

Analysis of the Use of Industry 4.0 Technologies in Firms: The Case of Bursa Province

Ahmet DÜNDAR¹, Aytaç YILDIZ^{2*}

¹Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey
0000-0002-7994-0462, ahmtdndr16@gmail.com

²Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey
0000-0002-0729-633X, aytac.yildiz@btu.edu.tr

Abstract: The fourth industrial revolution, also called Industry 4.0, is seen as a new industrial phase where many new technologies come together to provide digital solutions. Technologies used in Industry 4.0 support production flexibility, efficiency and productivity. Correspondingly, it can provide a potentially enormous increase in innovation and competitiveness for firms.

In this study, it is aimed to examine whether the companies operating in Bursa use Industry 4.0 technologies, their purpose of use, the successes they have achieved, the difficulties they encounter and their plans for the future. For this purpose, a questionnaire is conducted with companies operating in Bursa OIZs and the data obtained from 154 companies that responded to the questionnaire are analyzed in IBM SPSS Statistics 23 program. When the findings obtained from the study are examined; It has been determined that almost half of the companies do not invest in industry 4.0 technologies, the most investment in these technologies is in the automotive sector, these technologies are used more in the production departments, the most investments are made in industry 4.0 technologies for productivity increase, and the companies get more results in this regard. In addition, it has been determined that companies face difficulties in financial matters while investing and do not invest in industry 4.0 technologies due to insufficient technological infrastructure.

Keywords: Industry 4.0, Industry 4.0 technologies, Bursa OIZ, Statistical analysis

Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Firmalardaki Kullanımının Analizi: Bursa İli Örneği

Özet: Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan dördüncü sanayi devrimi, birçok yeni teknolojinin dijital çözümler sağlamak için bir araya geldiği yeni bir endüstriyel aşama olarak görülmektedir. Endüstri 4.0'da kullanılan teknolojiler, üretim esnekliğini, verimliliği ve üretkenliği desteklemektedir. Buna bağlı olarak, firmalara potansiyel olarak muazzam bir yenilik ve rekabet gücü artışı sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada, Bursa'da faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanıp/kullanmadıklarını, kullanım amaçlarını, elde ettikleri başarıları, karşılaştıkları zorlukları ve geleceğe dönük planlarını incelemek amaçlanmıştır. Bunun için Bursa OSB'lerde faaliyet gösteren firmalara anket yapılmış ve ankete cevap veren 154 firmadan elde edilen veriler IBM SPSS Statistics 23 programında analiz edilmiştir.

Çalışmadan elde edilen bulgular incelendiğinde; firmaların hemen hemen yarısının Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmadığı, bu teknolojilere en fazla yatırımın otomotiv sektöründe olduğu, üretim departmanlarında bu teknolojilerin daha fazla kullanıldığı, en çok verimlilik artışı için Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapıldığı ve firmaların bu konuda daha fazla sonuç aldığı belirlenmiştir. Ayrıca, firmaların yatırım yaparken en fazla finansal konularda zorluklarla karşılaştığı ve teknolojik alt yapının yetersiz olmasından dolayı Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler Endüstri 4.0, Endüstri 4.0 teknolojileri, Bursa OSB'ler, İstatistiksel analiz

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

Ahmet Dündar, Aytaç YILDIZ, 'Analysis of the Use of Industry 4.0 Technologies in Firms: The Case of Bursa Province', Elec Lett Sci Eng, vol. 17(2), (2021), 105-116.

*Corresponding author; Tel:02243003726, aytac.yildiz@btu.edu.tr

1. Giriş

İlk sanayi devrimi, buhar motorunun geliştirilmesi ve ağır makinelerin tanıtılmasıyla başlamıştır. İkinci sanayi devrimi, elektrik kullanımıyla karakterize edilmiş ve üçüncü sanayi devrimi üretim süreçlerinde otomasyonun yoğun kullanılmasıyla başlamıştır. Son olarak siber teknolojilerin gelişmesi ve bunların hepsinin dijital ekosistemlere entegre edilmesi ile beraber “Endüstri 4.0” adı verilen dördüncü sanayi devrimi ortaya çıkmıştır. Genel olarak yenilikçi bilgilerin geliştirilmesini ve entegrasyonunu kapsayan bir sanayi devrimi olarak adlandırılan [1] Endüstri 4.0, iş dünyasının dönüşümü olarak da ifade edilebilir [2]. Fiziksel dünya ile sanal dünyanın Siber-Fiziksel Sistemler (CPS) olarak birleştiği bir olgu olan [3, 4] Endüstri 4.0, üretim sistemleri için dijital, özerk ve merkezi olmayan kontrol paradigması getiren [5] üretim süreçlerinin entegrasyonunu yaparak firmaların daha yüksek performans elde etmelerine olanak sağlayan bir endüstriyel devrim olarak kabul edilmektedir [6, 7].

Endüstri 4.0, 2011 yılında federal hükümetin üniversiteler ve özel şirketlerle birlikte yürüttüğü bir Alman girişimiyle ortaya çıkmış [8] ve ilk olarak Hannover Endüstriyel Teknolojiler Fuarı’nda tanıtılmıştır [1]. Endüstri 4.0, tanıtılmasıyla birlikte dünya genelinde hükümetlerin ve firmaların büyük ölçüde dikkatini çekmiş ve o zamanlardan şu ana kadar Endüstri 4.0 konseptine uygun çözümler geliştirmeye başlamışlardır [1]. Başlangıçta imalat endüstrisinde ortaya çıkan Endüstri 4.0 daha sonraları diğer endüstrilerde de etkisini göstermiştir [2]. Ülkeler Endüstri 4.0’ın geliştirilmesi, benimsenmesi ve yerel firmalarda yaygınlaşması için kendi içlerinde çeşitli yerel programlar oluşturmuşlardır. Programlara örnek olarak ABD’de “İleri Üretim Ortaklığı”, Çin’de “Made in China 2025” ve Fransa’da “La Nouvelle France Industrielle” kurulmuştur [6].

