattığını ve bu teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunun getirdiği yeni yönetim zorluklarını tartışmışlardır. Ryalat, et al. (2023) siber-fiziksel sistemler ve Nesnelere İnternet'ini kullanarak akıllı bir fabrika tasarımı sunmuş ve Endüstri 4.0 altında yeni nesil üretim teknolojilerinin nasıl entegre edilebileceğini göstermiştir. Gu and Koren (2024) otomotiv endüstrisinde akıllı fabrikalar için anahtar teknolojilerin durumunu ve uygulamalarını ele alarak, dijital ikizler, katkı maddeli üretim, yapay zeka destekli izleme ve denetim, insan-robot iş birliği ve gelişmiş tedarik zinciri ve lojistik gibi beş temel teknolojiyi tanımlamışlardır. Son olarak, Kim et al. (2024) akıllı fabrikalarda süper iletken hibrit MagLev taşıma sistemleri için optimal kontrol yöntemlerini geliştirirken, çoklu sensörlerden alınan verilerin entegrasyonunu sağlayan bir sensör füzyon yöntemi önermiştir.

Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri, modern üretim süreçlerinin temel taşlarını oluşturan çeşitli teknolojileri içermektedir. Bu bileşenler, siber fiziksel sistemlerden büyük veri analizine kadar geniş bir yelpazede yer almakta ve akıllı fabrikaların geliştirilmesinde kritik rol oynamaktadır. Aşağıda Endüstri 4.0 bileşenlerine dair detaylı bilgiler verilmiştir.

Endüstri 4.0'ın temelini oluşturan teknolojiler, üretim süreçlerini derinden etkileyen yenilikler sunmaktadır. Siber-fiziksel sistemler, Lee (2006) tarafından tanımlanmış olup, fiziksel dünya ile bilgisayar ağları üzerinde kurulu sanal ortamların bütünleşik bir şekilde işlenmesini sağlamaktadır. Alçın (2016), bu sistemlerin endüstrinin verimliliğini artırarak değişen üretim ihtiyaçlarına cevap verdiğini vurgulamaktadır. Nesnelere İnterneti (IoT), Öztuna (2017) tarafından, dijital cihazların ağ üzerinden fiziksel nesnelere bağlantı kurmasını sağlayan teknoloji olarak tanımlanırken, Banger (2017) bu teknolojinin veri toplama ve iletişim kapasitelerine dikkat çekmektedir. Bulut bilişim ise Zhou et al. (2015) tarafından düşük maliyetli ve yüksek performanslı bir bilgi işlem teknolojisi olarak tanımlanarak bu teknolojinin hizmet ve servis sağlayıcılar aracılığıyla kaynakların paylaşımını mümkün kıldığını belirtmektedir. Büyük veri ve analizi, Marinagi et al. (2023) tarafından, kuruluşlarda karar verme süreçlerini destekleyen bir araç olarak öne çıkar ve büyük hacimli verilerin analiz edilerek değerli bilgilere dönüştürülmesini sağlamaktadır. Simülasyon teknolojisi, Satyro et al. (2023) tarafından, bir sistemin veya nesnenin sanal ortamda modellenmesi olarak ifade edilir ve bu, üretimden önce potansiyel sorunların azaltılmasında ve süreçlerin optimizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Siber güvenlik, Azambuja et al. (2023) tarafından, siber tehditlerin tamamen ortadan kaldırılamayacağını ancak zararlı etkilerinin azaltılması için teknoloji ve araştırma geliştirmenin şart olduğunu vurgulayan bir alan olarak ele almaktadır. Arttırılmış gerçeklik, Marinagi et al (2023) tarafından, gerçek zamanlı olarak sanal unsurlarla birleştirilmiş gerçek dünya ortamını kullanma imkânı sunan bir teknoloji olarak tanımlanır; Banger (2017) ise bu teknolojinin iş süreçlerinde nasıl bir devrim yarattığını anlatmaktadır. Otonom robotlar, Soares et al. (2021) tarafından, insanlarla iş birliği içinde çalışabilen ve belirli görevleri otomatik olarak yerine getirebilen robotlar olarak tanımlanırken, Yazıcı (2016) bu robotların esnek üretim yöntemleri açısından kritik öneme sahip olduğunu belirtmektedir. Dijital ikizler, Lattanzi et al. (2021) tarafından işletmelerde nasıl yaygın olarak kullanılmaya başlandığını belirten bir teknoloji olarak ortaya koymaktadır. Katmanlı imalat ise

Satyro et al. (2023) tarafından, ardışık malzeme katmanlarının biriktirilmesi yolu ile üç boyutlu nesnelerin üretilmesini sağlayan bir yöntem olarak ifade edilmektedir. Son olarak, akıllı fabrikalar, Hozdic (2015) tarafından, fiziksel ve sanal dünyanın entegrasyonunu sağlayan ve veri değişiminin gerçekleştiği zeki organizmalar olarak tanımlanır. Bu teknolojilerin hepsi, modern üretim sistemlerinin etkinliğini artırmak için kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmalar ışığında, akıllı fabrikaların ve Endüstri 4.0'ın gelişimi, sanayide önemli bir dönüşümü temsil etmektedir. Akıllı fabrikaların teknolojik ve ekonomik etkileri, gelecekteki üretim ve ekonomik modellerin şekillenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, metodolojik olarak, literatürdeki araştırmaların kapsamlı bir şekilde incelenmesi ve gelecekteki çalışmaların bu temel üzerine odaklanması önemlidir. Gelecek araştırmaların, akıllı fabrikaların operasyonel etkinliği, rekabet avantajları ve sosyo-ekonomik etkileri gibi alanlarda derinlemesine analizler yapılması beklenmektedir.

