

TÜRKİYE'DEKİ İMALAT ŞİRKETLERİNİN ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ*

Ebru KASNAK¹, Belkıs ÖZKARA²

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, Türkiye'de faaliyet gösteren imalat şirketlerinin Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Yöntem: İmalat işletmelerinin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyini belirlemek için gelişmekte olan ülkeler perspektifinde geliştirilmiş olan bir ölçek kullanılmıştır. Araştırmanın örneklemi ISO 500/1000 listesinde yer alan ve Endüstri 4.0 araç ve süreçlerini uygulayan büyük ölçekli imalat firmalarının üst ve operasyonel düzey yöneticileri ile mühendis ve teknik uzmanlarından oluşmaktadır. Anket yoluyla toplanan veriler betimleyici istatistikler yoluyla değerlendirilmiştir.

Bulgular: Araştırmanın sonuçları, genel olarak işletmelerin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyi (3,92/5,00) bakımından "deneyimli" seviyesini tamamlamak üzere olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, işletmelerin örgütsel yönlerinin iyi bir seviyede olduğu, teknolojik (operasyonel) yönlerinin ise geliştirilmesi gereken alanlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Özgünlük: Endüstri 4.0 olgunluk düzeyini geliştirmekte olan ülkeler perspektifinde değerlendiren çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda, konuyu geniş bir katılım çerçevesinde ve kapsamlı bir şekilde ele alarak, literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Olgunluk/Hazırlık Modelleri, İmalat Sektörü, Olgunluk Seviyesi.

JEL Kodları: L2, C83, L6, D22.

DETERMINING THE INDUSTRY 4.0 MATURITY LEVEL OF MANUFACTURING COMPANIES IN TURKEY

ABSTRACT

Purpose: This study aims to determine the Industry 4.0 maturity levels of manufacturing companies operating in Turkey.

Methodology: A scale which was developed in the perspective of developing countries, was used to determine the Industry 4.0 maturity level of manufacturing enterprises. The sample of the research consists of senior and operational managers, engineers and technical experts of large-scale manufacturing companies that are on the ISO 500/1000 list and apply Industry 4.0 tools and processes. The data which collected through the questionnaire, was evaluated through descriptive statistics.

Findings: The results of the research show that, in general, businesses are about to complete the "experienced" level in terms of Industry 4.0 maturity level (3.92/5.00). However, it has been concluded that the organizational aspects of the enterprises are at a good level and the technological (operational) aspects are areas that need improvement.

Originality: There are very few studies evaluating the maturity level of Industry 4.0 from the perspective of developing countries. This study also contributes to the literature by dealing with the subject in a wide participation framework and comprehensive manner.

Keywords: Industry 4.0, Maturity/Readiness Models, Manufacturing Sector, Maturity Level.

JEL Codes: L2, C83, L6, D22.

* Bu çalışma, Ebru KASNAK tarafından Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde Prof. Dr. Belkıs ÖZKARA danışmanlığında yürütülen "Endüstri 4.0 Olgunluk Düzeyinin Örgütsel Öğrenmeye Etkisinde Teknolojik Yatınlığın Aracılık Rolü" başlıklı Doktora Tezi'nden türetilmiştir. Çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 21.SOS. BİL.01 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

¹ Öğr. Gör. Dr., Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Atatürk Sağlık Hizmetleri MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ebru.kasnak@afsu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2489-6134 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

² Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, bozkara@aku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2120-0373.

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0 terimi, genel olarak şuan içinde bulunduğumuz endüstrileşme sürecinin dördüncü evresini ifade etmekte olup, ilk olarak 2011 yılında Hannover Fuarı'nda ortaya atılmıştır (Ghobakhloo, 2018). Sürecin ilk evresi 1760-1830 yılları arasında, buharlı motorların icadı, su gücü ve mekanizasyonun birlikte kullanımıyla ortaya çıkmıştır ve insan gücünden makine gücüne geçişteki dönüm noktasını temsil etmektedir (Ghobakhloo, 2018; Elitok, 2019: 1). İkinci evre, 19. yüzyıl sonları ve 20. yüzyılın başlarında, elektrik enerjisinin kullanımı ve buna bağlı olarak gerçekleştirilen seri üretime geçiş ile yoğun iş bölümü kavramlarının ortaya çıktığı dönemi temsil etmektedir (Devezas ve diğerleri, 2017: 1; Plessis, 2017: 9). Üçüncü evre, 1970'lerden itibaren üretim süreçlerinde otomasyonu arttıran bilgi teknolojileri ve elektroniğin kullanılmasıyla gerçekleşmiştir (TÜSİAD, 2016: 19). Endüstri 4.0 olarak adlandırılan dördüncü evre ise, nesnelerin internetinin (IoT) ve hizmetlerin internetinin (IoS) üretim ortamına girmesi ile başlayarak, gelecekte işletmelerin makine ve depo alanlarından üretim tesisleri ve tedarikçilerine kadar tüm unsurlarını Siber-Fiziksel Sistemler (CPS) şeklinde bir araya getirdiği bir küresel ağ sistemi yapısını mümkün kılacaktır (Kagermann ve diğerleri, 2013: 5).

Son zamanlarda imalat şirketleri, çevresel, toplumsal, ekonomik ve teknolojik gelişmeler neticesinde, artan rekabetçilik ve teknolojik yeniliklere adaptasyon sorunu vb. önemli zorluklarla karşı karşıya kalmakta ve bu zorlukların üstesinden gelebilmek için tüm değer zincirlerini çevik ve duyarlı bir şekilde yönetme yeteneklerine ihtiyaç duymaktadırlar (Schumacher ve diğerleri, 2016). Söz konusu yetenekleri sağlamada sunduğu avantajlar bakımından Endüstri 4.0, birçok ülkede hükümetlerin ve şirketlerin odak noktası haline gelmiştir. Endüstri 4.0'ın temel mantığı, verileri gerçek zamanlı olarak toplama ve analiz etme amacıyla yenilikçi teknolojilerin benimsenerek endüstrinin dijitalleştirilmesi ve süreçlerin birbiriyle bağlantılı olması anlayışına dayanmaktadır ve bu sayede üretim sistemlerinde daha yüksek düzeyde operasyonel üretkenlik ve verimlilik sağlanabilmektedir (Frank ve diğerleri, 2019; Alcácer ve diğerleri, 2021). Bu nedenle, belirsizliğin ve rekabetin üst düzeyde olduğu günümüz küresel pazar yapısında, yeterli performansla uzun vadede varlığını sürdürmek isteyen şirketlerin rekabetçi kalabilmek için endüstrileşmenin dördüncü evresine uyarlanmaları gerekliliği kaçınılmazdır (Ghobakhloo, 2018; Pacchini ve diğerleri, 2019). Fakat bu uyarlanma süreci, yoğun bir teknolojik yatırım ve buna uygun iş modeli, strateji, yapı dönüşümü gerektirmektedir. Dönüşüm sürecinde gerekli finansal kaynakların ve örgütsel alandaki dönüşümlerin büyüklüğü belirsizliklerin ve endişelerin kaynağı olmaktadır (Schumacher ve diğerleri, 2016). Ayrıca, organizasyonların Endüstri 4.0 süreci açısından gelecekteki eylem planına karar verebilmeleri için, kendi hedeflerini ve mevcut durumlarını da değerlendirmeleri gereklidir (Wagire ve diğerleri, 2020). İşletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş süreci, hem stratejik hem de teknolojik yönden değerlendirildiğinde, bütünüyle dijital bir üretim kuruluşuna giden yolda atılan her adımın belirginleştirildiği ve görselleştirildiği kapsamlı bir stratejik yol haritasını gerektirmektedir (Ghobakhloo, 2018).

Geçiş ya da dönüşüm sürecinin kolayca ve tümüyle gerçekleşemeyebileceği, her bir işletmenin ihtiyaçlarına göre belirli unsurları benimseyebileceği ya da örgütsel dönüşümlerin henüz tamamlanamayabileceği dikkate alındığında, işletmelerin Endüstri 4.0'a geçişini değerlendirebilecek modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda, literatürde Endüstri 4.0 olgunluk ve hazırlık değerlendirme modelleri ön plana çıkmakta ve bu modeller, şirketlerin akıllı üretim sistemlerine geçiş sürecinde yönetmesi gereken etkinleştirici teknolojileri ve yeni işlevsel/örgütsel faktörleri vurgulamayı amaçlamaktadır (Pirola ve diğerleri, 2019).