Akıllı ve otonom üretimin yeni bir paradigması olarak da öne çıkan Endüstri 4.0, üretim operasyon sistemlerini iletişim, bilgi ve istihbarat teknolojileri ile daha derinden bütünleştirmektedir [9]. Böylelikle; kaliteyi, üretkenliği ve esnekliği artırmaya ve daha iyi kaynak tüketimi ile büyük ölçekte ve sürdürülebilir bir şekilde özelleştirilmiş ürünler elde etmeye yardımcı olabilir. Akıllı ürünler, yeni ürün geliştirme için veri geri bildirimini sağlayabilir ve müşteriye yeni hizmetler ve çözümler sunabilir. Bu nedenle, bazı akademisyenler, üreticiler ve hizmet sağlayıcılar için yeni fırsatlar yaratan ürün-hizmet sistemleri gibi yeni iş modellerine izin vermeleri nedeniyle akıllı ürünler Endüstri 4.0’ın ana hedefi olarak görülmektedir [8]. Endüstri 4.0’ın başka bir hedefi “akıllı” olarak da adlandırılan dijital üretimin ortaya çıkmasıdır. Dördüncü sanayi devrimi ile bağlantılı olan, siber fiziksel sistemlere dayalı akıllı ağlar Endüstri 4.0 tanımının belirleyici özelliği olarak kabul edilmektedir. Akıllı ağ, fabrikalar, müşteriler ve tedarikçiler ile entegrasyonun ve yenilikçi iş modellerinin benimsenmesine yol açmaktadır [1].

Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç, işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerine olan adaptasyonlarını incelemektir. Bu bağlamda, Bursa’da faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerini süreçlerinde kullanıp/kullanmadıklarını, kullanım amaçlarını, elde ettikleri başarıları, karşılaştıkları zorlukları ve geleceğe dönük planlarını incelemek hedeflenmiştir. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde Endüstri 4.0 teknolojileri açıklanarak Endüstri 4.0 teknolojilerinin firmalara avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. 3. bölümde çalışmanın materyal ve metodu açıklanmış, 4. bölümde çalışmadan elde edilen bulgulara yer verilmiş ve son bölümde ise sonuç ve değerlendirme bölümüne yer verilmiştir.

2. Endüstri 4.0 Teknolojileri

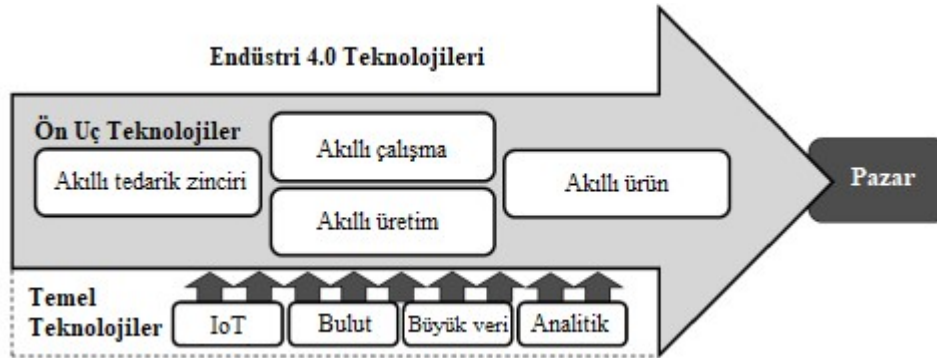
Endüstri 4.0, birçok yeni teknolojinin dijital çözümler sağlamak için bir araya geldiği yeni bir endüstriyel aşama olarak görülmektedir. Gerçek zamanlı olarak veri toplamak ve analiz etmek için dijital teknolojilerin kullanılmasına dayanmaktadır ve üretim sistemlerine faydalı bilgiler sağlamaktadır [7]. Bu teknolojilerdeki gelişmeler ile beraber gömülü ve bağlantılı sistemlerin geliştirilmesine olanak sağlanmıştır. Bu sistemler, büyük miktarda veri toplayan ve sanal

modelleri fiziksel süreçlerin bilgileriyle güncelleyen bir geri bildirim döngüsü aracılığıyla ekipmanları ve ürünleri izlemeyi ve kontrol etmeyi amaçlamaktadır [6].

Endüstri 4.0 etrafında dönen teknolojileri ve kavramları birleştiren danışmanlık firması Boston Consulting Group (BCG), ilk olarak 2016 yılında Endüstri 4.0'ı; eklemeli imalat, artırılmış gerçeklik, otonom robotlar, simülasyon, yatay/dikey entegrasyon, nesnelerin interneti, bulut bilişim, siber güvenlik ve büyük veri analitiği olarak belirlemiştir [4, 9]. Ayrıca, başka çalışmalarda bu dokuz teknolojiye ek olarak; yapay zekâ, mobil teknolojiler ve radyo frekansı tanımlama (RFID) olmak üzere üç teknoloji daha eklenmiştir. Bu üç ek teknolojinin dahil edilmesinin nedenlerine baktığımızda; yapay zekanın tüm bilgisayar öğreniminin temelini oluşturmada, mobil teknolojilerin teknoloji iletişimde ve RFID'nin diğer Endüstri 4.0 teknolojilerinin potansiyelinden yararlanan nesnelere tanımlayabilmesinde rol alması yer almaktadır [4].

Endüstri 4.0 teknolojileri, küresel rekabet, değişken pazar/talep, iletişim, bilgi ve istihbarat yoluyla artan özelleştirme ve azalan yenilik ve ürün yaşam döngüleri gibi çağdaş zorlukların üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır [4]. Ayrıca, üretim zinciri boyunca maksimum çalışma süresini garanti etmek ve üretim maliyetini düşürürken verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Veriye dayalı ekonomi geliştikçe, işletmeler bu hedeflere ulaşmak için veri ile ilgili olan; CPS, Nesnelerin İnterneti (IoT), bulut bilişim ve büyük miktarda üretim verisini gerçek zamanlı olarak işlemek için büyük veri analitiği gibi Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmaya başlamıştır [5].