2. Metodoloji

Bu çalışma, Endüstri 4.0 kapsamında yeni nesil teknolojilerin akıllı fabrika konseptine uygulanabilirliğini ve mekânsal yansımalarını incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, geçmiş sanayi devrimlerinin evrelerini ve üretim süreçlerine etkilerini değerlendirerek, dijitalleşen fabrikaların sosyo-mekânsal dönüşümünü Türkiye özelinde analiz etmeye odaklanmıştır. Bu amaç doğrultusunda araştırma sorusu oluşturulmuştur. Araştırma sorusu, Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti bağlamında dijitalleşen fabrikaların özellikleri nelerdir ve bu dijitalleşen fabrikaların sosyo-mekânsal dönüşümü Türkiye özelinde nasıl gerçekleşecektir? şeklindedir.

2.1. Araştırma Yöntemi

Bu araştırma, Endüstri 4.0'a uyum sağlamaya çalışan fabrikaların dijitalleşme sürecini ve bu alanda uzmanlaşmış kişilerin perspektiflerini anlamak amacıyla derinlemesine görüşme yöntemi ve söylem analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Derinlemesine görüşme yöntemi, yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış görüşmeler şeklinde katılımcılara önceden hazırlanmış soruların yöneltilmesiyle uygulanmıştır. Bu yöntemin tercih edilme sebepleri arasında soruların yanıtı kalmaması, katılımcıların hal ve hareketlerinin gözlemlenmesi, elde edilen verilerin ilk ağızdan teyit edilmesi ve konunun derinlemesine incelenebilmesi yer almaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2008). Görüşmeler sırasında alınan cevaplar sınıflandırılarak yeni sorularla konunun daha detaylı incelenmesi sağlanmıştır.

Söylem analizi ise araştırmanın ana malzemesini yazılı, sözlü ve sözsüz içerikler oluşturmuştur. Bu içerikler arasında haber yazıları, siyasi parti, örgüt ve işletme bildirimleri, akademik makaleler ve internet üzerindeki sosyal ilişkiler de bulunmaktadır (Sözen, 1999). Toplanan verilerin analizi, sözcüklerin, cümlelerin ve bunlar arasındaki bağlantıların yorumlanması ve genel şemaların ortaya çıkarılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Baş & Akturan, 2008).

Araştırma örnekleminde Endüstri 4.0'a uyum sağlayan ve dijitalleşme süreci içerisinde olan fabrikaların üst düzey yöneticileri, dijitalleşme alanında uzman çalışanlar ve farklı sektörlerden bu konuda bilgi sahibi kişiler yer almıştır. Örneklem seçimi sürecinde, katılımcıların uzmanlık alanları ve deneyimleri dikkate alınmış, uygun kişilerle iletişim kurulmuş ve görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinde toplamda 80'den fazla kişiyle irtibata geçilmiş ancak sadece 20 kişiyle görüşme yapılmıştır. Bunun dışında medya üzerinden yapılan araştırmalarda Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalarla ilgili haberler, röportajlar, köşe yazıları, verilen demeçler, reklamlar ve sloganlar söylem analizi için kaynak olarak kullanılmıştır.

2.2. Araştırmanın Önemi

Endüstri 4.0, nesnelerin interneti ve akıllı üretim sistemlerinin ekonomik ve sosyal yapılar üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, bu çalışma işletmelerin geleceğe yönelik stratejiler

geliştirmesine yardımcı olacak bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, Türkiye’de bu alanda yapılan çalışmaların sınırlı olması nedeniyle elde edilen bulguların alandaki boşlukları doldurması ve ileriki araştırmalara yol göstermesi beklenmektedir.

2.3. Sınırlılıklar

Araştırmanın sınırlılıkları arasında katılımcı sayısının azlığı ve dijital dönüşüm bilgisi yetersiz işletmelerin araştırma dışında kalması yer alıyor. Katılımcıların yoğun iş temposu nedeniyle görüşmelerde zorluklar yaşanmış ve yeterli veri elde edilememiştir. Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar üzerine yapılan araştırmalar genellikle mühendislik alanındaki profesyoneller tarafından yürütülmekte olup disiplinler arası yaklaşımlar sınırlıdır. Türkiye’deki akıllı fabrikalarla ilgili çalışmalar kaynak yetersizliği nedeniyle derinlemesine bilgi edinmeyi zorlaştırmaktadır. Özelleştirilmiş görüşme formu eksikliği, araştırmacıları derinlemesine görüşme yöntemlerine yöneltmiştir. Araştırma, sektör lideri firmalarla yapılan görüşmeler, akademik bakış açıları, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı’nın etkinlikleri ve medyadaki paydaşların görüşlerine dayanmaktadır. Bu geniş katılımcı yelpazesi, araştırmanın kapsamlılığını ve derinliğini artırarak çok yönlü bir bakış açısı sunmaktadır.