Çalışma kapsamında, Türkiye'de imalat sektöründe faaliyet gösteren büyük ölçekli firmaların Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Daha önce ülkemizde bu konuda yapılan kurumsal çalışmalar incelendiğinde, ilk olarak Accenture (2015: 10) firmasının Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye Bilişim Vakfı, ODTÜ ve Vodafone Türkiye işbirliği ile yapmış olduğu çalışma ön plana çıkmaktadır. İlgili çalışma dahilinde, geliştirilen "Dijitalleşme Endeksi" ile şirketlerin strateji, hizmet ve operasyonel yetkinlikleri dijital kabiliyetleri bağlamında incelenmiş ve bankacılık, sigortacılık, sağlık hizmetleri, ticaret, inşaat, imalat vs. pek çok sektörde faaliyet gösteren ve belli bir finansal büyüklüğe sahip olan (çoğunluğu büyük ölçekli) firmalar değerlendirmeye alınmıştır. Burada Endüstri 4.0 perspektifinden ziyade daha çok dijitalleşme vurgusu söz konusudur. TÜSİAD (2017: 37)'ın BCG danışmanlık firmasıyla ortaklaşa gerçekleştirdiği "Türkiye'nin Sanayide Dönüşüm Yetkinliği" başlıklı çalışmasında ise, dijital dönüşüm farkındalığı ile operasyon iyileştirme, performans yönetimi, çalışan katılımı ve temel bileşenler bölümlerini içeren değerlendirme çalışması yapılmış ve firma büyüklüğüne bakılmaksızın imalat sanayinde faaliyet gösteren teknoloji kullanıcıları firmalar ile teknoloji geliştiren firmalar baz alınmıştır. Çalışmada, yalın üretim felsefesini benimseyen şirketlerde Endüstri 4.0 sürecine geçişin daha kolay olduğu vurgulanmıştır. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2018: 70)'nın yapmış olduğu "Türkiye'nin Sanayi Devrimi 'Dijital Türkiye' Yol Haritası" başlıklı çalışmada da firma büyüklüğü gözetmeksizin Ar-Ge merkezine sahip olan ve Teknoloji Geliştirme Bölgeleri içerisinde yer alan, imalat sektöründe faaliyet gösteren teknoloji kullanıcıları işletmeler ile teknoloji geliştiren işletmeler değerlendirilmeye alınmıştır. Çalışma kapsamında, departmanlar bazındaki

operasyonlar ve dijital değer zinciri yapısı ile dijitalleşmeye yönelik stratejik yapı ve ekosistem incelenmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 Platformu (2020: 21)'nin yapmış olduğu çalışmada ise, İstanbul Dudullu Organize Sanayi Bölgesi'ndeki imalat sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'ler baz alınarak, firmaların organizasyonel yapı, ürün geliştirme ile müşteri, tedarik zinciri ve üretim yönetimi alanlarında dijital dönüşümü değerlendirmeye alınmıştır. Olgunluk değerlendirmeye yönelik akademik alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde ise, genellikle belli bir bölgedeki işletmelerin değerlendirildiği çalışmalar (Hatipoğlu ve Tunacan, 2020; Şimşek, 2020) ya da firma bazında değerlendirmenin yapıldığı çalışmalar (Akdil ve diğerleri, 2018; Özçelik ve diğerleri, 2018) olduğu görülmüştür.

Genel olarak literatürde yer alan geniş katımlı Endüstri 4.0 olgunluk değerlendirmelerinde, Endüstri 4.0 süreçlerini uygulayan ve uygulamayan ayırımına gitmeden firmaların birlikte değerlendirildiği gözlenmiştir. Yapılan çalışmaya, daha sağlıklı bir olgunluk değerlendirmesi gerçekleştirebilmek adına, sadece Endüstri 4.0'ın benimsenmesine yönelik proje ve süreçleri hali hazırda uygulayan işletmeler dahil edilmiştir. Çalışma bu yönüyle literatürdeki çalışmalardan ayrılmaktadır. Bununla birlikte, literatürdeki Endüstri 4.0 olgunluk/hazırlık modelleri incelendiğinde, birçok olgunluk modelinin gelişmiş ülkeler bağlamında ve daha teknik bir çerçevede geliştirilmiş oldukları gözlenmiştir. Gelişmekte olan ülkeler bağlamında hazırlanmış bir olgunluk modeli ile ülkemizdeki firmaların olgunluk düzeylerinin belirlendiği bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada, öncelikle literatür araştırması bölümüne yer verilmiştir. Bu çerçevede Endüstri 4.0 kavramı, yenilikçi teknolojileri ve Endüstri 4.0 ile ilgili olgunluk/hazırlık değerlendirme modellerine değinilmiştir. Daha sonra çalışmada izlenen metodoloji ve elde edilen bulgular ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Son bölümde ise, ortaya çıkan sonuçlara ilişkin değerlendirmeler paylaşılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Endüstri 4.0 Kavramı ve Teknolojileri

Son dönemde sensörler, veri toplama sistemleri, bilgisayar ağları ve ağa bağlı makinelerin giderek artan kullanımı ve satın alınabilirliği ile günümüz endüstrisinin yüksek rekabetçi yapısı, daha fazla işletmeyi gelişmiş teknoloji yöntemlerini uygulamaya sevk etmiştir (Lee ve diğerleri, 2015). Bu yıkıcı dönüşüm süreciyle, bilgi teknolojileri, üretim ve hizmet alanındaki gelişmelerden doğan sinerji "Endüstri 4.0" olarak tanımlanan yeni bir kavramı ortaya çıkarmıştır (Kagermann ve diğerleri, 2013: 5; Salkin ve diğerleri, 2018: 4).

Endüstri 4.0 kavramı, yeni bir tür akıllı, ağ bağlantılı ve çevik değer zinciri yapısını oluşturmada, internetin ve destekleyici teknolojilerin (örn. gömülü sistemler) fiziksel nesnelere, insan faktörünü, akıllı makineleri, üretim hatlarını ve süreçleri örgütsel sınırlar çerçevesinde bütünleştirmek için bir omurga görevi gördüğü yapıyı ifade etmektedir (Schumacher ve diğerleri, 2016)

Endüstri 4.0, akıllı üretim sistemleri ve gelişmiş bilgi teknolojilerini içeren bütünleşik bir yazılım sistemleri kümesidir (Pacchini ve diğerleri, 2019). Endüstri 4.0 kapsamındaki bu yeni üretim ortamı ise, şirketlerin tüm değer zincirinin gerçek zamanlı olarak birbirine bağlı olduğu ve üretim sistemlerinin otonom çalışan yerleşik zeka ile yüksek düzeyde otomatikleştirildiği dijitalleşmiş bir yapıyı temsil etmektedir (Wagire ve diğerleri, 2020).

Siber-Fiziksel Sistemler (CPS'ler), Nesnelere ve Hizmetlerin İnterneti (IoT/loS), Bulut Bilişim, Büyük Veri Analizi ve Siber Güvenlik gibi gelişen teknolojiler, Endüstri 4.0'ın temel direklerini oluşturmaktadır (Wagire ve diğerleri, 2020). Bunların yanı sıra, otonom robotlar, katmanlı üretim, artırılmış gerçeklik vb. etkinleştirici teknolojiler de Endüstri 4.0'ın temel teknolojileri arasında yer almaktadır (Pacchini ve diğerleri, 2019). Dördüncü sanayi devrimi sürecini tetikleyen bu teknolojiler, Endüstri 4.0 dönüşümünün etkin ve başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesine de katkı sağlamaktadır (TÜSİAD, 2016: 25; Salkin ve diğerleri, 2018:7).

Otonom olarak ve merkezi olmayan bir şekilde çalışan Siber-Fiziksel Sistemler (CPS), gömülü sensör sistemleri ve aktüatör sistemlerden oluşmaktadır ve birbirleriyle bulut gibi sanal ağlar üzerinden gerçek zamanlı ve sürekli olarak veri alışverişi gerçekleştirmektedir (Stock ve Seliger, 2016). IoT, fiziksel nesnelere birbirleriyle iletişim kurmasını, bilgi paylaşmasını ve kararları koordine etmesini sağlamaktadır. Endüstri 4.0 bağlamındaki IoT ise, Endüstriyel Nesnelere İnterneti (IIoT) olarak adlandırılmakta ve tahmine dayalı bakım hizmetleri, ürün kalitesi verimliliği, enerji optimizasyonu ve tasarım optimizasyonu açısından işletmelere büyük bir potansiyel sağlamaktadır (Ghobakhloo, 2018). Bulut teknolojileri, paylaşılan bir bilgi işlem kaynakları ortamına isteğe bağlı ağ erişimi sağlayarak, fiziksel yakınlık gerektirmeyecek şekilde bilgilerin paylaşımı ve faaliyetlerin koordine edebilmesini sağlamaktadır (Frank ve diğerleri, 2019). Büyük veri kavramı ise, doğru ve hızlı bilgi sağlama ve karar verme için çeşitli kaynaklardan gelen ve IoT aracılığıyla bağlanan büyük hacimdeki yapılandırılmamış, yapılandırılmış ve yarı yapılandırılmış verilerin

depolandığı ortamı ifade etmektedir (Pacchini ve diğerleri, 2019). Bu şekilde ağlarda paylaşılan yüksek miktar ve nitelikteki veriler göz önüne alındığında, endüstriyel sistemler tehditlere karşı savunmasız hale gelmekte ve bu noktada bilgi sistemlerini hırsızlıktan veya yazılım, donanım gibi unsurların içerdikleri bilgilerin hasar görmesinden koruyan siber güvenlik önlemleri ön plana çıkmaktadır (Plessis, 2017: 22). Günümüzde üreticileri firmalar, tamamlayıcı hizmetler sunarak tüketicilerle doğrudan bir bağlantı kurmaya ve rekabetçi konumlarını güçlendirmeye çalışmakta ve bunun için loS aracılığıyla gerekli teknolojik altyapıyı sağlamaktadır (Ghobakhloo, 2018). Genel olarak, bulut tabanlı sistemler, CPS, loT ve loS vs. tüm bu teknolojik bileşenler; sosyal ağ yapılanması ile kaynakları, makineleri ve insanları birbirine bağlayan, merkezi olmayan ve fiziksel dünya ile sanal dünyanın iç içe olduğu Endüstri 4.0'ın akıllı üretim sistemi konseptini oluşturmaktadır (Alcácer ve diğerleri, 2021).

2.2. Olgunluk ve Hazırlık Değerlendirme Modelleri

Endüstri 4.0 kavramı, akademisyenler ve uygulayıcılar açısından görece yeni bir olgudur ve sürecin yeterince standart, yaygın bir hale geldiğini ve net geri dönüşler elde edildiğini söylemek şuan için pek mümkün değildir (Wagire ve diğerleri, 2020). Günümüzde tüm sektör ve işletmeler, Endüstri 4.0'ın etkinleştirici teknolojilerini aynı kolaylıkla benimseyememekte ve Endüstri 4.0 süreci yapılanmasını iş modellerine uyarlayamama ya da hazırlık veya olgunluk seviyesini belirleyebilme açısından öz değerlendirme yapamama gibi bazı sorunlarla karşılaşmaktadırlar. Bu sorunların üstesinden gelebilmeleri için işletmelerin, kendilerini yönlendirecek ve destekleyecek yeni araçlara ihtiyaçları vardır ve bu noktada olgunluk ve hazırlık modelleri ön plana çıkmaktadır (Alcácer ve diğerleri, 2021).

