

SANAYİ 4.0 OLGUNLUK MODELİ UYGULAMALARI ÜZERİNE LİTERATÜR İNCELEMESİ¹²



Kafkas Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi
KAÜİBFD
Cilt, 11, Sayı 22, 2020
ISSN: 1309 – 4289
E – ISSN: 2149-9136

Makale Gönderim Tarihi: 16.07.2020 Yayına Kabul Tarihi: 03.11.2020

Birdoğan BAKİ

Prof. Dr.

Karadeniz Teknik Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
Trabzon, Türkiye
bbaki@ktu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-6401-0449

Duygu SERDAR

Yüksek Lisans Mezunu

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Trabzon, Türkiye

duygu-srdr2561@hotmail.com

ORCID ID: 0000-0002-4746-2072

ÖZ | Günümüzde yeni teknolojilerin birçok alanda kullanılmaya başlanmasıyla bir dönüşüm süreci ortaya çıkmış ve bu süreç yaygın kullanımıyla Sanayi 4.0 adını almıştır. Sanayi 4.0 teknolojilerine geçme sürecinde firmalara yardımcı olmak ve firmaları standart yapısından kurtarmak amacıyla olgunluk modelleri gibi birtakım yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Olgunluk modelleri firmaların kusursuzluk seviyesini tanımlarken, daha iyi konumlandırılmasına yardımcı olurlar. Bu çalışmanın amacı, Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili uygulamalı çalışmaları literatür araştırması yoluyla ele almaktır. Sonuç olarak, son yıllarda çalışmaların artış gösterdiği, literatürdeki modellerin değerlendirme metotları ve olgunluk ölçme özellikleri yönünden eksikliklerinin olması sebebiyle araştırmacılar tarafından yeni modeller önerildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sanayi 4.0, olgunluk modeli, literatür araştırması

JEL Kodu: D20, O32, Q55

Alanı: İşletme

Türü: Araştırma

DOI: 10.36543/kauibfd.2020.033

Atıfta bulunmak için: Baki, B., Serdar, D. (2020). Sanayi 4.0 olgunluk modeli uygulamaları üzerine literatür incelemesi. *KAÜİBFD*, 11(22), 766-787.

¹ Bu çalışma, Prof. Dr. Birdoğan BAKİ danışmanlığında yürütülen Duygu SERDAR tarafından hazırlanan Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde kabul edilen "İşletmelerin Sanayi 4.0 Olgunluk Düzeylerinin Belirlenmesine Yönelik Çok Kriterli Bir Yaklaşım: Lojistik Sektörü Uygulaması" başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

² İlgili çalışmanın etik kurallara uygunluğu beyan edilmiştir.

A LITERATURE REVIEW ON INDUSTRY 4.0 MATURITY MODEL APPLICATIONS



Kafkas University
Economics and Administrative
Sciences Faculty
KAUJEASF

Vol. 11, Issue 22, 2020
ISSN: 1309 – 4289
E – ISSN: 2149-9136

Article Submission Date: 16.07.2020 Accepted Date: 03.11.2020

Birdoğan BAKİ
Prof. Dr.
Karadeniz Technical University
Faculty of Economics and
Administrative Sciences
Trabzon, Turkey
bbaki@ktu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-6401-0449

Duygu SERDAR
Master's Degree
Karadeniz Technical University
Social Sciences Institute
Trabzon, Turkey
duygu-srdr2561@hotmail.com
ORCID ID: 0000-0002-4746-2072

ABSTRACT Today, a transformation process has emerged with the introduction of new technologies in many areas and this process has become Industry 4.0 with its widespread use. A number of approaches, such as maturity models, are needed to assist firms in the transition to Industry 4.0 technologies and to save firms from their standard structure. Maturity models help firms be position better while defining the level of perfection of firms. The aim of this study is to go around the applied studies on Industry 4.0 maturity models through literature research. Consequently, it is determined that the studies have increased in recent years and due to the fact that the the models in the literature have some deficiencies in terms of evaluation methods and maturity measurement features, new models are proposed by the researchers.

Keywords: Industry 4.0, maturity model, literature review

Jel codes: D20, O32, Q55

Scope: Business Administration

Type: Research

Cite this Paper: Baki, B., Serdar, D. (2020). A literature review on industry 4.0 maturity model applications. *KAUJEASF*, 11(22), 766-787.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik gelişmelerin hızla artması, beraberinde devrim niteliğinde yeni gelişmeler meydana getirmekte ve gelinen bu son aşamaya dördüncü sanayi devrimi adı verilmektedir. Genel anlamıyla sanayi devrimlerinin tarihsel gelişimine bakıldığında; birinci sanayi devriminde; buhar gücü, su gücü ve mekanizasyon tekniklerinin uygulandığı; ikinci sanayi devriminde; seri üretim, montaj hattı ve elektriğin kullanılmaya başlanması, üçüncü sanayi devriminde ise; bilgisayarlaşma ve otomasyonun devreye girmesiyle dijital teknolojiler ile birçok yenilik meydana gelmiştir (Ghobakhloo, 2018, s. 911; Bandara, Tharaka & Wickramarachchi, 2019, s. 190). Dördüncü sanayi devrimi veya bir başka deyişle Sanayi 4.0 terimi ise, ilk kez 2011 yılında, yüksek teknoloji üretim firmalarının gelişimini desteklemek amacıyla Almanya'daki Hannover fuarında ortaya çıkmıştır (Trotta & Garengo, 2019, s. 69). Sanayi 4.0, üretim teknolojilerinde otomasyon ve veri alışverişini sağlayarak akıllı dünyanın Nesnelerin İnterneti, Siber-Fiziksel Sistemler, büyük veri analizi ve bulut bilişim gibi birçok teknoloji ile birlikte kullanımını gerektiren bir kavramdır (Bandara vd., 2019, s. 190; Trotta & Garengo, 2019, s. 70). Buradan hareketle dördüncü sanayi devrimi; doğrudan ya da dolaylı olarak bütün birimlerin birbiriyle ortak çalışmasını planlamakta; dijital veri yazılımını ve bilişim teknolojilerinin birbiriyle entegre olmasını öngörmektedir (Schuh, Potente, Wesch-Potente, Weber & Prote, 2014, s. 52; Lin, Wang & Sheng, 2019, s. 1).