Tablo 1

Mülakat Görüşmesi Yapılan Katılımcılar ve Genel Bilgiler

Katılımcı Adı ve Soyadı	Kurum	Görev
Adem Kayar	Mcs Factory	İşletme Sahibi
Ahmet Alıcı	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Dijital Dönüşüm Uzmanı
Ali Rıza Ersoy	Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 Derneği	Yönetim Kurulu Başkanı
Altay Kermooğlu	Tofaş	Dijital Otomasyon Yöneticisi
Aysun Vatansever	Mcs Factory	Endüstri Mühendisi
Çağatay Özak	Arçelik	Dijital Ürün Sistemleri Müdürü
Doğan Ercan	Festo	Dijital Dönüşüm Uzmanı
Emir Karaaslan	Brisa Bridgestone Sabancı	Üretim Sistemleri
Engin Alan	Binovist Bilişim Danışmanlık	Danışmanlık
M. Özgür Güngör	İstanbul Okan Üniversitesi	Dr. Öğr. Üyesi, İşletme
Mehmet Taşoğulları	Vaillant Gmbh / Almanya	İş Uygulamaları Danışmanı
Mutlu Altın	Brisa Bridgestone Sabancı	Fabrika Otomasyon Sistemleri
Sedat Temiz	Tofaş	Ürün Direktörü
Selim Eraslan	Gümüşhane Üniversitesi	Dr. Öğr. Üyesi, Coğrafya
Sertaç Samioğlu	Yazar	İot Uzmanı
Tolga Şimşek	Siemens	Endüstriyel Otomasyon

Çalışmanın söylem analizi bölümü için seçilen örneklem grubu Tablo 2’de sunulmuştur. Örnekleme oluştururken dikkate alınan önemli hususlardan ilki, mülakat görüşmelerinde çeşitli sektörlerden bireylerin söylemlerinin tercih edilmesidir. İkinci olarak ülkemizde dördüncü sanayi devriminin tartışılmaya başlandığı ilk zamanlardan itibaren medyada öne çıkan kişilikler göz önünde bulundurulmuştur. Son olarak, mülakata dahil edilemeyen ancak birçok dönüşüm projesi yürüten işletmeler de ihmal edilmemiştir.

Tablo 2

Medya Üzerinden Söylem Analizi Yapılan Kişiler ve Genel Bilgiler

Katılımcı Adı ve Soyadı	Kurum	Görev
Ahmet Can	Tv Programcısı	Teknoloji Yazarı
Arda Kocaman	Kuma	Kurucu Ortak
Burak Polat	Skysense	Kurucu Ortak
Bülent Acicbe	Mercedes Benz	İcra Kurulu Üyesi
Cihat Kahraman	Hangaarlab	Kurucu Ortak
Dr. Murad Ardaç	Koç Holding	Dijital Dönüşüm Danışmanı
Erol Bilecik	Tüsiad	Genel Başkan
Mustafa Acungil	Yazar	Teknoloji
Mustafa İçil	İçil Strateji ve Danışmanlık	Kurucu S
Oğuzhan Öztürk	Arçelik	Teknoloji Müdürü
Ömer Özgür Çetinoğlu	Tofaş	Bilgi İletişim Teknolojileri Müdürü
Pınar Yazar	4C1H	Kurucu, Kültür Tasarımcısı
Tolga Eşiz	Paperwork	Satış Direktörü
Turan Erdoğan	Vestel	İcra Kurulu Müdürü

3. Bulgular

3.1. Dijital Dönüşüm Öncesi ve Sonrası: Geleneksel Fabrikalar ve Akıllı Fabrikalar

Bulgular bölümünün bu kısmında, bir fabrikanın dijital dönüşüm öncesi ve sonrasındaki değişiklikleri ele alınacaktır. Dijitalleşme sürecinin etkilerini anlamak için fabrikada meydana gelen dönüşümü etkileyen içsel ve dışsal unsurlar incelenecektir. Yapılan görüşmeler neticesinde ortaya çıkan ortak temalar üzerinden dijital dönüşüm öncesi ve sonrası fabrikalardaki değişim ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ortak temalar ise şu şekilde ortaya çıkmıştır. Jenerasyonlar arası farkların dijitalleşme ile daha belirgin hale geldiği, istihdamdaki değişiklikler ve bu değişikliklerden işçilerin nasıl etkilendiği, dijital dönüşümde eğitimin rolü, devlet politikalarının eğitim müfredatlarına yansımaları gibi konular irdelenmiştir. Yeni teknolojilerin sektörel etkileri ve meslek grupları üzerinde yaratıcı ve yıkıcı etkileri, bireylerin dönüşümden nasıl etkilendiği ve toplumdaki değişimler, üretim hızı ve çeşitliliğindeki artışın müşteri beklentileri üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Son olarak da Türkiye'nin dijital dönüşüm politikalarının bu süreçteki rolleri ve etkileri değerlendirilmiştir.

• **Jenerasyonlar Arası Farklar ve Dijitalleşme:** Dijital dönüşüm, farklı yaş gruplarındaki çalışanlar arasında belirgin farklılıklar yaratmaktadır. Teknolojiyi benimseme konusunda genç kuşaklar daha rahatken, eski kuşaklar bu değişimlere uyum sağlamakta zorlanabilmektedir. Bu durum, iş yerinde eğitim programlarının önemini artırmakta ve jenerasyonlar arası etkileşimi şekillendirmektedir.

• **İstihdamdaki Değişiklikler:** Dijital teknolojilerin fabrikalara entegrasyonu, iş gücü piyasasında yapısal değişikliklere yol açmaktadır. Otomasyon ve yapay zekâ, bazı işlerin ortadan kalkmasına neden olurken yeni iş alanları da yaratmaktadır. İşçilerin bu yeni duruma uyum sağlaması, sürekli eğitim ve yetenek geliştirme ile mümkün olmaktadır.