Genel olarak, olgunluk kavramı "tam, mükemmel veya hazır olma durumu"nu ifade etmekte ve bir sistemin geliştirilmesinde bir miktar ilerleme anlamını taşımaktadır (Schumacher ve diğerleri, 2016). Olgunluk modelleri ise, işletmelerin olgunluk seviyesindeki ilerlemeyi takip edebilmelerine, elde edilen sonuçlar ile ilgili denetim ve kıyaslama yapabilmelerine ve olgunluk seviyelerine göre organizasyon unsurlarını değerlendirmelerine olanak sağlamaktadır (Akdil ve diğerleri, 2018: 62). Olgunluk modellerine yakın bir yaklaşım olarak hazırlık modellerinde "başlangıç noktası burasıdır" fikri ön plana çıkmakta ve olgunluk dönüşüm sürecine girmeden önce sistemin durum değerlendirmesi amaçlanmaktadır (Alcácer ve diğerleri, 2021). Olgunluk ve hazırlık kavramları birbirinden farklı anlamlar taşısa da, literatürde yer alan çalışmalarda (Schumacher ve diğerleri, 2016; Akdil ve diğerleri, 2018; Pirola ve diğerleri, 2019; Hizam-Hanafiah ve diğerleri, 2020; Wagire ve diğerleri, 2020) Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin genellikle birlikte değerlendirildiği görülmüş ve bu çalışma kapsamında da benzer bir yaklaşım gösterilmiştir.

Literatürdeki Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelleri incelendiğinde, standart, kalıplaşmış ve yaygın kullanılan bir yapıdan ziyade, araştırmacıların bakış açısı ve gözlenen ihtiyaçlara göre şekillenen ve farklılaşan yapılar göze çarpmaktadır. İncelenen modeller Tablo 1'de sunulmuştur. Sektör açısından inceleme yapıldığında, sadece imalat firmalarını baz alan modeller (Schumacher ve diğerleri, 2016; Gökalp ve diğerleri, 2017; Bibby ve Dehe, 2018; Pacchini ve diğerleri, 2019; Wagire ve diğerleri, 2020), sadece KOBİ (Küçük ve Orta Ölçekli İşletme)'lere yönelik olarak geliştirilen modeller (Ganzarain ve Errasti, 2016; Mittal ve diğerleri, 2018; Pirola ve diğerleri, 2019) ya da sektör ayrımı yapmaksızın farklı açılardan geniş bir kapsama hitap eden modeller (Lichtblau ve diğerleri, 2015; PWC, 2016; University of Warwick, 2017; Akdil ve diğerleri, 2018) ön plana çıkmaktadır.

Literatürdeki modeller içerdiği konular ve boyutlar bakımından değerlendirildiğinde ise, sadece Endüstri 4.0'ın yenilikçi teknolojilerine odaklanan (Pacchini ve diğerleri, 2019) ya da bilgi teknolojileri/operasyonel teknolojiler alt yapısına odaklanan (Rockwell Automation, 2014) modellerin yanı sıra, sürecin teknolojik yönlerine ilaveten operasyonel ve organizasyonel yönlerini ele alan modeller de (Lichtblau ve diğerleri, 2015; Gökalp ve diğerleri, 2017; Akdil ve diğerleri, 2018; Mittal ve diğerleri, 2018; Pirola ve diğerleri, 2019) bulunmaktadır. Geliştirilen az sayıdaki modelin (PWC, 2016; Bibby ve Dehe, 2018; Schumacher ve diğerleri, 2016; Wagire ve diğerleri, 2020) bunlara ek olarak kuruluşun kültürel yönlerini de dikkate aldığı gözlenmiştir.

Tablo 1. Literatürde incelenen olgunluk ve hazırlık modelleri

<i>Olgunluk ve Hazırlık Modelleri</i>	<i>Hedef</i>	<i>Analiz Edilen Boyutlar</i>	<i>Yazarlar</i>
The Connected Enterprise Maturity Model- <i>Bağlantılı Kurumsal Olgunluk Modeli</i>	İmalatçı Firmalar	Boyutlar hakkında ayrıntılı bilgi içermemektedir	Rockwell Automation (2014)
IMPULS-Industrie 4.0 Readiness- <i>Endüstri 4.0 Hazırlık</i>	Firmalar	- Strateji ve organizasyon - Akıllı fabrika - Akıllı operasyonlar - Akıllı ürünler - Veriye dayalı hizmetler - Çalışanlar	Lichtblau ve diğerleri (2015)
Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment Industry 4.0: Building the digital enterprise- <i>Endüstri 4.0 / Dijital İşlemler Öz Değerlendirmesi Endüstri 4.0: Dijital girişimi oluşturma</i>	Firmalar	- Dijital iş modelleri ve müşteri erişimi - Ürün ve hizmet tekliflerinin dijitalleştirilmesi - Dikey ve yatay değer zincirlerinin dijitalleştirilmesi ve entegrasyonu - Temel yetenek olarak veri ve analitik - Çevik BT mimarisi - Uyumluluk, güvenlik, hukuk ve vergi - Organizasyon, çalışanlar ve dijital kültür	PWC (2016)
Industry 4.0 Maturity Model- <i>Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli</i>	İmalatçı Firmalar	- Strateji - Liderlik - Müşteriler - Ürünler - Operasyonlar - Kültür - İnsanlar - Yönetim - Teknoloji	Schumacher ve diğerleri (2016)
Three Stage Maturity Model in SMEs-KOBİ'lerde Üç Aşamalı Olgunluk Modeli	KOBİ'ler	Boyutlar hakkında ayrıntılı bilgi içermemektedir	Ganzarain ve Errasti (2016)
An Industry 4 Readiness Assessment Tool- <i>Endüstri 4 Hazırlık Değerlendirme Aracı</i>	Firmalar	- Ürünler ve servisler - Üretim ve operasyonlar - Strateji ve organizasyon - Tedarik zinciri - İş modeli - Yasal hususlar	University of Warwick (2017)
SPICE-based Industry 4.0-MM- <i>SPICE tabanlı Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli</i>	İmalatçı Firmalar	- Varlık yönetimi - Veri yönetimi - Uygulama yönetimi - Süreç dönüşümü - Organizasyonel uyum	Gökalp ve diğerleri (2017)
SM ³ E Maturity Model- <i>SM³E Olgunluk Modeli</i>	İmalatçı KOBİ'ler	- Finans - İnsanlar - Strateji - Ürün - Süreç	Mittal ve diğerleri (2018)
Maturity Model- <i>Olgunluk Modeli</i>	İmalatçı Firmalar	- Geleceğin fabrikası - İnsan ve kültür - Strateji	Bibby ve Dehe (2018)
Digital Readiness Level 4.0 Model- <i>Dijital Hazırlık Seviyesi 4.0 Modeli</i>	KOBİ'ler	- Strateji - İnsan - Süreçler - Teknoloji - Entegrasyon	Pirola ve diğerleri (2019)

Tablo 1. (Devamı)

Olgunluk ve Hazırlık Modelleri			Hedef	Analiz Edilen Boyutlar	Yazarlar
Industry 4.0 Maturity Model-Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli			Firmalar	<ul style="list-style-type: none"> - Akıllı ürünler ve hizmetler - Üretim, lojistik ve tedarik - Ar-Ge-ürün geliştirme - Satış sonrası hizmet - Fiyatlandırma / promosyon - Satış ve dağıtım kanalları - İnsan kaynakları - Bilgi teknolojileri - Akıllı finans - İş modelleri - Stratejik ortaklıklar - Teknoloji yatırımları - Organizasyon yapısı ve liderlik 	Akdil ve diğerleri (2018)
SM ³ E Maturity Olgunluk Modeli	Model-SM ³ E		İmalatçı KOBİ'ler	<ul style="list-style-type: none"> - Finans - İnsanlar - Strateji - Ürün - Süreç 	Mittal ve diğerleri (2018)
Industry 4.0 Readiness Assessment Model-Endüstri 4.0 Değerlendirme Modeli		Model-Endüstri 4.0 Hazırlık	İmalatçı Firmalar	<ul style="list-style-type: none"> - Teknolojileri etkinleştirme - Nesnelerin interneti - Büyük veri - Bulut bilişim - Siber fiziksel sistemler - İşbirlikçi robotlar - Katmanlı üretim - Arttırılmış gerçeklik - Yapay zekâ 	Pacchini ve diğerleri (2019)
Industry 4.0 Maturity Tool-Endüstri 4.0 Değerlendirme Aracı	Assessment Olgunluk		İmalatçı Firmalar	<ul style="list-style-type: none"> - İnsan ve kültür - Endüstri 4.0 farkındalığı - Organizasyonel strateji - Değer zinciri ve süreçler - Akıllı imalat teknolojisi - Ürün ve hizmet odaklı teknoloji - Endüstri 4.0 tabanlı teknoloji 	Wagire ve diğerleri (2020)

Literatürdeki modellerde, genel olarak gelişmiş ülkeler bağlamındaki işletmelerin hazır olma durumu ve/veya olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesine odaklanılması ve gelişmekte olan ülkeler açısından hazırlık ve/veya olgunluk değerlendirmesi konusundaki yetersizlik göze çarpmaktadır (Samaranayake ve diğerleri, 2017: 530; Wagire ve diğerleri, 2020). Gelişmiş ülkelere kıyasla, gelişmekte olan ülkelerdeki işletmelerin sanayileşme ve otomasyon düzeyleri bakımından Endüstri 4.0 hazırlığı/olgunluğuna ilişkin temel başlangıç noktasının daha düşük seviyede olması ve sosyo-ekonomik farklılıklar (kültür, insan kaynakları faktörleri vs.) gelişmekte olan ülkeler bağlamına özgü bir olgunluk modeli ihtiyacını ortaya koymaktadır (Wagire ve diğerleri, 2020).