Endüstri 4.0 teknolojileri yazarlar tarafından bazı gruplara ayrılmıştır. Bu çalışmalardan birinde Frank vd., [8], Endüstri 4.0 teknolojilerini amaçlarına göre Şekil 1'de gösterildiği gibi iki farklı katmana ayırmışlardır. İlk katman; ortaya çıkan teknolojilere dayalı üretim faaliyetlerinin dönüşümünü (akıllı üretim), ürünün sunulma şeklini (akıllı ürünler), hammadde ve ürünün teslim edilme şeklini (akıllı tedarik zinciri) ve çalışanların gelişen teknolojilerin desteğine dayalı olarak faaliyetlerini gerçekleştirmelerinin yeni yollarını (akıllı çalışma) dikkate alan Endüstri 4.0'ın "ön uç teknolojileri" olarak adlandırılan dört akıllı boyuttan oluşmaktadır. İkinci katmanı ise IoT, bulut bilişim, büyük veri ve analitiğini içeren temel teknolojiler oluşturmaktadır [8].



Şekil 1. Endüstri 4.0 teknolojilerinin teorik çerçevesi [8]

IoT, kablosuz iletişim yoluyla bir internet ortamında sensörlerin ve bilgi işlemin entegrasyonunu temsil etmektedir. İnternetteki son gelişmeler, birkaç nesnenin iletişimine başarılı bir şekilde izin vererek bu kavramı gerçekleştirdi. Bu aynı zamanda, son yıllarda her türlü nesnenin algılanmasını ve daha geniş bir ağa bağlanmasını sağlayan sensörlerin maliyetinin düşürülmesiyle de desteklenmiştir. Bulut bilişim hizmetleri, verileri uzaktan erişim yoluyla kolayca alınabilen bir internet sunucu sağlayıcısında saklama kapasitesine sahiptir. Bu nedenle bulut hizmetleri, fiziksel olarak yakın olmaları gerekmediğinden farklı cihazların entegrasyonunu kolaylaştırır. Büyük veri, sensör okumaları gibi sistemlerden ve nesnelere veri toplamadan oluşur. Büyük verilerin analitikle birleşimi, üretim hatlarının kendi kendine organizasyonunu destekleyebilir ve endüstriyel bir işletmenin her boyutunda karar verme

faaliyetlerini optimize edebilir. Özet olarak, IoT, bir fabrikadaki tüm nesnelere ve sistemler arasındaki iletişim sorunlarını çözmeyi amaçlarken, bulut hizmetleri bilgi ve hizmetlere kolay erişim sağlar. Son olarak, sistemin zekâsı, biriken büyük miktarda veriye (büyük veri) ve gelişmiş tekniklerle analiz etme kapasitesine (analitik) bağlı olduğundan, büyük veri ve analitik, Endüstri 4.0'ın gelişmiş uygulamalarının kilit unsurları olarak kabul edilir [8]. Tablo 1'de Endüstri 4.0 teknolojilerinin özeti ve bazı uygulamaları verilmiştir.

Tablo 1. Endüstri 4.0 teknolojileri ve bazı uygulama alanları [10]

Teknoloji	Açıklama	Bazı Uygulama Alanları
Siber-fiziksel sistemler	CPS, fiziksel varlıkların operasyonlarını ve hesaplama yeteneklerini birbirine bağlayan dönüştürücü teknolojilerin bir koleksiyonudur. Asıl amaç, sanal bir kopya oluştururken fiziksel sistemleri izlemektir.	Dağıtılmış yedek parça üretimi, akıllı ürün geliştirme, malzeme tanımlama ve izleme
Nesnelerin interneti	Verilerin toplanmasını ve değişimini sağlayan fiziksel nesnelerin (sensörler, makineler, arabalar, binalar ve diğer öğeler) bilgi ağı	Ürün tasarımı iyileştirmeleri için veri toplama, enerji tüketimi izleme
Büyük veri ve analitiği	Verilerin daha yüksek hacimlerde, daha yüksek hızlarda ve daha fazla çeşitlilikte işlendiği içgörülerini filtrelemek, yakalamak ve raporlamak için bir dizi teknik kullanılarak büyük miktarda mevcut verinin toplanması ve analizi	Ürün tasarımı iyileştirmeleri için veri işleme ve analiz, gelişmiş talep değerlendirmesi ve tahmini, enerji performansı ve tüketim tahmini
Bulut teknolojisi	Tüm uygulamalar, programlar ve veriler için herhangi bir kurulum gerektirmeden sanal bir sunucuda çevrimiçi depolama hizmetleri sağlanması için sistem	Dağıtılmış ve işbirlikçi tasarım, akıllı satın alma ve tedarik yönetimi, fabrika yerleşim tasarımı ve değerlendirmesi
Simülasyon ve modelleme	Makineler, ürünler ve insanlar gibi fiziksel dünya verilerini sanal bir dünyaya yansıtan teknolojiler	Sanal prototipleme, fabrika ve depolarda malzeme akış simülasyonu
Artırılmış ve sanal gerçeklik	Artırılmış Gerçeklik: Gerçek ortamda bir arada var olmak ve etkileşim kurmak için sanal nesnelere yerleştirebilen bir dizi yenilikçi İnsan Bilgisayar Etkileşimi (HCI) tekniği Sanal Gerçeklik: Etkileşimli bir dünya oluşturmak için kullanıcının sanal nesneyi ve tüm sanal sahneyi gerçek zamanlı olarak kontrol etmesine olanak tanıyan bilgisayar teknolojisi uygulanması	Artırılmış tasarım, malzeme yerleştirme kılavuzu, bakım eğitimi rehberliği
Otonom robotlar	İnsanların ve makinelerin ortak bir öğrenme ortamında çalışmasına izin veren ve operasyonel süreçleri otomatikleştiren robotlar	Dahili taşıma, hat besleme ve malzeme taşıma otomasyonu
Eklemeli üretim	Tasarım seçeneklerinin kilidini açmak ve kitlesel özelleştirme için büyük potansiyel elde etmek için 3B model verilerinden nesnelere yapmak için malzemeleri ardışık katmanlarda birleştirme süreci	Hızlı prototipleme, JIT ve gelişmiş çekme sistemi yönetimi, yeniden imalat işlemleri