• **Dijital Dönüşümde Eğitimin Rolü:** Dijital dönüşüm sürecinde eğitimin önemi büyük ölçüde artmıştır. Fabrikalar, çalışanlarını yeni teknolojilere uyum sağlayabilecek şekilde eğitmek

zorundadır. Aynı zamanda eğitim kurumları da endüstriyel ihtiyaçlara uygun müfredatlar geliştirerek bu dönüşüme destek vermelidir.

• **Devlet Politikaları ve Eğitim Müfredatları:** Devletler, dijital dönüşümü destekleyecek politikalar geliştirerek eğitim sistemlerini bu yeni ihtiyaçlara göre düzenlemelidir. Türkiye'de de dijital dönüşüm politikaları, eğitim müfredatlarının güncellenmesiyle entegre edilmekte, böylece teknolojik yeniliklerin iş gücüne entegrasyonu hızlandırılmaktadır.

• **Yeni Teknolojilerin Sektörel Etkileri:** Yeni teknolojiler, özellikle üretim sektöründe büyük dönüşümlere yol açmaktadır. Bu teknolojiler hem iş yapış şekillerini değiştirmekte hem de yeni meslek gruplarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İşletmeler, bu değişime uyum sağlayarak rekabet avantajı elde edebilmektedir.

• **Bireylerin Dönüşümden Etkilenme Biçimleri:** Dijital dönüşüm, çalışanların iş anlayışını ve beklentilerini değiştirmektedir. İşçiler artık daha esnek çalışma koşulları ve sürekli öğrenme fırsatları beklemekte, bu durum işverenlerin insan kaynakları stratejilerini yeniden şekillendirmelerini gerektirmektedir.

• **Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Politikaları:** Türkiye, dijital dönüşüm sürecinde aktif bir rol olarak hem ulusal hem de uluslararası düzeyde rekabetçiliğini artırmayı hedeflemektedir. Bu süreçte devletin uyguladığı politikalar, teknolojik yatırımlar ve eğitim sistemlerinde yapılan güncellemeler kritik öneme sahiptir.

Detaylı mülakatlar ve konuşmaların yanı sıra, konuyu daha ayrıntılı bir şekilde anlamak amacıyla gerçekleştirilen söylem analizleri sonucunda elde edilen veriler, genel söylem temalarını içeren bir tabloya dönüştürülmüştür. Tablo 3, söylem analizlerinin kapsamlı bir özetini sunmakta olup araştırmada ele alınan temel söylemlerin ve kavramların özgün bir sentezini ortaya koymaktadır. Analizler, söz konusu temaların daha geniş bir perspektiften incelenmesine olanak tanıyarak konunun akademik literatüre olan katkısını belirginleştirmektedir.

Tablo 3

Genel Söylem Temaları

Genel	Söylemler
Teknolojik Determinizm	Çağı Yakalamak, Treni Kaçtırmamak, Açık Ofis Kavramı, İnsansız Fabrika, Görücü Usulü Üretim, Akıllı Robotlar,
Sürdürülebilir Teknoloji	Dijital Dönüşüm, Toplum 5.0, Dijital İkiz, Shared Economy, Start-Up, Çevik Yönetim, Esneklik,
Eleştirel Bakış	Teknolojik İşsizlik, Akıllı Fabrika Kavramı,

Tablo 3, akıllı fabrikaların gelişimi ve entegrasyonu üzerine yapılan görüşmeler neticesinde varılan genel söylem temalarını temsil etmekte ve bu temalar altında sıralanan özel söylemleri detaylandırmaktadır. Bu tablo, teknolojinin iş dünyası ve toplum üzerindeki etkilerini anlamak için farklı bakış açıları sunmaktadır.

Teknolojik Determinizm: Bu tema, teknolojinin kaçınılmaz ilerleyişini ve bu ilerleyişe ayak uydurmanın zorunluluğunu vurgulamaktadır. "Çağı Yakalamak" ve "Treni Kaçtırmamak" gibi ifadeler, teknolojik gelişmelerin fırsatlarını değerlendirme ve bu trendlerin gerisinde kalmama ihtiyacını betimlemektedir. "Açık Ofis Kavramı", iş yerlerindeki fiziksel ve işbirlikçi yapıların dönüşümünü; "İnsansız Fabrika" ve "Akıllı Robotlar", otomasyon ve yapay zekanın iş süreçlerindeki artan rolünü temsil etmektedir. Bu söylemler, teknolojinin getirdiği yenilikleri benimsemenin gerekliliğini ve bu yeniliklerin iş yapış şekillerini nasıl dönüştürdüğünü öne çıkarmaktadır.

Sürdürülebilir Teknoloji: "Dijital Dönüşüm", işletmelerin süreçlerini dijitalleştirilmesi ve verimliliği artırmasını; "Toplum 5.0" ise toplumun teknoloji ile daha fazla bütünleşmiş hale gelmesini ve bu süreçte insan odaklı bir yaklaşımı ifade etmektedir. "Dijital İkiz", fiziksel varlıkların dijital kopyalarının oluşturulması ve bu kopyalar üzerinden simülasyonlar yapılmasını; "Shared Economy" ve "Start-Up" terimleri ise yenilikçi iş modellerinin ve girişimciliğin önemini vurgulamaktadır. "Çevik Yönetim" ve "Esneklik", değişen piyasa koşullarına hızlı ve etkili bir şekilde uyum sağlama yeteneğini işaret etmektedir.