Bu bakımdan olgunluk modellerinin genel bir değerlendirmesi yapıldığında, Wagire ve diğerleri (2020) tarafından geliştirilmiş olan model, gelişmekte olan ülkeler bağlamında bir Endüstri 4.0 olgunluk değerlendirmesi imkanı sunması açısından literatürdeki modeller arasında ön plana çıkmaktadır. En son geliştirilen modellerden biri olması nedeniyle de literatürde önceden geliştirilen modellerin üstün ve zayıf yönlerini değerlendirerek ve gelişmekte olan ülkeler perspektifinde ortaya çıkan ihtiyaçlara göre gerekli konu başlıklarını belirleyerek, tek bir alana yönelmek yerine bütüncül bir anlayışla (teknolojik, örgütsel, kültürel) şirketlerin Endüstri 4.0 uygulama süreçlerini ölçümleme olanağı sunabilmesi açısından da önemlidir. Bu açıdan modeli, önceki olgunluk modellerinin kullanışlı ve kapsamlı bir özeti şeklinde yorumlamak mümkündür.

Wagire ve diğerleri (2020) tarafından geliştirilmiş olan olgunluk modelinin ana odak noktası, yenilikçi teknolojilerin yanı sıra organizasyonel strateji, insan faktörü ve kültür gibi kuruluşların kritik yönleri, Endüstri 4.0 kavramına ilişkin farkındalık, Endüstri 4.0 dönüşümü için kullanışlılık (Endüstri 4.0'ın firma performansı açısından faydalı olması inancı) ve duyarlılık (firmanın dijital dönüşüm sürecinin etkilerine olan hassasiyeti) üzerinedir. Modelde işlenen teknolojik alanlar da diğer olgunluk modellerinden farklı olarak konularına göre gruplandırılmıştır. Buna göre, yatay ve dikey değer zincirinin dijitalizasyonu, uçtan uca bilgi teknolojilerinin

entegrasyonu gibi konular değer zinciri ve süreçler kapsamında; otonom ve işbirlikçi robotlar (kobotlar), RFID (Radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi), insandan makineye ve makineden makineye iletişim gibi akıllı üretime yönelik teknolojiler akıllı imalat sistemleri kapsamında; akıllı ürün, 3 boyutlu yazıcılar, mobil ve giyilebilir cihazlar gibi ürün ve hizmetler bağlamında kullanılan teknolojiler ürün ve hizmet odaklı teknolojiler kapsamında; büyük veri, bulut ağı, nesnelerin interneti, yapay zeka gibi daha çok Endüstri 4.0 konsepti ile gelişen teknolojiler ise Endüstri 4.0 tabanlı teknolojiler kapsamında ele alınmıştır.

Endüstri 4.0 uygulaması, öncelikle belirli bir teknolojik alt yapıyı gerektirmektedir ve bu teknolojik alt yapı, Wagire ve diğerlerinin (2020) Endüstri 4.0 olgunluk modelindeki "Değer zinciri ve süreçler", "Akıllı imalat teknolojisi", "Ürün ve hizmet odaklı teknoloji" ve "Endüstri 4.0 tabanlı teknoloji" boyutlarını kapsamaktadır. Bu teknolojiler sayesinde hem tedarikçilerle işletme arasındaki bağlantılar hem işletme içindeki süreçler arasındaki bağlantılar, hem de işletme ile müşteri arasındaki bağlantılar kurularak, tüm bu değer zinciri yapısında maliyet, kalite, hız, verimlilik açısından avantajlar ve kazanımlar elde edilebilecektir.

Wagire ve diğerlerinin (2020) modelinde yer alan "İnsan ve kültür", "Endüstri 4.0 farkındalığı" ve "Organizasyonel strateji" boyutları ise, işletmedeki Endüstri 4.0 faaliyetlerinin gelişimini desteklemeye yönelik örgüt yapısı, kültür, strateji ve bu konudaki farkındalık ile ilgilidir. Endüstri 4.0 uygulaması, örgüt içindeki öğrenme yapıları, örgüt kültürü, insan kaynakları yapılanması ve yönetimi, liderlik tarzı gibi faktörleri de önemli ölçüde etkilemekte ve dönüştürmektedir. Dolayısıyla, Endüstri 4.0 uygulamalarının sağlıklı yürütülebilmesinde örgüt ve insan faktörü, bu sürecin önemli bir diğer tarafını oluşturmaktadır. Örgütlerin, dijital dönüşüm çalışmalarına yönelik bir işe alım politikası oluşturması ve mevcut çalışanlarını da bu dönüşüm sürecine hazır hale getirebilmesi son derece önemlidir (Şener ve diğerleri, 2022). Aynı zamanda, değişimi kucaklayan, sürekli gelişimi destekleyen ve yenilikçi bir bakış açısının örgüt genelinde sağlanabilmesi Endüstri 4.0 dönüşümünün gerçekleştirilebilmesine katkı sunacaktır.

3. YÖNTEM

Araştırmada, olgunluk değerlendirmesi bakımından Endüstri 4.0 süreçlerini halihazırda uygulayan büyük ölçekli imalat firmaları baz alınmıştır. Araştırmanın evrenini, Türkiye'nin önde gelen firmalarının bulunduğu 2019 ve 2020 yıllarındaki (güncel) ISO 500 ve 1000 listesinde yer alan işletmeler oluşturmaktadır. Olgunluk düzeyinin belirlenebilmesi için firmaların Endüstri 4.0 sürecinde olmalarının gerekmesi ve kullanılan olgunluk ölçeğinin imalat sektörüne yönelik geliştirilmiş olması gibi faktörler neticesinde, örneklem seçiminde kasıtlı örneklem yöntemi tercih edilmiştir. Bu kapsamda, ilgili yıllarda ISO 500/1000 listelerindeki firmalarla ilgili internette yer alan sektör raporları, haberler, röportajlar taranarak, Endüstri 4.0 projelerini ve yatırımlarını yürüten ve imalat sektöründe faaliyet gösteren 208 adet işletme kasıtlı örneklem yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada cevaplayıcılar açısından sadece üst düzey yöneticiler baz alınmamış, farklı operasyonel noktalarda yer alan çalışanların görüşlerine de yer vermeye önem verilmiş ve bu bağlamda örnekleme erişim için, kartopu örneklem yöntemi kullanılmıştır. Araştırmanın örneklemini, belirlenen 208 işletmede yer alan üst düzey yöneticiler, operasyonel yöneticiler, müdürler (Fabrika/Üretim/Kalite/Bilgi Teknolojileri/İnsan Kaynakları/Ar-Ge), mühendis ve teknik uzmanlar oluşturmaktadır.

Araştırma kapsamında veri toplama aracı olarak anket yöntemi kullanılmıştır. 2021 Haziran ve Ekim ayları arasında gerçekleştirilen veri toplama süreci neticesinde 401 geçerli veriye ulaşılmıştır. Anketlerde işletmelerin özelliklerine ilişkin sorularla birlikte, Endüstri 4.0 olgunluk düzeyine ilişkin sorular yer almaktadır. İşletmelerin Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerini belirlemede, çalışmanın literatür özeti kısmında incelenen modellerden Wagire ve diğerleri (2020) tarafından geliştirilmiş olan olgunluk modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun temel sebebi, öncelikle modelin çoğu modelden farklı olarak gelişmekte olan ülkeler perspektifinde geliştirilmiş olmasıdır ve ülkemizde uygulanacak olan çalışma açısından bu faktör önem arz etmektedir. Modelin, teknolojik süreçlerle ilgili aşırı teknik detaya boğmadan, sadece IT (bilgi teknolojileri) çalışanlarınca değil, tüm departmanlar tarafından anlaşılabilir nitelikte olması da çalışmanın uygulama aşaması için önemlidir ve bu da ilgili olgunluk modelinin seçilmesindeki bir diğer sebeptir. Çalışmada kullanılan Endüstri 4.0 olgunluk modeli ölçeği, "İnsan ve Kültür", "Endüstri 4.0 Farkındalığı", "Organizasyonel Strateji", "Değer Zinciri ve Süreçler", "Akıllı İmalat Sistemleri", "Ürün ve Hizmet Odaklı Teknoloji" ve "Endüstri 4.0 Tabanlı Teknolojiler" olmak üzere 7 boyuttan ve toplamda 38 ifadeden oluşmaktadır. Cevap seçenekleri, 5'li Likert ölçeğine göre tasarlanmıştır. Örneğin, 1 "Kesinlikle Katılıyorum", 5 "Kesinlikle Katılıyorum" anlamlarına gelmektedir.

Çalışma kapsamında farklı analiz teknikleri uygulanmakla birlikte, yapılan analizler için SPSS 22 ve AMOS 22 paket programları kullanılmıştır. Öncelikle normallik testi ve güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Endüstri 4.0 olgunluk modeli ölçeğindeki maddeler için yapılan normallik testi sonucunda, çarpıklık (skewness) değerleri -0,195 ile -1,574 değerleri arasında yer alırken, basıklık (kurtosis) değerleri -1,273 ile 1,980 değerleri arasında bulunmuştur. Söz konusu değerlerin +2 ile -2 değerleri arasında olması, verilerin normal dağılıma uyduğunu göstermektedir (Shao, 2002: 424-426). Yapılan güvenilirlik analizi sonucunda

ise, Endüstri 4.0 olgunluk modeli ölçeğinin Cronbach Alpha (α) değeri 0.945 olarak bulunmuştur. Elde edilen α değerine göre ölçek verilerinin yüksek derecede güvenilir olduğu söylenebilir (Lorcu, 2015: 207-208).