2.1. Endüstri 4.0 teknolojilerinin firmalara avantajları ve dezavantajları

Endüstri 4.0, birçok alanda rekabet kurallarını, müşteri taleplerini ve sektörlerin yapısını değiştirmektedir. Firmaların iş modelleri, IoT kavramlarının benimsenmesi ve fabrikaların dijitalleştirilmesi gibi faktörler bu değişimlerin en büyük sebepleri olmuştur. Firmalar, dijital teknolojiler ve ürünlere gömülü internet tabanlı hizmetler ile müşterilere yeni dijital çözümler sunmakla beraber pazarda değişim ve gelişim kaydetmektedir. Üretim açısından bakıldığında, CPS gibi dijital teknolojiler kurulum süreçlerini, işçilik ve malzeme maliyetlerini ve işlem sürelerini azaltarak üretim süreçlerinin daha üretken olmasını sağlayabilmektedir [6].

Endüstri 4.0'daki ana amaç ürünlerin, değer zinciri boyunca akıllı bir şekilde ağa bağlanmasını teşvik ederek müşteri yararını arttırmak, yeni ürünler ve hizmetler sunmaktır. Böylelikle organizasyon süreçlerinin daha iyi takip edilmesi ve verimli bir şekilde kullanılmasına izin

verilir [2]. Endüstri 4.0'da bilgi ve veri alışverişi de göz önünde bulundurulmaktadır. Tedarik zincirinin entegrasyonu (akıllı tedarik zinciri olarak adlandırılır), teslimat sürelerini ve engel olarak karşımıza çıkan bilgi bozulmalarını azaltmak için üretimi tedarikçilerle senkronize edebilmektedir. Bu entegrasyon aynı zamanda şirketlerin ortak üretimde kaynakları birleştirmelerine olanak tanıyarak temel yeterliliklerine odaklanmalarına ve endüstri platformlarında ürün inovasyonu için yetenekleri paylaşmalarına, daha fazla katma değerli ürünler ve tamamlayıcı varlıklar ve hizmetler geliştirmeye yönelik ortak bir çabaya olanak tanımaktadır [8].

Endüstri 4.0 teknolojileri, Endüstri 4.0'ı karakterize eden üç ana avantajı desteklemektedir. Bu desteklenen avantajlar dikey entegrasyon, yatay entegrasyon ve uçtan uca mühendislik olarak adlandırılmaktadır. Dikey entegrasyon, bir fabrikada üretim ve yönetim seviyeleri arasındaki entegrasyonu temsil eden bir organizasyonun farklı hiyerarşik seviyelerinde BİT sistemlerinin entegrasyonunu ifade eder. Yatay entegrasyon tedarik zinciri içerisindeki işletmeler arasında kaynak ve gerçek zamanlı bilgi alışverişi ile iş birliğinden oluşmaktadır. Uçtan uca mühendislik bir ürünün geliştirilmesinden satış sonrasına kadar tüm değer zincirindeki mühendisliğin entegrasyonudur. Dijital teknolojiler tarafından sağlanan bu entegrasyonların sektöre çeşitli faydalar sağlayabileceği düşünülmektedir. Örnek olarak yatay entegrasyon avantajı sayesinde işletmeler arasındaki iş birliğine dayalı ağlar kaynakları birleştirir, riskleri böler ve pazardaki değişikliklere hızla uyum sağlayarak yeni fırsatları yakalayabilir. İş birliği, dijital kanallar ve akıllı ürünler ile beraber müşterilere daha yüksek değer sunulmasına olanak sağlamaktadır [6]. Ayrıca, firmalara karlı iş modelleri, yüksek verimlilik, yüksek kalite ve optimum iyileştirilmiş iş yeri koşulları sağlayabilirler [9]. İş içerisindeki operasyonlar için makineler ve ürünler arasındaki iletişim, özelleştirilmiş ürünlerin üretimi için yeniden yapılandırılabilir ve daha fazla esnekliğe sahip olunabilir. CPS ile firmalar karar verme süreçleri için daha fazla desteğe ve üretim hattı arızaları gibi çeşitli olay türlerine daha hızlı adaptasyona sahip olabilmektedir.

Firmalar, eklemeli üretim teknolojisini kullanarak ürünleri müşterilerle birlikte tasarlayarak ürünlerin özelleştirilmesine dolayısıyla değerlerinin artmasına olanak sağlamaktadır [6]. Endüstri 4.0 teknolojilerinin potansiyelleri, kurumsal ve sosyal sürdürülebilir kalkınmaya önemli katkılar sunmaktadır. Sosyal sürdürülebilirlik boyutları için, akıllı ve otonom üretim sistemleri, monoton ve tekrarlayan görevleri üstlenerek daha yüksek çalışan memnuniyeti ve motivasyonu ile sonuçlanan çalışan sağlığı ve güvenliğini destekleyebilir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinin avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da vardır. Sistem değişikliği, maliyet, anlayış eksikliği ve potansiyel direnç gibi dezavantajlar benimseme ve değerlendirme kararlarını zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda Endüstri 4.0 teknolojileri birçok zorluk ve sınırlamayı da beraberinde getirmektedir. Bu zorluklara örnek olarak azalan istihdam, bilgi güvenliği sorunları, veri karmaşıklığı, elektronik atıklar ve düşük kaliteden bahsedilebilir [9]. Kalifiye işgücü eksikliği, değişen çalışma ortamları sebebiyle işçiler arasındaki çatışmalar, finansal kaynakların yetersizliği, veri güvenliği, düşük standardizasyon, entegrasyon ve sistem mimarisinin anlaşılmasında gibi nedenlerde uygulamadaki başlıca engellerdir [11]. Endüstri 4.0, dijital çözümlerin sağlanması için birbiriyle ilişkili karmaşık teknolojileri dikkate alır. Böyle bir karmaşıklık, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler) için tek bir teknoloji sağlayıcısında bulunması zor olan çok çeşitli yetenekler gerektirir [12]. Endüstri 4.0 hakkında bilgi eksikliği, mali kaynak yetersizliği, teknoloji farkındalığı, Endüstri 4.0'ın stratejik önemini anlamamasının KOBİ'lerin karşılaştığı en belirgin engeller olduğu belirtilmektedir [11, 13].