Eleştirel Bakış: "Teknolojik İşsizlik", otomasyonun iş gücü üzerindeki olası olumsuz etkilerine dikkat çekmektedir. Yapay zekâ ve robotların işleri üstlenmesi sonucu ortaya çıkabilecek işsizlik sorunları bu kategoride ele alınmaktadır. "Akıllı Fabrika Kavramı", bu yeni üretim yöntemlerinin iş dünyası ve çalışanlar üzerinde yarattığı zorlukları ve potansiyel çatışmaları tartışmaya açmaktadır.

Bu temalar, teknolojinin sürekli değişen doğasını ve bu değişimlerin toplum ile ekonomi üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde ele alır. Her tema, teknolojik ilerlemenin sağladığı fırsatlarla birlikte getirdiği zorlukları ve riskleri de göz önünde bulundurarak daha bilinçli ve dengeli bir teknolojik adaptasyon stratejisinin önemini vurgulamaktadır. Bu çerçevede, işletmelerin ve politika yapımcıların, teknolojik dönüşümleri yönetirken karşılaşılabilecekleri temel konulara dair farkındalıklarını artırır ve stratejik karar alma süreçlerine de rehberlik etmektedir.

3.2. Akıllı Fabrikaların Ağ Entegrasyonu: Avantajlar ve Dezavantajlar Üzerine Bir İnceleme

Akıllı fabrikaların değerlendirilmesi, eski ve yeni fabrika yapılarının iç içe geçmişliği çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu karmaşık yapının anlaşılmasında coğrafya alanındaki yeni yaklaşımlar önemli imkanlar sunmaktadır. Sosyal bilimlerdeki aktör-ağ teorisi (Latour, 1996), coğrafyacılar tarafından mekânsal analizlere uyarlanmış (Murdoch, 1998) ve bu teorik çerçevede, akıllı fabrikaların incelenmesinde büyük bir yarar sağlamaktadır. Bu bölümde aktör-ağ teorisinin sağladığı bütüncül ve ilişkisel bakış açısıyla akıllı fabrikalar derinlemesine incelenecektir. Teorinin kapsamlı bakış açısından ziyade, mekânla olan ilişkiler üzerinden bir hassasiyetle yaklaşılabilecek ve fabrikaların sosyo-mekânsal dinamikleri bu ağlar üzerinden ele alınacaktır. Akıllı fabrikalarla ilişkili olarak düşünüldüğünde hem insan (işveren, işçi, politikacılar, bilim insanları vb.) hem de insani olmayan (kavramlar, kurumlar, teknolojiler vb.) unsurlar ön plana çıkmaktadır. Aktör-ağ teorisi rehberliğinde, bu unsurların birlikte nasıl bir ağ oluşturduğu ve bu ağın nasıl işlediği sorgulanacaktır. Önceki bölümde bu unsurlar bazında yapılan tartışmaların ötesine geçilerek, zamansal ve mekânsal boyutlarıyla bu unsurların bir arada oluşturduğu yapısal bütünlük kabul edilecektir. Bu yaklaşım, akıllı fabrikalara bütüncül bir bakış açısı sağlarken, sürecin devamlılığını ve iç dinamiklerini daha net görmemizi sağlamaktadır. Bu geniş perspektif, avantaj ve dezavantajların daha sağlıklı değerlendirilmesine olanak tanıyacak ve süreçteki tüm paydaşların bakış açılarını kapsayacak şekilde, ilişkisel düşünce ile ele alınacaktır. Avantajlar ve dezavantajlar değerlendirmesi yapılırken görüşmeler neticesinde ortaya çıkan ortak temalar ele alınarak bir gruplandırma yapılmıştır.

Avantajlar

• **Verimlilik Artışı:** Akıllı fabrikalar, süreç otomasyonu ve geliştirilmiş üretim teknikleri sayesinde üretim verimliliğini büyük oranda artırmaktadır. Siber-fiziksel sistemler ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri, karmaşık yapıdaki ürünlerin daha hızlı ve hatasız bir şekilde üretilmesine imkân tanımaktadır. Bu sistemler, iş akışlarını optimize ederek sürekli gelişim sağlar ve zamanla üretim süreçlerinde sürekli iyileştirmeler yapılmasına olanak vermektedir.

• **Maliyet Azalımı:** Dijital dönüşüm, iş süreçlerindeki karmaşıklığı azaltarak işletme maliyetlerini düşürmektedir. Enerji tüketimi ve hammadde kullanımı, gelişmiş izleme ve kontrol

sistemleri sayesinde optimize edilmektedir. Bu durum, işletmelerin operasyonel maliyetlerini azaltmanın yanı sıra uzun vadede yatırım getirisini (ROI) artırmaktadır.

• **Süreç İzlenebilirliği ve Kontrolü:** Akıllı sensörler ve gerçek zamanlı veri akışı, üretim süreçlerinin anlık olarak izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu teknolojiler, üretim hatasını en aza indirgeyerek ürün kalitesini artırır ve işletmelere süreçler üzerinde üst düzey bir kontrol imkânı sunmaktadır.

• **Kişiselleştirilmiş Üretim:** Gelişmiş veri analitiği araçları, müşteri tercihlerini ve davranışlarını detaylı bir şekilde analiz etmektedir. Bu bilgiler, üretim süreçlerinin kişiselleştirilmesini sağlayarak müşteri memnuniyetini ve dolayısıyla pazar payını artırmaktadır.