Çalışmada kullanılan Endüstri 4.0 olgunluk modeli ölçeğinin Türkçe'ye uyarlaması alandaki uzmanlara ve akademisyenlere danışılarak gerçekleştirilmiş olup, sonrasında geçerlilik analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçeğin geçerliliğini ölçümlemede doğrulayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Yapılan doğrulayıcı faktör analizi neticesinde, p değerleri 0,05'ten yüksek olan "İnsan ve Kültür" ile "Değer Zinciri ve Süreçler" boyutları ölçekten çıkarılmış ve Endüstri 4.0 olgunluk modeli ölçeği 5 boyutlu ve 29 maddeli model yapısında doğrulanmıştır. Bu durumda, "İnsan ve Kültür" ile "Değer Zinciri ve Süreçler" boyutlarının katılımcılar tarafından yeterince anlaşılmadığı ve/veya firmaların bu konulardaki yaklaşımlarının henüz yeteri bir düzeyde netliğe erişemediği söylenebilir.

Endüstri 4.0'ın ortaya koyduğu değer zinciri yaklaşımında, entegrasyonun yatay düzeyde (tüm değer zincirindeki -müşteri ve tedarikçiler dahil olmak üzere- tüm katılımcılar arasında) ve dikey düzeyde (tüm otomasyon katmanlarında) gerçekleşmesi hedeflenmekte ve bu durumda tamamen entegre ve ağa bağlı fabrika, makine ve ürünler akıllı ve kısmen özerk bir şekilde hareket edebilmektedir (Schumacher ve diğerleri, 2016). Aslında bu yapının sağlanması, Endüstri 4.0 bakımından ulaşılabilecek en üst düzeyi temsil etmektedir. Firmalar bu karmaşık entegrasyon sürecini kavrayıp, işletme bazında hayata geçirseler bile, müşteri ve tedarikçilerinin sisteme entegre edilebilmesi de başlı başına zorluklar ve belli bir süreç gerektirmektedir. Çallı ve Özer Çaylan (2022)'in çalışmasında da tedarikçilerin süreç ve teknolojik düzey farklılıkları nedeniyle yaşanan entegrasyon sorunu, işletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde en çok karşılaştıkları zorluklardan biri olarak ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan literatür incelemesinde, az sayıda olgunluk modelinin (PWC, 2016; Bibby ve Dehe, 2018; Wagire ve diğerleri, 2020) değer zincirleri konusunu değerlendirmeye dahil ettikleri görülmektedir. Bibby ve Dehe (2018)'nin savunma sektöründeki bir firmada yaptığı olgunluk değerlendirmesinde, firmadaki e-değer zinciri uygulamalarının diğer boyutlara göre daha az gelişmiş olduğu sonucuna varılmıştır. Wagire ve diğerleri (2020) tarafından otomotiv sektöründeki bir firmada yapılan olgunluk değerlendirilmesi sonucunda değer zinciri ve süreçler boyutu düşük puanlı boyutlar arasında yer almıştır. Söz konusu çalışmada, firmanın Endüstri 4.0'ın çeşitli yönlerini pilot projeler aracılığıyla benimsediği, fakat ürün özelleştirme/kişiselleştirme açısından müşterilerle yatay entegrasyon oluşturmada ve gerçek zamanlı üretim görünürlüğü sağlama amacıyla iş ortaklarıyla yatay olarak bağlantı kurmada halen atılması gereken çok fazla adım olduğu ifade edilmiştir (Wagire ve diğerleri, 2020). Schumacher ve diğerlerinin (2019) çalışmasında, Endüstri 4.0 süreçlerini uygulamaya çalışan firmaların, kendi iş ortamlarında yatay ve dikey değer zinciri entegrasyonunu uygulamada sorun yaşadıklarını sıklıkla dile getirdikleri belirtilmektedir.

İnsan ve kültür boyutunun anlaşılmasının ise, firmaların Endüstri 4.0 felsefesi ve yapısının henüz işletme kültürü haline getirilememiş olduğunun, çalışanların dijital yetenek ve niteliklerinin şirketin Endüstri 4.0 uygulamaları ve stratejileriyle bağdaştırılmasında eksikler bulunduğunun, bu süreçte çalışanları yönlendirecek liderlik desteğinin ve onları dijitalleşme sürecinde destekleyecek işletme içi özel birimlerin tesis edilmesinin geliştirilmesi gereken alanlar olduğunun bir göstergesidir. Diğer yandan, bir işletmenin Endüstri 4.0'ın tüm yönlerini birden kavraması ve gerçekleştirilmesi sürecin karmaşıklığı bakımından ve finansal açıdan güç olmakla birlikte, bu alandaki güçlü ve zayıf yönler de işletmeden işletmeye değişebilmektedir. Örneğin, Schumacher ve diğerleri (2019) tarafından yapılan çalışmada, Avusturya merkezli imalatçı bir firma, Çin ve Hindistan'daki fabrikaları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Uzun yıllardır faaliyet gösteren Avusturya'daki firma, çalışanlar ve işletme standartları açısından daha iyi bir düzeyde, değer yaratan süreçler bakımından oldukça düşük bir seviyede yer alırken; en son teknolojiyi uygulayan ve yeni kurulan Çin ve Hindistan'daki fabrikalar ise değer yaratan süreçler boyutunda daha yüksek olgunluğa sahipken, çalışanlar ve işletme standartları bakımından oldukça düşük bir olgunluk seviyesinde yer almıştır.

Günümüzde gelişiminin ilk aşamalarında olan Endüstri 4.0'ın boyutları hakkında araştırmacılar/uygulayıcılar arasında genel bir fikir birliği bulunmamakla birlikte (Wagire ve diğerleri, 2020), bu konudaki yayınlanmış akademik ve bilimsel literatür de hala sınırlı bir çerçevededir (Bibby ve Dehe, 2018). Çalışma kapsamında kullanılan ve Wagire ve diğerleri (2020) tarafından geliştirilen model, vaka çalışması kapsamında Hindistan'da otomotiv bileşenleri imalatı yapan tek bir firmada uygulanmış olup, yazarların da çalışmada belirttiği üzere, önerilen modelin diğer sanayi kuruluşlarında ve tekstil, ilaç, çimento sanayi vb. farklı imalat sektörlerinde uygulanabilirliğinin test edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca değerlendirme modelinde yer alan olgunluk öğelerinin daha fazla kullanım senaryosu ile deneysel olarak geliştirilebileceği ve gelecekte farklı imalat sektörlerindeki kuruluşlar için büyük ölçekli bir anket yapılabileceği belirtilmiştir (Wagire ve diğerleri, 2020).

Araştırmada kullanılan olgunluk modeli farklı imalat sektörlerinde ve geniş katılımlı olarak gerçekleştirilmiş olup, literatürde incelenen modeller çoğunlukla bir veya birkaç firmada uygulanmıştır. Ayrıca bölgesel farklılıklar açısından da farklı ülke uygulamaları farklı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu

bakımdan çalışmada doğrulanan modelin Endüstri 4.0 olgunluğu açısından ülkemize özgü bir bakış açısı ortaya koyduğu söylenebilir.

Çalışmada normallik, güvenilirlik ve geçerlilik aşamalarından sonra, işletmelerin demografik özelliklerine ilişkin olarak frekans analizleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak, çalışmadaki Endüstri 4.0 olgunluk değerlendirme analizi için ise, Wagire ve diğerleri (2020)'nin çalışmasında belirtilen madde ağırlıkları (ağırlıkların belirlenmesinde bulanık analitik hiyerarşik proses yönteminin kullanıldığı ifade edilmiştir), olgunluk skoru hesaplama formülleri ve olgunluk değerlendirme seviyeleri kullanılmıştır. Doğrulayıcı faktör analizi neticesinde, orijinal ölçek yapısından 2 boyutun çıkarılması nedeniyle, sadece ilgili çalışmada belirtilen boyut ağırlıkları işleme alınamamıştır. Bu sebeple, değerlendirilen 5 boyuta eşit ağırlık uygulanarak hesaplama yapılmıştır.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında, işletmelerin özelliklerine ilişkin olarak gerçekleştirilen frekans analizleri ve olgunluk değerlendirmesi sonuçlarına aşağıda değinilmektedir.

4.1. Frekans Analizlerine İlişkin Bulgular

Frekans analizleri kapsamında işletmelerin özellikleri ve katılımcıların görev alanları incelenmiştir. Çalışmaya 107 firmadan, 401 kişi katılmıştır. Yapılan frekans analizlerinde, öncelikle sektörel dağılıma bakılmıştır. İşletmelerin sektörel dağılımı Tablo 2'de gösterilmektedir. Buna göre, çalışmaya katılan firmaların ağırlıklı olarak "Motorlu kara taşıtları imalatı" sektöründe (%18,69) faaliyet gösterdiği belirlenmiştir. Bunu sırasıyla, kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı (%14,95), diğer imalat (%13,08) ve metal eşya, ürünleri imalatı (%11,21) takip etmektedir. Diğer imalat bölümünde yer alan işletmelerin, cam sanayi, seramik ürünleri, tütün ürünleri ve kağıt ve kağıt ürünleri (ambalaj, temizlik ürünleri vs.) sektörlerinde yer aldıkları gözlenmiştir. Çalışmada hemen hemen tüm sektörlerden firmaların yer aldığı görülmektedir.