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın amacı, Bursa'da faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerini süreçlerinde kullanıp/kullanmadıklarını, kullanım amaçlarını, elde ettikleri başarıları, karşılaştıkları zorlukları ve geleceğe dönük planlarını incelemektir.

Dış ticaret verilerine göre 2020 yılında 12,8 milyar dolarlık ihracatıyla İstanbul'dan sonra en fazla ihracat yapan ve Türkiye'de ilk organize sanayi bölgesinin (OSB) kurulduğu il olan Bursa, 17 OSB'ye sahiptir. İldeki 14 bölge karma, 3 bölge de (İnegöl Mobilya Ağaç İşleri, Mustafakemalpaşa Mermerciler ve Tekstil Boyahaneleri) ihtisas OSB statüsündedir. Teknoloji OSB ve Tekstil Boyahaneleri İhtisas OSB'de altyapı çalışmaları devam etmektedir. 2 bin 154 firmanın faaliyet gösterdiği Bursa'daki OSB'lerde, toplam firma sayısının %37'sini (801 firma) oluşturan tekstil sektörü ilk sırada yer almaktadır. Tekstili %13 ile otomotiv ve yan sanayi, %7 ile makine teçhizat sektörü firmaları izlemektedir. Faaliyette olan 15 organize sanayi bölgesindeki firmalarda 198 bin kişi istihdam edilmektedir. İstihdamda, otomotiv ana ve yan sanayi firmaları 66 bin kişi ile ilk sırada, tekstil sektörü 57 bin kişilik istihdamı ile ikinci konumda yer almaktadır.

Yukarıda belirtilen özelliklere bakıldığında, Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanma potansiyelinin yüksek olduğu düşünülen Bursa'daki OSB'lerde faaliyet gösteren firmalar çalışmanın ana kütlelerini oluşturmuştur. Çalışmada ilk olarak, literatür taramasına bağlı olarak bir anket hazırlanmıştır. Ankette; anketi dolduran kişi ve firma hakkında 4 adet, Endüstri 4.0'a yatırım yapan firmalara yönelik 7 adet ve yatırım yapmayanlara ait 2 adet olmak üzere toplamda 14 soru yer almaktadır. Anket sorularının hazırlanmasından sonra, anket soruları, www.surveey.com'da yayınlanmıştır. OSB'lerin yayınlamış olduğu firma mail listelerinden ve firmaların resmî web sayfalarından mail bilgileri elde edilerek özellikle Endüstri 4.0 teknolojilerini uyguladıkları/uygulayacakları kanaatine varılan 635 firmaya anket linki gönderilmiş ve anketin cevaplanması için yaklaşık bir ay süre verilmiştir. Bu süre sonunda 154 firma anketi cevaplamıştır. Sonrasında, anketlerdeki veriler IBM SPSS Statistics 23 programında analiz edilmiştir. Ankete ait yapılan güvenilirlik analizinde cronbach alfa değeri 0,782 olarak hesaplanmış ve anketin güvenilir olduğuna karar verilmiş (Literatürde croncach alfa değeri 0,60 ve üzeri için anketin güvenilir olduğu kabul edilmektedir.) ve çalışmanın analizine devam edilerek aşağıda verilen bulgular elde edilmiştir.

4. Bulgular

Anket çalışmasına katılan kişilerin firmalarındaki görev yaptıkları departmanı gösteren Tablo 2 aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. Anketi cevaplayanların firmadaki görev yaptığı departman

Departman	Frekans	%
Yönetim	62	40,26
Üretim	20	12,99
Pazarlama	14	9,09
Ar-Ge	18	11,69
Bilgi İşlem	4	2,60
Finans	8	5,19
İnsan Kaynakları	3	1,95
Kalite	8	5,19
Bakım Onarım	7	4,55
Diğer...	10	6,49
Toplam	154	100

Tablo 2'de yer alan cevaplayıcıların firmadaki çalıştıkları departmanlar incelendiğinde; 62 (%40,26) cevaplayıcının yönetimde, 20 (%12,99) cevaplayıcının üretim bölümünde ve 18 (%11,69) cevaplayıcının ise Ar-Ge departmanında görev yaptığı görülmektedir.

Tablo 3. Ankete katılan firmaların genel özellikleri

Faaliyette Bulunduğu Sektör	Frekans	%	Çalışan sayısı	Frekans	%
İnşaat	4	2,56	0-9	10	6,49
Hizmet	5	3,21	10-49	49	31,82
Tekstil	36	23,08	50-249	52	33,77
Otomotiv	53	33,97	250 ve Üstü	43	27,92
Makina	33	21,15	Faaliyette Bulunduğu Alan		
Mobilya	4	2,56	Yurt içi	29	18,83
Kimya	4	2,56	Yurt dışı	2	1,30
Enerji	11	7,05	Hem yurt içi hem yurt dışı	123	79,87
Bilişim	2	1,28			
Diğer...	2	1,28			

Ankete katılan firmaların genel özelliklerinin yer aldığı Tablo 3'e bakıldığında; firmaların %33,97'si otomotiv, %23,08'i tekstil ve %21,15'i makine sektöründe yer almaktadır. Elde edilen bu oranlar Bursa sanayisinde yer alan ilk üç sektörlere de uyuşmaktadır. Dolayısıyla ankete katılan firmaların Bursa sanayisini homojen olarak temsil ettiği söylenebilir. Çalışan sayısına göre firmaların yaklaşık %62'sinin 50 ve üzeri çalışana sahip olduğu, satış yaptıkları alana bakıldığında ise büyük bir çoğunluğunun (yaklaşık %80) hem yurt içine hem de yurt dışına satış yaptığı görülmektedir.