• **Çevre Dostu Üretim:** Dijital teknolojiler, gereksiz kaynak tüketiminin önüne geçerek, atık miktarını azaltmaktadır. Enerji ve malzeme verimliliği, çevre üzerindeki olumsuz etkileri minimize eder ve sürdürülebilir üretim metodlarına geçişi kolaylaştırmaktadır.

• **İş Güvenliği ve Sağlığı:** Tehlikeli işlerde robotlar ve otomasyon sistemlerinin kullanımı, iş kazalarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum, iş sağlığı ve güvenliği standartlarının yükseltilmesine ve çalışan memnuniyetinin artmasına yardımcı olmaktadır.

Dezavantajlar

• **İşgücü Dinamiklerinde Değişim:** Yüksek düzeyde otomasyon ve dijitalleşme, özellikle düşük beceri gerektiren iş pozisyonlarında iş kayıplarına yol açmaktadır. Bu durum, işgücü piyasasında yapısal değişikliklere neden olur ve sosyal uyum sorunlarına sebep olabilmektedir.

• **Yatırım Maliyetleri:** Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için dijitalleşme ve otomasyon teknolojilerine yapılan başlangıç yatırımları finansal bir yük oluşturabilmektedir. Bu yatırımların getirisi uzun vadede gerçekleşebilir, bu da nakit akışı üzerinde baskı yaratmaktadır.

• **Siber Güvenlik Riskleri:** İşletmelerin siber altyapıları, artan veri hacmi ve daha fazla bağlantılı sistemlerle birlikte siber saldırılara daha açık hale gelmektedir. Bu durum, yanlış ellerde verilerin kullanılmasıyla işletmeler için ciddi güvenlik tehditleri oluşturabilmektedir.

• **Kültürel ve Yönetimsel Zorluklar:** Dijital dönüşüm, mevcut iş kültürü ve yönetimsel yapılarla çatışabilmektedir. Bu uyumsuzluk, organizasyonel dirençle karşılaşılmasına neden olabilir ve dönüşüm süreçlerinin etkin yönetilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu detaylı açıklamalar, akıllı fabrikaların sunduğu avantajlar ve karşılaşılan dezavantajlar hakkında daha kapsamlı bir anlayış sağlamaktadır. Bu bilgiler, stratejik planlama ve politika geliştirme süreçlerinde değerli olabilmektedir.

Tablo 4

Hâkim Söyleme Göre Avantaj ve Dezavantaj Temaları

Avantaj	Dezavantaj
Verimli üretim	Yanlış büyüme
Pazar liderliği	Altyapı yetersizliği
Rekabet avantajı	Güvenlik açığı
Karanlık üretim	Nitelikli işgücü sıkıntısı
Kişisel tasarım	Kültür çatışması
Açık ofis	Maliyet yükü
Tasarruflu üretim	Yönetici vizyonları

Tablo 4'te listelenen avantaj ve dezavantajlar, akıllı fabrikaların getirdiği yeniliklerin hem olumlu hem de olumsuz yönlerini ortaya koymaktadır. Bu tablo, akıllı fabrikaların gelişim sürecindeki çeşitli tematik çıkarımları hâkim söylemler üzerinden ele almaktadır.

Verimli üretim, teknolojik gelişmelerin ve otomasyonun üretim süreçlerini nasıl hızlandırdığını ve iyileştirdiğini gösterirken, yanlış büyüme dezavantajı, bu hızlı genişlemenin bazen işletmelerin uzun vadeli stratejik hedefleriyle uyumsuz olabileceğine işaret etmektedir. Pazar liderliği sağlama avantajı, şirketlere sektörlerinde öncü bir konum kazandırırken, altyapı yetersizliği dezavantajı, mevcut sistemlerin bu yeni teknolojileri desteklemekte yetersiz kalabileceğini vurgulamaktadır. Rekabet avantajı, işletmelere rakiplerine karşı üstünlük sağlamasına olanak tanırken, güvenlik açığı sorunu, artan dijitalleşme ile siber tehditlere daha açık hale gelmesine yol açmaktadır.

Karanlık üretim ile işletmeler üretim süreçlerini daha da optimize edebilirken, nitelikli işgücü sıkıntısı modern teknolojileri etkin bir şekilde kullanacak yeterli çalışanın bulunmaması problemine işaret etmektedir. Kişisel tasarım ürünlerin müşteri ihtiyaçlarına göre uyarlanmasını sağlasa da, kültür çatışması işletme içinde teknoloji ve mevcut iş pratikleri arasında uyumsuzluklara sebep olmaktadır. Açık ofis çalışma ortamlarının daha işbirlikçi ve verimli hale gelmesini sağlarken, maliyet yükü özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için başlangıçta büyük yatırımlar gerektirmektedir. Son olarak, tasarruflu üretim işletmelerin kaynak kullanımını optimize ederken, yöneticilerin vizyon eksikliği, bu yeni teknolojilerin potansiyelinin tam olarak anlaşılmasına ve dolayısıyla yanlış yönetim kararlarına yol açmaktadır.