Tablo 3'teki veriler incelendiğinde ise, katılımcı firmaların büyük bir çoğunluğunun stoğa üretim (%97,20) yaptığı ve büyük ölçekli firma olmaları nedeniyle çalışan sayılarının çoğunlukla (%90,65) 250 ve üzeri olduğu görülmektedir. İşletmelerin Ar-Ge potansiyeli incelendiğinde, yıllık net satış gelirlerinden genellikle %5-10 arasındaki bir kısmını (%86,00) Ar-Ge yatırımlarına ayırdıkları ve katılımcıların hepsinin patent sahibi firmalar oldukları belirlenmiştir. İşletmelerin pazar yapısını çoğunlukla (%72,90) ulusal pazar oluşturmakta, bunların haricindeki firmalar da (%27,10) ağırlıklı olarak Avrupa pazarına ürün ihraç etmektedir. Katılımcı firmalar içerisinde yerli ortakların yer aldığı işletmelerin (%74,77) çoğunlukta olduğu ve işletmelerin üretim süreçlerinde genellikle otomatik montaj / üretim hatlarını (%58,88) tercih ettikleri görülmektedir. Ankete katılan kişilerin görev unvan dağılımlarına bakıldığında ise, çoğunlukla operasyonel yöneticilerin (%44,64) yer aldığı gözlenmiştir ve bunu sırasıyla mühendis/teknik uzmanlar (%35,41) ile üst düzey yöneticiler (%19,95) takip etmektedir.

Tablo 2. Katılımcı işletmelerin sektörel dağılımı

Sektör	Frekans	Yüzde	Toplam Yüzde
Ağaç ürünleri imalatı	1	0,93	0,93
Mobilya imalatı	1	0,93	1,86
Yiyecek ve içecek imalatı	9	8,41	10,27
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	9	8,41	18,68
Makine, teçhizat imalatı	4	3,75	22,43
Elektrikli teçhizat imalatı	10	9,35	31,78
Bilgisayar, elektronik ürünlerin imalatı	2	1,88	33,66
Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	16	14,94	48,60
Metal eşya, ürünleri imalatı	12	11,21	59,81
Ana metal sanayii	5	4,68	64,49
Motorlu kara taşıtları imalatı	20	18,69	83,18
Diğer ulaşım araçları imalatı	1	0,93	84,11
İlaç imalatı	1	0,93	85,04
Kauçuk ve plastik malzeme imalatı	2	1,88	86,92
Diğer imalat	14	13,08	100,00
Toplam	107	100,00	100,00

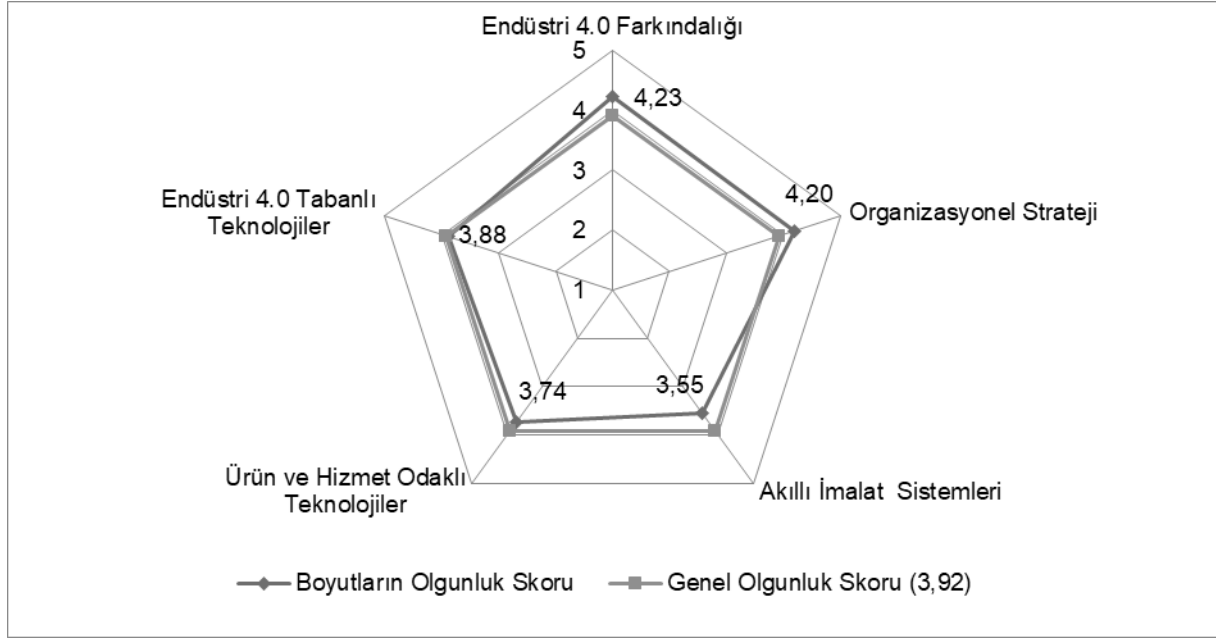
Tablo 3. Katılımcı işletmelerin özelliklerine ve katılımcıların görev düzeyine ilişkin veriler

<i>Değişken</i>	<i>Kategori</i>	<i>Frekans</i>	<i>Yüzde (%)</i>
Müşteri Siparişlerine Göre Firma Yaklaşımı	Siparişe Özel Mühendislik	2	1,87
	Siparişe Göre Üretim	1	0,93
	Stoğa Üretim	104	97,20
Çalışan Sayısı	50-249	10	9,35
	250 ve üzeri	97	90,65
Yıllık Net Satıştan Ar-Ge'ye Ayrılan Pay	%1'den azı	1	0,93
	%1-5	9	8,40
	%5-10	92	86,00
	%10' dan fazlası	5	4,67
Patent Durumu	Var	107	100,00
	Yok	0	0,00
Ağırlıklı Pazar Dağılımı	Ulusal	78	72,90
	Avrupa	29	27,10
	Avrupa harici ülkeler	0	0,00
Ağırlıklı Sermaye Yapısı	Yerli	80	74,77
	Yabancı	27	25,23
Ağırlıklı Üretim (İmalat) Süreci	Esnek imalat sistemleri	23	21,50
	Otomatik montaj / üretim hattı	63	58,88
	Atölye tipi üretim	10	9,34
	Hücreyel imalat	11	10,28
Katılımcının İşletmedeki Görev Unvanı	Üst düzey yönetici	80	19,95
	Operasyonel Yönetici	179	44,64
	Mühendis, teknik uzman	142	35,41

4.2. Endüstri 4.0 Olgunluk Değerlendirmesine İlişkin Bulgular

Araştırma kapsamında, katılımcı firmaların Endüstri 4.0 olgunluk düzeyleri de değerlendirilmiştir. Boyutlar bazındaki analiz sonuçları Şekil 1'deki radar grafiğinde verilmiştir. Buna göre, olgunluk skorunun en düşük olduğu boyut 'Akıllı İmalat Sistemleri' olurken (3,55); en yüksek olduğu boyutlar ise, 'Endüstri 4.0 Farkındalığı' (4,23) ve 'Organizasyonel Strateji' (4,20) olarak sıralanmaktadır. İşletmelerin genel olarak, örgütsel yönlerine ilişkin olgunluk seviyelerinin, teknolojik/operasyonel yönlerine kıyasla daha iyi bir düzeyde olduğu gözlenmiştir. İşletme düzeyinde gerekli örgütsel anlayışın ve düzenin tesis edilmesinin, operasyonel faaliyetlerin ve teknolojik süreçlerin sağlıklı işleyebilmesinin ön koşulu olması bu durumun temel sebeplerinden biri olarak izah edilebilir. Bir diğer faktör ise, teknolojik yapılanmanın getirdiği yüksek maliyetler nedeniyle karar alma, projelendirme ve uygulama süreçlerinin biraz daha zaman almasıdır.

Araştırma sonucunda firmaların genel olgunluk skoru 3,92 olup, bu skor Tablo 4'te yer alan olgunluk seviyeleri değerlendirmesine göre 3. seviye olan "Deneyimli" seviyesine karşılık gelmektedir. Fakat bu değer, bir sonraki seviyenin başlangıç değerine de yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, çalışmaya katılan işletmelerin genel olarak bulunduğu Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi için, "Deneyimli" seviyesini tamamlamak üzere oldukları söylenebilir.



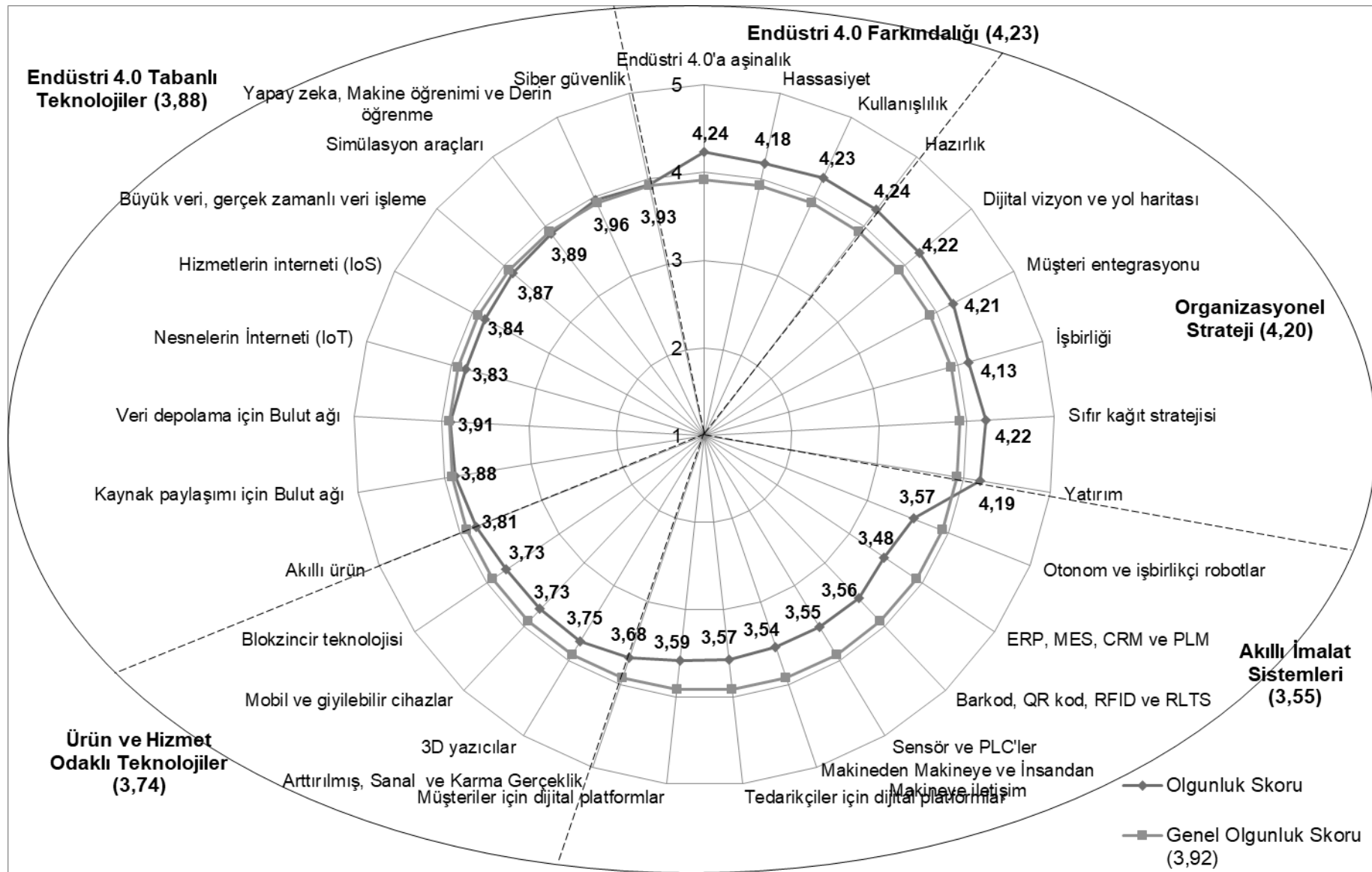
Şekil 1: Endüstri 4.0'ın 5 Boyuttaki Olgunluk Skorları