Tablo 4. Firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapma durumu

Yatırım Yapma Durumu	Frekans	%
Evet	74	48,05
Hayır	80	51,95

Tablo 4'e göre firmaların %51,95'inin (80 firma) Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmadığı, %48,05'inin (74 firma) ise yatırım yaptığı görülmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapan firmaların yatırım yapma amaçlarını tespit etmek için firmalara birden çok amaç belirleme seçeneği sunulmuş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapma amacı

Amaç	%	Amaç	%
Verimlilik artışı sağlamak	19,25	Departmanlar arası iletişimi kolaylaştırmak	6,83
Ürün çeşitliliğini artırmak	1,25	Hata oranlarını azaltmak	12,42
Yeni pazar fırsatları elde etmek	6,22	Ürün kalitesini artırmak	8,69
Ciro artışı sağlamak	6,22	Stokları azaltmak	8,69
Üretim maliyetlerini azaltmak	14,28	İnovasyon kapasitesini artırmak	9,93
Personel sayısını azaltmak	6,22		

Tablo 5 incelendiği zaman firmaların %19,25'inin verimlilik artışı sağlamak, %14,28'inin üretim maliyetlerini azaltmak ve sadece %1,25'inin ürün çeşitliliğini artırmak için Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yaptıkları görülmektedir.

Tablo 6. Firmaların kullandıkları Endüstri 4.0 teknolojileri

Teknoloji	%
Robot Teknolojileri	26,09
Eklemeli Üretim (3D Printing)	6,52
Büyük Veri	14,13
Nesnelerin İnterneti	8,70
Bulut Bilişim	10,87
Artırılmış/Sanal Gerçeklik	7,61
Siber Güvenlik	9,78
Sistemler arası entegrasyon	16,30

Tablo 6 incelendiği zaman firmaların %26,09'unun robot teknolojilerini, %16,30'unun sistemler arası entegrasyon ve %14,13'ünün de büyük veri teknolojilerini kullandıkları tespit edilmiştir.

Firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerini seçerken/kullanırken bilgi ve danışmanlık bakımından destek aldıkları kurum/kuruluşlar ile yatırım yaparken finansal destek aldıkları kurum/kuruluşları gösteren tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 7. Endüstri 4.0 teknolojileri için alınan destekler

Endüstri 4.0 teknolojilerini seçerken/kullanırken destek alınan	%	Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yaparken finansal destek alınan	%
Danışmanlık firmaları	22,22	TÜBİTAK	16,00
Üniversiteler	9,52	KOSGEB	24,00
Araştırma merkezleri	4,76	Kalkınma Ajansları	8,00
Teknoloji transfer ofisleri	4,76	Sanayi Bakanlığı	16,00
Tesis ve makine tedarikçileri	15,87	Avrupa Birliği Hibe Fonları	2,00
Endüstri 4.0 teknoloji tedarikçileri	20,63	Herhangi bir destek alınmadan firmanın kendi	34,00
Herhangi bir destek alınmadı.	22,22	kaynakları	

Tablo 7'deki firmaların Endüstri 4.0 teknolojileri için aldıkları destekler incelendiğinde; teknolojileri seçerken/kullanırken %22,22'sinin danışman firmalardan destek aldıkları, yine %22,22'sinin de herhangi bir yerden destek almadıkları tespit edilmiştir. Benzer şekilde, firmaların %34'ünün Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yaparken herhangi bir kurum/kuruluştan finansal destek almadıkları, %24'ünün KOSGEB'ten, sadece %2'sinin AB fonlarından destek aldıkları görülmektedir.

Tablo 8. Firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerini kullandığı departman

Departman	%
Yönetim	11,88
Üretim	32,67
Pazarlama	5,94
Ar-Ge	11,88
Bilgi İşlem	11,88
Finans	2,97
İnsan Kaynakları	2,97
Kalite	8,91
Bakım Onarım	8,91
Diğer...	1,98

Tablo 8'e göre firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerini en fazla (%32,67) üretim, daha sonra yönetim, Ar-Ge ve Bilgi İşlem departmanlarında, en az finans ve insan kaynakları (%2,97) departmanında kullandıkları görülmektedir.

Tablo 9. Firma çalışanlarının Endüstri 4.0 ile ilgili katıldığı seminer, çalıştay, eğitim, sempozyum vb. faaliyet sayısı

Faaliyet sayısı	%
Katılım sağlanmadı	18,92
1-5	51,35
6-10	16,22
11-20	0,00
20 ve üzeri	13,51

Tablo 9 incelendiğinde, firmaların %51,35'inin 1-5 arasında Endüstri 4.0 ile ilgili katıldığı seminer, çalıştay, eğitim, sempozyum vb. faaliyete katıldığı ve %18,92'sinin de herhangi bir faaliyete katılmadığı görülmektedir.

Tablo 10. Endüstri 4.0 teknolojilerine geçiş ve bu teknolojileri uygulama konusunda karşılaşılan zorluklar

Karşılaşılan zorluklar	%
Finansal Konular	27,85
Kalifiye Eleman	27,85
Fiziki altyapı	24,05
Üst yönetim desteğinin eksikliği	3,80
Çalışanların Endüstri 4.0'a olumsuz bakış açısı	15,19
Diğer (Belirtiniz)	1,27

Yukarıdaki tablo incelendiği zaman firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerine geçiş ve uygulamada en çok, finansal konular (%27,87), kalifiye elaman (%27,85) ve fiziki altyapı bakımından zorladıkları görülmektedir.