Bu temalar, akıllı fabrikaların getirdiği değişimleri derinlemesine anlamak için kritik öneme sahiptir. Her avantajın karşısında bir dezavantajın olması, işletmelerin bu yeni teknolojilere geçiş yaparken karşılaşılabilecekleri zorlukları ve fırsatları dengeli bir şekilde değerlendirmeleri gerektiğini göstermektedir. Bu dengenin sağlanması, akıllı fabrikaların başarılı bir şekilde entegre edilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi için hayati önem taşımaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Endüstri 4.0, modern teknolojilerin iş süreçlerine entegrasyonunu ifade eder ve yapay zekâ, robotik, 3D yazıcılar, büyük veri analitiği, artırılmış gerçeklik ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi inovasyonları kapsamaktadır. Bu teknolojiler, üretimi artırma, alışılmamış üretim kalıplarını yıkmaya, bilgi ağlarını zenginleştirme ve fiziksel ile sanal dünyalar arasındaki sınırları bulanıklaştırma potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, dördüncü sanayi devriminin, işletmelerdeki sosyo-mekânsal değişiklikleri nasıl şekillendirdiğini detaylı bir şekilde incelemektedir.

Endüstri 4.0'ın getirdiği akıllı fabrika modeli, akıllı tedarik zinciri yönetimi, üretim, dağıtım ve müşteri hizmetleri gibi iş süreçlerine yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır. IoT teknolojisi sayesinde cihazların birbiriyle ve merkezi sistemlerle bağlantılı hale gelmesi, işletmelerin ulusal ve küresel pazarlarda rekabet avantajı elde etmesine olanak tanımaktadır. Ancak, bu teknolojilere geçiş süreci yüksek maliyetler ve teknik zorluklar içermektedir. İşletmelerin bu yeni teknolojilere yatırım yaparken stratejik ve mali açıdan dikkatli planlama yapmaları gerekmektedir.

Bu teknolojik dönüşüm, iş gücü piyasasında da derin değişiklikler yaratmaktadır. Yeni sanayi çağında gerekli olan becerilere sahip çalışanların yetiştirilmesi, eğitim sistemlerinin güncellenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla teknik beceriler ve dijital okuryazarlık konusunda eğitim programlarının yeniden şekillendirilmesi elzemdir. Aynı zamanda dijital dönüşüm süreci, siber güvenlik, veri gizliliği ve iş etiği gibi yeni düzenlemeleri de beraberinde getirmekte; bu durum, politika yapımcıların, şeffaf ve adil regülasyonlar oluşturarak hem teknolojik yenilikleri teşvik etmeleri hem de toplumsal etkilerini dengede tutmaları gerektiğini göstermektedir.

Küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ'ler) dijital dönüşüme adaptasyonu özellikle zorlayıcı olabilmektedir. Bu işletmeler için teknolojik geçişi kolaylaştıracak finansal destekler, eğitim ve danışmanlık hizmetleri gibi destek mekanizmalarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu süreçte KOBİ'lerin rekabetçi kalmaları, teknolojik adaptasyonlarını hızlandırmaları ve iş süreçlerini yeniden yapılandırmaları büyük önem taşımaktadır.

Endüstri 4.0, aynı zamanda işletmelerin ve iş gücünün yapısında temel değişiklikler yaratmakta; insan kaynakları yönetimi, üretim süreçleri ve müşteri ilişkileri yönetimi gibi alanlarda yeniden yapılanma gerektirmektedir. Dijital teknolojilerin entegrasyonu, işletmelerin daha dinamik, esnek ve verimli hale gelmelerini sağlarken, iş gücü piyasasında robotlar ve otomasyon teknolojileri nedeniyle ortaya çıkabilecek işsizlik gibi sosyal sorunlara karşı proaktif stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Sonuç olarak, Endüstri 4.0, işletmeler için önemli fırsatlar sunarken, bu geçiş sürecinin yönetilmesi, iş gücünün dönüştürülmesi ve sosyo-ekonomik etkilerinin minimize edilmesi konusunda ciddi zorluklar da beraberinde getirmektedir. İşletmeler, politika yapıcılar ve eğitim kurumları, bu dönüşümü yönlendirecek stratejiler üzerinde iş birliği yaparak teknolojik yeniliklerden maksimum fayda sağlarken olası olumsuz etkileri azaltmalıdır.

Endüstri 4.0'ın işletmeler üzerindeki etkilerini yönetebilmek için stratejik adımlar atılması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, işletmelerin teknolojik dönüşüm süreçlerine yönelik uzun vadeli planlamalar yapmaları ve bu planlarda dijitalleşme, otomasyon ve yapay zeka gibi alanlarda insan kaynakları eğitimine ağırlık vermeleri gerekmektedir. Ayrıca hükümetlerin ve yerel yönetimlerin küçük ve orta ölçekli işletmelere yönelik finansal destek programları oluşturarak, bu işletmelerin dijital dönüşüm sürecine entegrasyonunu kolaylaştırmaları önem arz etmektedir. Eğitim kurumlarının müfredatlarını yeni sanayi çağının gerektirdiği beceriler doğrultusunda güncellemesi, nitelikli iş gücü arzını artıracak ve işletmelerin rekabet gücünü koruyacaktır. Son olarak, siber güvenlik ve veri gizliliği gibi konularda ulusal ve uluslararası düzeydeki regülasyonların geliştirilmesi hem işletmelerin sürdürülebilirliğini hem de toplumsal güvenliği destekleyecektir. Bu öneriler, Endüstri 4.0'ın yarattığı fırsatları en iyi şekilde değerlendirmeye ve oluşabilecek riskleri minimize etmeye yardımcı olacaktır.