Tablo 4. Endüstri 4.0 olgunluk seviyeleri

Olgunluk Skoru (M_0) Aralığı	Olgunluk Seviyesi
$1,00 < M_0 < 2,00$	Seviye 1: Dışarıda Kalan
$2,00 < M_0 < 3,00$	Seviye 2: Dijital Acemi
$3,00 < M_0 < 4,00$	Seviye 3: Deneyimli
$4,00 < M_0 < 5,00$	Seviye 4: Uzman

Kaynak: Wagire ve diğerleri, 2020

Boyutlar içerisindeki olgunluk öğeleri için yapılan değerlendirme sonuçları da Şekil 2'de yer almaktadır. İçlerinde en yüksek skora sahip olanlar, 'Endüstri 4.0'a aşinalık' (4,24) ve 'Hazırlık' (4,24) ve 'Kullanışlılık' (4,23)'tir. Bu sonuç, firmaların Endüstri 4.0 farkındalıklarının üst düzeyde olduğunu göstermektedir. Katılımcı firmaların, zaten Endüstri 4.0 süreçlerini uyguluyor olmaları ve genel olgunluk skorlarının da iyi bir düzeyde çıkması neticesinde, firmaların Endüstri 4.0 farkındalığının yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte, firmaların organizasyonel strateji yapılanmasının da iyi bir düzeyde olduğu görülmektedir. Bu durum, Endüstri 4.0'ın benimsenme sürecinde örgütsel stratejik aşamaların doğru kurgulandığının göstergesidir. En düşük skora sahip olgunluk öğesi ise 'ERP, MES, CRM ve PLM' (3,48) olup, bu başlık kapsamında bilgi paylaşımı sağlayan dijital yazılımların, gerçek zamanlı geri bildirim alma noktasında üretim alanının yanı sıra organizasyonun diğer işlevsel alanlarını da içerecek şekilde henüz yeteri kadar yaygınlaştırılmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. Bir diğer düşük skorlu olgunluk öğesi ise, 'Makineden Makineye ve İnsandan Makineye iletişim' (3,54) faktörüdür. Genel olarak, 'Akıllı İmalat Sistemleri' boyutu içerisindeki öğelerin daha düşük skor değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Akıllı imalat sistemi konsepti çerçevesinde Siber-Fiziksel sistem alt yapısını oluşturan teknolojilerin ve cihazların pilot proje düzeyinden yaygınlaştırma aşamasına geçişinin diğer teknolojik boyutlara nispeten daha düşük seviyede olduğu gözlenmektedir.



Şekil 2: Boyutlardaki olgunluk öğeleri için Endüstri 4.0 olgunluk skorları

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, katılımcı işletmelerin Endüstri 4.0 olgunluğu açısından iyi bir düzeyde olduklarını söylemek mümkündür. Bunun temel sebebi, çalışmada hazırlıktan ziyade bir olgunluk değerlendirmesinin yapılması nedeniyle, araştırmaya dahil edilen işletmelerin Endüstri 4.0 süreçlerine hâkim ve halihazırda uygulayan işletmeler olmasıdır. Katılımcı firmaların büyük ölçekli, kurumsal, sektörlerinde öncü olmaları ve belli bir finansal yeterliliğe sahip olmaları da Endüstri 4.0 süreçlerini etkin yürütebilmek için avantaj sağlamaktadır. Katılımcı firmalar arasında ağırlıklı olarak otomotiv sektörü olmak üzere, genellikle otomasyonun yüksek olduğu sektördeki firmaların yer almasının da bu durumda etkili olduğu ifade edilebilir. Özellikle otomotiv sektörü, elektrifikasyon, bağlana bilirlik ve özerklik gibi Endüstri 4.0'a özgü teknolojik yenilikler açısından üst düzeyde bir sektör olarak nitelendirilmektedir (Wagire ve diğerleri, 2020). Accenture (2015: 18-20) şirketinin yapmış olduğu araştırmada da imalat alanındaki en yüksek dijitalleşme endeksi puanını otomotiv sektörü elde etmiştir. Ayrıca, değerlendirme ölçeğinin gelişmekte olan ülkeler perspektifinde geliştirilmiş olmasının da işletmelerin potansiyelinin daha iyi bir şekilde ortaya konulmasına katkıda bulunduğu söylenebilir. Bununla birlikte, işletmelerin kurumsal yapısı ve çoğunun otomasyona bağlı üretim alt yapısı nedeniyle, bu işletmelerde sıfır kâğıt stratejisi, süreçlerin, müşterilerin, tedarikçilerin entegrasyonu, üretkenlik/verimlilik sağlamada verilerin ve işlemlerin sürekli analiz edilmesi gibi yalın üretim anlayışına dönük faaliyetler uzun yıllardır gerçekleştirilmektedir.

Mevcut değerlendirme, çalışma kapsamındaki firmaların "Deneyimli" olgunluk seviyesini tamamlamak üzere olduklarını göstermektedir. İşletmelerin genellikle örgütsel yönlerden daha iyi bir düzeyde olgunluk seviyesine sahip olduğu gözlenirken, teknolojik yönler geliştirilmesi ve örgüt genelinde yaygınlaştırılması gereken alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Schumacher ve diğerleri (2019) tarafından yapılan ve Avusturya'daki imalatçı bir firmanın olgunluk düzeyinin değerlendirildiği çalışmada da benzer şekilde, 'strateji ve liderlik', 'işletme standartları' vs. örgütsel boyutların olgunluk skorları; 'teknoloji', 'bilgi ve veri' vs. teknolojik boyutların olgunluk skorlarına kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Akdil ve diğerleri (2018: 76) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'de perakende sektöründe yer alan bir firmanın olgunluk değerlendirmesi yapılmış ve 'strateji ve organizasyon' boyutu en düşük boyut olarak çıkarken, teknolojik/operasyonel boyutlara ilişkin skorlar da genel olarak düşük düzeyde çıkmıştır. Schumacher ve diğerlerinin (2016) Avusturya'da uzay ve havacılık bileşenleri ve test ekipmanları üreten bir firmada olgunluk değerlendirmesi yaptığı çalışmasında ise, 'strateji' ve 'liderlik' vb. örgütsel boyutlar düşük düzeyde çıkarken, 'teknoloji' boyutu da bunlara paralel olarak düşük bir seviyede çıkmıştır. Bibby ve Dehe (2018)'nin savunma sektöründeki bir firmada yaptığı olgunluk değerlendirmesi çalışması ile Wagire ve diğerlerinin (2020) otomotiv bileşenleri üreticisi bir firmada yaptığı olgunluk değerlendirmesi çalışmasında da benzer şekilde örgütsel boyutlara paralel olarak teknolojik boyutlar da düşük düzeyde çıkmıştır. Bu bulgulardan yola çıkarak, işletme genelinde öncelikle örgütsel alt yapının sağlanmış olması ve Endüstri 4.0'ın teknik adaptasyon süreçlerinin bunlarla birlikte koordineli yürütülmesi gerekliliği sonucuna ulaşılabilmektedir. Bu bakış açısına göre, Endüstri 4.0 süreçlerini uygulamada teknolojik unsurların belli bir olgunluk düzeyini yakalayabilmesi için, örgütsel yapılanmanın ve hazırlığın yüksek bir düzeye ulaşması gerekmektedir.