Tablo 11. Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasından sonra elde edilen sonuçlar

Sonuçlar	Çok azaldı	Azaldı	Değişmedi	Arttı	Çok arttı
Ciro	0,00	0,00	45,95	51,35	2,70
Üretim maliyetleri	2,70	75,68	18,92	2,70	0,00
Verimlilik	0,00	0,00	10,81	78,38	10,81
Üretim hızı	0,00	0,00	21,62	70,27	8,11
Personel sayısı	0,00	29,73	70,27	0,00	0,00
Ürün çeşitliliği	0,00	0,00	78,38	18,92	2,70
Departmanlar arası iletişim	0,00	5,41	37,84	54,05	2,70
Hata oranı	8,11	70,27	18,92	2,70	0,00
Yeni pazarlar	0,00	0,00	67,57	32,43	0,00
Ürün kalitesi	0,00	0,00	24,32	67,57	8,11
Müşterilerden gelen	2,70	78,38	18,92	0,00	0,00
Ürün satışları	0,00	0,00	59,46	40,54	0,00
Stoklar	0,00	62,16	32,43	2,70	2,70
İnovasyon kapasitesi	0,00	0,00	32,43	64,86	2,70

Tablo 11 incelendiğinde; firmaların %89,19'unun (Arttı + Çok arttı) Endüstri 4.0 teknolojilerini uyguladıktan sonraki elde ettikleri sonucun verimliliklerindeki artış olduğu görülmektedir. Bunu, müşterilerden gelen şikayetlerin azalması (%81,08), üretim hızındaki artış (%78,38), hata oranlarındaki azalma (%78,38), ürün kalitesindeki artış (%75,68), stoklardaki azalmalar (%62,16) izlemektedir. Ayrıca, ankete katılan firmaların %78,38'inin ürün çeşitliliğinde, %70,27'sinin personel sayısında, %67,57'sinin yeni pazar sayısında ve %59,46'sının da ürün satışlarında değişim olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 12. Firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmama sebepleri

Yatırım yapmama sebepleri	%
Endüstri 4.0 hakkında bilgi eksikliği ve stratejik öneminin henüz anlaşılmamış olması	20,00
Endüstri 4.0'ın yatırım maliyetinin yüksekliği	12,86
Endüstri 4.0 için teknolojik alt yapının yetersiz olması	22,86
Endüstri 4.0 yatırımı için finansal kaynakların yetersiz olması	14,29
Endüstri 4.0 için kalifiye insan kaynağının yetersiz olması	11,43
Üst yönetimin Endüstri 4.0'ı öncelikli görmemesi	18,57

Tablo 12'deki firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmama sebepleri incelendiğinde; Endüstri 4.0 için teknolojik alt yapının yetersiz olması (%22,86) ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra, Endüstri 4.0 hakkında bilgi eksikliği ve stratejik öneminin henüz anlaşılmamış olması ve üst yönetimin Endüstri 4.0'ı öncelikli görmemesi sebepleri gelmektedir.

Tablo 13. Firmaların Endüstri 4.0'a yatırım yapma planı

Yatırım Yapma Planı	%
1-2 yıl içinde Endüstri 4.0 yatırımı yapılacaktır.	12,50
3-5 yıl içinde Endüstri 4.0 yatırımı yapılacaktır.	30,00
6-8 yıl içinde Endüstri 4.0 yatırımı yapılacaktır.	10,00
9-10 yıl içinde Endüstri 4.0 yatırımı yapılacaktır.	2,50
Firmanın yatırım planında Endüstri 4.0 yer almamaktadır.	45,00

Tablo 13'e göre ankete katılıp Endüstri 4.0'a yatırım yapmadığını belirten firmaların (80 firma) %45'inin yatırım planında Endüstri 4.0'ın yer almadığı, %30'unun ise 3-5 yıl içinde Endüstri 4.0'a yatırım yapacağı görülmektedir.

Bu analizlerden sonra Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapan ve yatırım yapmayan firmaların genel özelliklerini belirlemek için bazı durumlar için crosstabs analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapan ve yapmayan firmaların genel özellikleri

		Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapma durumu (%)	
		Evet	Hayır
Firmadaki çalışan sayısı	0-9	2,70	10,00
	10-49	24,32	40,00
	50-249	29,73	37,50
	250 ve Üstü	43,24	12,50
Faaliyette bulunduğu sektör	İnşaat	1,35	2,50
	Hizmet	4,05	2,50
	Tekstil	16,22	30,00
	Otomotiv	50,00	20,00
	Makina	13,51	28,75
	Mobilya	2,70	2,50
	Kimya	4,05	2,50
	Enerji	5,41	8,75
	Bilişim	2,70	0,00
Diğer...	0,00	2,50	
Firmanın satış yaptığı alan	Yurtiçi	10,81	27,50
	Yurtdışı	0,00	2,50
	Hem yurtiçi hem yurtdışı	89,19	70,00

Tablo 14 incelendiğinde; Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapan firmaların %43,24'ünün 250 ve üstü çalışan sayısına, yatırım yapmayanların ise %50'nin 0-49 çalışan sayısına sahip olduğu, Endüstri 4.0 teknolojilerine en fazla otomotiv sektörünün yatırım yaptığı (%50), yatırım yapmayan sektörler arasında da tekstil sektörünün ilk sırada (%30) yer aldığı görülmektedir. Ayrıca Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapan firmaların %89,19'unun, yatırım yapmayanların da %70'inin hem yurt içi hem de yurt dışına satış yaptığı görülmektedir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