Kaynakça

- Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics*, 3(2), 19-30. <https://doi.org/10.15637/jlecon.129>
- Azambuja, A. J. G. D., Plesker, C., Schützer, K., Anderl, R., Schleich, B., & Almeida, V. R. (2023). Artificial intelligence-based cyber security in the context of Industry 4.0—A survey. *Electronics*, 12(8), 1-18. <https://doi.org/10.3390/electronics12081920>
- Banger, G. (2017). *Endüstri 4.0 Ekstra* (1. Baskı). Dorlion Yayınları.
- Baş, T., & Akturan, U. (2008). *Nitel araştırma yöntemleri: NVivo 7.0 ile nitel veri analizi*. Seçkin Kitabevi.
- Deloitte. (2017). The new frontier of manufacturing systems. Retrieved from https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smartfactory/DUP_The-smartfactory.pdf
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56–58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>
- Evjemo, L. D., Gjerstad, T., Grøtli, E. I., & Sziebig, G. (2020). Trends in smart manufacturing: Role of humans and industrial robots in smart factories. *Current Robotics Reports*, 1, 35–41. <https://doi.org/10.1007/s43154-020-00006-5>

- Gao, R. X., Wang, L., Helu, M., & Teti, R. (2020). Big data analytics for smart factories of the future. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 69(2), 668-692. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.05.002>
- Gu, X., & Koren, Y. (2024). Smart factories for mass individualization. *Encyclopedia*, 4(1), 415–429. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4010028>
- Hozdić, E. (2015). Smart factory for Industry 4.0: A review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28-35. https://www.ijmmt.ro/articole/286_40.pdf
- Hwang, G., Lee, J., Park, J., & Chang, T. (2017). Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. *International Journal of Production Research*, 55(9), 2590-2602. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1245883>
- Kang, H. S., Lee, J. Y., & Choi, S. (2016). Smart manufacturing: Past research, current findings and future directions. *Uluslararası Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 111–128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
- Latour, B. (1996). On actor-network theory: A few clarifications. *Soziale Welt*, 47(4), 369-381.
- Lattanzi, L., Raffaelli, R., Peruzzini, M., & Pellicciari, M. (2021). Digital twin for smart manufacturing: A review of concepts towards a practical industrial implementation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(6), 567–597. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1911003>
- Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart factory - Next generation of manufacturing. *System Research and Behavioral Science*. 115-118. <https://doi.org/10.1002/sres.2704>
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers and Industrial Engineering*, 127, 925–953. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>
- Marinagi, C., Reklitis, P., Trivellas, P., & Sakas, D. (2023). The impact of Industry 4.0 technologies on key performance indicators for a resilient supply chain 4.0. *Sustainability*, 15(6), 1-31. <https://doi.org/10.3390/su15065185>
- Mehrpouya, M., Dehghanghadikolaei, A., Fotovvati, B., Vosooghnia, A., Emamian, S. S., & Gisario, A. (2019). The potential of additive manufacturing in the smart factory Industry 4.0: A review. *Applied Sciences*, 9(3865). <https://doi.org/10.3390/app9183865>
- Mohajan, H. (2019). The first industrial revolution: Creation of a new global human era. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 5(4), 377–387.
- Murdoch, J. (1998). Spaces of actor-network theory. *Geoforum*, 29(4), 357-374. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(98\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(98)00011-6)
- Olyai, A., Saracian, S., & Nodehi, A. (2024). Process mining-based business process management architecture: A case study in smart factories. *Scientia Iranica*, 31(14), 1122-1142. <https://doi.org/10.24200/sci.2024.62417.7830>
- Özsoylu, A. F. (2017). Endüstri 4.0. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 41-64.
- Öztuna, B. (2017). *Endüstri 4.0 ile çalışma yaşamının geleceği*. Gece Kitaplığı.
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: Exploring adaptable and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, (69), 1184-1190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108>

- Ryalat, M., ElMoaqet, H., & AlFaouri, M. (2023). Cyber-physical systems and Internet of Things based smart factory design towards Industry 4.0. *Applied Sciences*, 13(4), 1-19. <https://doi.org/10.3390/app13042156>
- Satyro, W. C., Contador, J. C., de Paula Monken, S. F., de Lima, A. F., Junior, G. G. S., Gomes, J. A., & Silva, L. S. (2023). Industry 4.0 implementation projects: The cleaner production strategy—A literature review. *Sustainability*, 15(3), 1-18. <https://doi.org/10.3390/su15032161>
- Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L., & Xu, X. (2020). Smart factory in Industry 4.0. *System Research and Behavioral Science*, 37(4), 607-617. <https://doi.org/10.1002/sres.2704>
- Sinha, D., & Roy, R. (2020). Reviewing cyber-physical system as a part of smart factory in Industry 4.0. *IEEE Engineering Management Review*, 48(2), 103-117. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.2992606>
- Sözen, E. (1999). *Söylem: Belirsizlik. Mücadele, bilgi/güç ve refleksivite*. İnkılap Kitabevi Baskı Tesisleri.
- TÜBİTAK. (2016). Yeni sanayi devrimi akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası. <https://www.tubitak.gov.tr/tr/haber/yeni-sanayi-devrimi-akilli-uretim-sistemleri-teknoloji-yol-haritasi>
- Yazıcı, A. (2016). Endüstri 4.0 ve otonom robotlar. http://www.emo.org.tr/ekler/91f2bb2a057879e_ek.pdf?dergi=1069
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2008). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık.
- Zhang, Z., Li, X., Wang, X., & Cheng, H. (2017). Decentralized cyber-physical systems: A paradigm for cloud-based smart factory of Industry 4.0. In *Cybersecurity for Industry 4.0*, 127-154. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50660-9_6
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147-2152. IEEE. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>