TÜBİTAK (2016: 4)'ın yayınladığı bir çalışmada, TÜBİTAK'tan Ar-Ge desteği alan 1000 civarında firmaya anket uygulanarak, Ar-Ge ve akıllı üretimle ilgili entegrasyon düzeyleri, ilgili teknolojiler bazında ulusal yetkinlikleri gibi konular değerlendirilmiş ve ülkemizdeki sanayi firmalarının dijital olgunluk seviyesinin 2. Sanayi Devrimi ile 3. Sanayi Devrimi arasında olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, değerlendirmeye alınan firmaların sektörleri ve büyüklükleri, değerlendirme kriterleri, bu sonuca ne şekilde ve hangi analiz yöntemleriyle ulaşıldığına ilişkin detaylar paylaşılmamıştır. TÜSİAD (2017: 45-48)'in araştırmasında ise, büyük ölçekli firmaların dijital dönüşüm yetkinlik düzeylerinin ortalama olarak pilot proje uygulaması düzeyinde olduğu belirtilmiştir. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2018: 105-106) tarafından yapılan ve Ar-Ge merkezi olan büyük işletmelerin çoğunlukta olduğu araştırmada da plana bağlanmış dijitalleşme stratejisi olan işletmelerin oranı %37'dir ve dijital dönüşüm açısından gerekli olan yönetim, strateji ve örgütsel açılarından firmaların henüz hazır olmadığı sonucuna varılmıştır. Geçmişteki çalışmaların Endüstri 4.0 olgunluk değerlendirmesinde farklı dinamikleri ve kriterleri olması nedeniyle birbirini kıyaslamak mümkün olmasa da yapılan çalışmanın sonuçları kapsamında günümüzde büyük ölçekli imalat şirketleri için Endüstri 4.0 olgunluğu açısından önemli bir aşamanın kaydedildiğini söylemek mümkündür.

Araştırmanın sonuçları, araştırmanın uygulanmış olduğu örneklem grubu ile sınırlı olmakla birlikte, farklı örneklem gruplarında farklı sonuçların elde edilmesi mümkündür. Yapılan araştırma, ülkemizde Endüstri 4.0 süreçlerini ve teknolojilerini uygulayan işletmelerin olgunluk düzeylerini organizasyonel, kültürel, operasyonel (teknolojik) olarak tüm açılardan değerlendirerek güncel sonuçlarını kapsamlı bir

şekilde ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın bulgularının, işletmelerin teknoloji alanındaki eksikliklerinin giderilmesi ve bir sonraki olgunluk düzeyine geçişi hızlandıracak yöntemlerin geliştirilmesi konusundaki gelecek çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca çalışma, KOBİ'lerin Endüstri 4.0 sürecinde odaklanması gereken alanları işaret ederek, yol gösterici olacaktır. İleride çalışmanın imalat sektörü harici farklı sektörlerle de uygulanması veya boyut/madde ağırlıklarının farklı yöntemlerle belirlenerek yeniden analiz edilmesi söz konusu olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Accenture (2015). "Accenture Dijitalleşme Endeksi Türkiye Sonuçları", www.accenture.com, (Erişim Tarihi: 06.02.2022).
- Akdil, K.Y., Üstündağ, A. ve Çevikcan, E. (2018). "Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy", *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Editor: Üstündağ, A. ve Çevikcan, E., Springer International Publishing, 61-94.
- Alcácer, V., Rodrigues, C., Carvalho, H. ve Cruz-Machado, V. (2021). "Tracking The Maturity of Industry 4.0: The Perspective of A Real Scenario", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(7-8), 2161-2181.
- Bibby, L. ve Dehe, B. (2018). "Defining and Assessing Industry 4.0 Maturity Levels - Case of The Defence Sector", *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043.
- Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2018). "Türkiye'nin Sanayi Devrimi "Dijital Türkiye" Yol Haritası", https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2023_Dijital-Turkiye-Yol-Haritasi.pdf, (Erişim Tarihi: 06.02.2022).
- Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 Platformu (2020). "Türkiye'de Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A) 2019 - 2020 Sonuç Raporu", <http://industry4zero.boun.edu.tr/wp-content/uploads/2020/07/Sonuc-Raporu-v2.pdf>, (Erişim Tarihi: 06.02.2022).
- Çallı, Ç. ve Özer Çaylan, D. (2022). "Sanayi İşletmelerinin Tedarik Zinciri Fonksiyonlarının Dijital Dönüşümü", *Verimlilik Dergisi*, Dijital Dönüşüm ve Verimlilik Özel Sayısı, 172-188.
- Devezas, T., Leitão, J. ve Sarygulov, A. (2017). "Introduction", *Industry 4.0: Entrepreneurship and Structural Change In The New Digital Landscape*, Editor: Devezas, T., Leitão, J. ve Sarygulov, A., Springer International Publishing, 1-11.
- Elitok, E. (2019). "Digital Transformation Toward Industry 4.0: A Case Study In Turkey", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Atılım University, Ankara.
- Frank, G.A., Dalenogare Santos, L. ve Ayala Fabián, N. (2019). "Industry 4.0 Technologies: Implementation Patterns In Manufacturing Companies", *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
- Ganzarain, J. ve Errasti, N. (2016). "Three Stage Maturity Model in SME's Towards Industry 4. 0", *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119-1128.
- Ghobakhloo, M. (2018). "The Future of Manufacturing Industry: A Strategic Roadmap Toward Industry 4.0", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936.
- Gökalp, E., Şener, U. ve Eren, P.E. (2017). "Development of An Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM", *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE 2017)*, Editor: Mas, A., Mesquida, A., O'Connor, R. V., Rout, T. ve Dorling, A., Springer International Publishing, 128-142.
- Hatipoğlu, C. ve Tunacan, T. (2020). "Bilecik Organize Sanayi Bölgesinde Bulunan İşletmelerin Endüstri 4.0 Açısından Durum Değerlendirmesi", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(4), 3689-3701.
- Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M.A. ve Abdullah, N.L. (2020). "Industry 4.0 Readiness Models : A Systematic Literature Review of Model Dimensions", *Information*, 11(364), 1-13.
- Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). "Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry", <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>, (Erişim Tarihi: 06.02.2022).
- Lee, J., Bagheri, B. ve Kao, H. (2015). "A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems", *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, H. ve Schröter, M. (2015). *IMPULS-Industrie 4.0-Readiness*, Aachen, Köln.
- Lorcu, F. (2015). "Örneklerle Veri Analizi SPSS Uygulamalı", Detay Yayıncılık, Ankara.
- Mittal, S., Romero, D. ve Wuest, T. (2018). "Towards A Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM3E)", *Advances in Production Management Systems-Smart Manufacturing for Industry 4.0.*, Editor: Moon, I., Lee, G. M., Park, J., Kiritsis, D., ve von Cieminski, G., Springer International Publishing, 155-163.
- Özçelik, T.Ö., Erkollar, A. ve Cebeci, H.İ. (2018). "Bir İmalat İşletmesi için Endüstri 4.0 (Dijital) Olgunluk Seviyesi Belirleme Uygulaması", 5th International Management Information Systems Conference, October 24-26 2018, Ankara.
- Pacchini, A.P.T., Lucato, W.C., Facchini, F. ve Mummolo, G. (2019). "The Degree of Readiness for the Implementation of Industry 4.0", *Computers in Industry*, 113, 1-8.

- Pirola, F., Cimini, C. ve Pinto, R. (2019). "Digital Readiness Assessment of Italian SMEs: A Case-Study Research", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 1045-1083.
- Plessis, C. J. du. (2017). "A Framework for Implementing Industrie 4.0 in Learning Factories", Master Thesis, Stellenbosch University, Stellenbosch.
- PWC (2016). "Industry 4.0 – Enabling Digital Operations: Self Assessment.", <https://i40-self-assessment.pwc.de/i40/landing/>, (Erişim Tarihi: 06.02.2022).
- Rockwell Automation (2014). "The Connected Enterprise Maturity Model", https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/cie-wp002_-en-p.pdf, (Erişim Tarihi: 20.03.2022).
- Salkin, C., Öner, M., Üstündağ, A. ve Çevikcan, E. (2018). "A Conceptual Framework for Industry 4.0", *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Editor: Üstündağ, A. ve Çevikcan, E., Springer International Publishing, 3-23.
- Samaranayake, P., Ramanathan, K. ve Laosirihongthong, T. (2017). "Implementing Industry 4.0 - A Technological Readiness Perspective", 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), December 2017, Singapore, 529-533.
- Schumacher, A., Erol, S. ve Sihn, W. (2016). "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises", *Procedia CIRP*, 52, 161-166.
- Schumacher, A., Nemeth, T. ve Sihn, W. (2019). "Roadmapping Towards Industrial Digitalization Based on An Industry 4.0 Maturity Model for Manufacturing Enterprises", *Procedia CIRP*, 79, 409-414.
- Shao, T.A. (2002). "Marketing research: An Aid to Decision Making", College Publishing, US: South-Western.
- Stock, T. ve Seliger, G. (2016). "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0", *Procedia CIRP*, 40, 536-541.
- Şener, U., Gökalp, E. ve Eren, E. (2022). "Dijital Olgunluk İndeksi: Organizasyonların Dijital Dönüşüm Yolculuğunda Verimliliği Artırmak İçin Bir Kantitatif Yöntem", *Verimlilik Dergisi*, Dijital Dönüşüm ve Verimlilik Özel Sayısı, 17-29.
- Şimşek, M.Z. (2020). "Endüstri 4.0 Olgunluk Düzeylerinin Tespitine Yönelik Bir Araştırma: Sivas İli Örneği", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- TÜBİTAK (2016). "Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası", https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/akilli_uretim_sistemleri_tyh_v27aralik2016.pdf, (Erişim Tarihi: 06.02.2022).
- TÜSİAD (2016). "Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olan Sanayi 4.0 Gelişmekte olan Ekonomi Perspektifi", Yayın No: TÜSİAD-T/2016-03/576.
- TÜSİAD (2017). "Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği", Yayın No: TÜSİAD-T/2017,12 - 589.
- University of Warwick (2017). "An Industry 4 Readiness Assessment Tool", https://warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/scip/reports/final_version_of_i4_report_for_use_on_websites.pdf, (Erişim Tarihi: 06.02.2022).
- Wagire, A.A., Joshi, R., Rathore, A.P.S. ve Jain, R. (2020). "Development of Maturity Model for Assessing the Implementation of Industry 4.0: Learning from Theory and Practice", *Production Planning & Control*, 32(8), 603-622.