18. yüzyıldaki ilk sanayi devriminden bu yana dünya, sürekli artan tüketimi karşılamak için sınırlı ve tükenen doğal kaynaklardan daha fazla ürün ortaya çıkarmaya çalışmaktadır. Bu çalışmalarda ana amaç minimum maliyetle daha fazla ürün ve hizmetler elde etmektir. Endüstri 4.0 teknolojileri de firmalara bu bağlamda karlı iş modelleri, yüksek verimlilik, yüksek kalite ve optimum iyileştirilmiş iş yeri koşulları gibi birçok fayda sağlamaktadır. Aynı zamanda, firmaların üretim süreçlerinde daha esnek olabilmelerini, büyük miktardaki veriyi gerçek

zamanlı olarak analiz etmelerini, stratejik ve operasyonel karar vermelerini sağlamaktadır. Böylelikle, firmalara zorlu rekabet koşullarında yarışabilme ve ayakta kalabilme avantajı oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye sanayisinde çok önemli bir rolü olan Bursa OSB'lerde yer alan firmaların; Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapıp yapmadıklarını, yatırım amaçlarını, hangi departmanlarda bu teknolojileri kullandıklarını ve hangi sonuçları elde ettiklerini, karşılaştıkları zorlukları, yatırım yapmayan firmaların niçin yatırım yapmadıklarını ve geleceğe dönük planlarını araştırmak amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Çalışmaya katılan firmaların %78,2'sini otomotiv, tekstil ve makine sektöründe yer alan firmaların oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu oran bu çalışmada yüksek olsa da Bursa sanayisinde yer alan ilk üç sektörle de uyumaktadır.
- Firmaların %51,95'inin Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmadığı, %48,05'inin ise yatırım yaptığı görülmektedir.
- Firmaların en fazla verimlilik artışı sağlamak, üretim maliyetlerini azaltmak, hata oranlarını azaltmak için Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yaptıkları tespit edilmiştir. İlk üç sırada yer alan bu sonuçlara bakıldığında Endüstri 4.0 devriminin de ana amaçları ile örtüştüğü görülmektedir. Dolayısıyla firmaların bu konuda farkındalığının olduğu söylenebilir.
- Robot teknolojilerinin, sistemler arası entegrasyon ve büyük veri teknolojilerinin daha fazla kullanıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, en fazla üretim, daha sonra yönetim, Ar-Ge ve bilgi işlem departmanlarında Endüstri 4.0 teknolojilerini kullandıkları görülmektedir.
- Endüstri 4.0 teknolojilerine en fazla otomotiv sektörünün yatırım yaptığı, yatırım yapmayan sektörlerde ise ilk sırada tekstil sektörünün olduğu tespit edilmiştir. Bursa sanayisinde sayı olarak ilk sırada yer alan tekstil sektörünün daha fazla Endüstri 4.0 teknolojilerine yönelmesinin hem Bursa hem de dünya tekstil ticareti açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.
- Teknolojileri seçerken/kullanırken %22,22'sinin danışman firmalardan destek aldıkları, yine %22,22'sinin de herhangi bir yerden destek almadıkları tespit edilmiştir. Ayrıca, üniversiteler, TTO'lar ve araştırma merkezlerinden çok az sayıda destek aldıkları görülmektedir. Dolayısıyla, bu kurumlarla firmaların daha fazla iletişime geçerek bu konuda destek almaları süreçlerinin verimli geçmesini sağlayacaktır.
- Firmaların %34'ünün Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yaparken herhangi bir kurum/kuruluştan finansal destek almadıkları (otomotiv ve tekstil sektöründeki firmalar çoğunlukla) %24'ünün KOSGEB'ten destek aldığı (sektörler homojen dağılmıştır) belirlenmiştir. Kalkınma ajanslarından ve AB fonlarından ise çok az destek aldıkları tespit edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında, özellikle destek almayan firmaları destek alınacak kurum/kuruluşlar konusunda üniversitelerin ve TTO'ların bilgilendirmesi gerekmektedir. Destek alan firmaların ise kalkınma ajansları ve AB fonlarına yönlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.
- Endüstri 4.0 teknolojilerine geçiş ve uygulamada finansal konular, kalifiye eleman ve fiziki altyapı bakımından firmaların daha fazla zorlandıkları belirlenmiştir. Burada dikkate çeken nokta özellikle kalifiye eleman konusunda yaşanan zorluktur. Bu yüzden, üniversite-sanayi iş birliklerinde bu konuda üzerinde durulmalı ve Endüstri 4.0 konusunda kalifiye eleman yetiştirilmesi teşvik edilmelidir.
- Endüstri 4.0'a yatırım yapan firmaların verimliliklerinde artış, müşterilerden gelen şikayetlerde azalma, üretim hızında artış ve hata oranlarında azalma gibi önemli sonuçlar elde ettikleri tespit edilmiştir. Firmaların %70,27'sinin personel sayısında bir değişim olmadığını, geriye kalanlarda ise personel sayısında azalma olduğu belirlenmiştir.

- Endüstri 4.0 için teknolojik alt yapının yetersiz olması, Endüstri 4.0 hakkında bilgi eksikliği ve stratejik öneminin henüz anlaşılmamış olması ise firmaların yatırım yapmamasındaki en önemli sebepler olarak göze çarpmaktadır. Bunun için, firmaların öncelikle üst düzey yöneticilerinin daha sonra ise tüm çalışanlarının Endüstri 4.0 felsefesini anlamaları ve özümsemeleri sağlanarak ilk adım atılmalıdır.

Yaptığımız çalışmada ankete katılan firma sayısı hedeflenen firma sayısından az olmuştur ve bu sayının azlığı çalışmamızın en önemli kısıtını oluşturmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda bu firmaların ankete daha fazla katılmaları sağlanarak daha kapsamlı analizler yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.
- [2] Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
- [3] Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 546-556.
- [4] Hizam-Hanafiah, M., & Soomro, M. A. (2021). The situation of technology companies in industry 4.0 and the open innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 34.
- [5] Sahal, R., Breslin, J. G., & Ali, M. I. (2020). Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 138-151.
- [6] Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.
- [7] Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ile bütünleştirilmiş dijital tedarik zinciri. *BMIJ*, (2018), 6(4), 1215-1230.
- [8] Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
- [9] Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776.
- [10] Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922-1954.
- [11] Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546.
- [12] Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2020). Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation. *International Journal of Production Economics*, 228, 107735.
- [13] Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103