Sanayi 4.0 kapsamındaki dönüşüm, bir firmanın stratejilerini, organizasyon yapısını, operasyonel süreçlerini ve teknolojik gelişimini etkiler (Lin vd., 2019, s. 4). Bu sebeple, Sanayi 4.0'ı uygulama kararı almadan önce firmaların gereken iç ve dış kaynakları hakkında değerlendirmeler yapmaları, iş süreçlerini ve iş kapsamalarını değerlendirmeleri ve dönüştürmeleri gerekmektedir (Lin vd., 2019, s. 4). Olgunluk modelleri, firmaların hazırlığını/olgunluğunu değerlendirmek amacıyla çeşitli kriterlerden oluşan, firmaların değişimini nasıl gerçekleştirmesi gerektiğini kontrol etmeyi sağlayan ve yaygın kullanılan araçlardan biridir (Becker & Knackstedt, 2009, s. 213; Tadeu, Duarte, Taurion & Jamil, 2018, s. 11). Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ise, firmaların Sanayi 4.0 farkındalığı kazanması açısından yol gösterici bir nitelik taşımakla birlikte, firmalarda köklü bir değişim süreci başlatarak güçlü ve zayıf yönlerinin tespit edilmesini sağlamaktadır (Gökalp & Sener, 2017, s. 128).

Sanayi 4.0 ile ilgili farklı alanlarda yapılmış literatür araştırmaları mevcuttur. Liao, Deschamps, Loures ve Ramos (2017), dördüncü sanayi devriminin mevcut durumunu belirlemek amacıyla 224 çalışmayı ele almıştır.

Oztemel ve Gursev (2018) Sanayi 4.0 ve ilgili teknolojilere ilişkin kapsamlı literatür araştırması gerçekleştirmiştir. Piccarozzi, Aquilani ve Gatti (2018) sistematik bir literatür çalışması yaparak, Sanayi 4.0'ı yönetsel açıdan ele alan ilk literatür araştırmasını yapmışlardır. Öte yandan, Sanayi 4.0 olgunluk modellerini literatür araştırması şeklinde inceleyen iki çalışmanın olduğu tespit edilmiştir. Bunlardan ilki, Mittal, Khan, Romero ve Wuest (2018)'nin çalışmasıdır. Bu çalışmada, Sanayi 4.0 olgunluk modellerinin KOBİ'ler açısından uygunlukları incelenmiştir. İkincisi ise, Sony ve Naik (2019) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ise firmaların Sanayi 4.0 için hazırlıklarını değerlendirerek, Sanayi 4.0'ı uygulamadan önce gerekli faktörleri belirleme konusuna odaklanmıştır.

Yukarıdaki çalışmalar değerlendirildiğinde; Sanayi 4.0 ile ilgili literatür araştırmalarının olduğu, ancak Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili literatür araştırmalarının ise sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Bunun yanında, son yıllarda Sanayi 4.0 olgunluk modellerinin analizi ile ilgili araştırma eğiliminde bir artış olmasına rağmen Sanayi 4.0 olgunluk modellerinin uygulamada kullanımı konusunda bir araştırma boşluğu olduğu görülmektedir (Gökalp & Sener, 2017, s. 7). Bu sebeple bu çalışmanın temel amacı, Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili uygulamalı çalışmaları literatür araştırması yoluyla incelemek olarak belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmanın diğer bir amacı Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır. Bu çalışmanın literatüre katkısı ise, uygulamalı çalışmaların ele alındığı ilk literatür araştırması olmasıdır.

Bu kapsamda çalışmanın takip eden bölümlerinde ilk olarak uygulama çalışmalarında kullanılan Sanayi 4.0 olgunluk modelleri kısaca açıklanmıştır. Daha sonra, çalışmanın yöntemi ve incelenen çalışmalar sonucunda elde edilen bulgulara değinilmiş, son olarak da sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. SANAYİ 4.0 OLGUNLUK MODELLERİ

Son on yılda, bilim insanları, kurumlar ve danışmanlık firmaları tarafından ondan fazla Sanayi 4.0 olgunluk modeli geliştirilmiştir (Mittal, Khan, Romero & Wuest, 2018, s. 198; Pacchini, Lucato, Facchini & Mummolo, 2019, s. 2). Burada ise sadece uygulamalı çalışmalarda en çok kullanıldığı tespit edilen Sanayi 4.0 olgunluk modelleri kısaca özetlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1: Sanayi 4.0 Olgunluk Modellerine İlişkin Açıklamalar

Model	Yazar-Yıl	Kriterler	Olgunluk Seviyeleri
Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli	Rockwell Automation (2014)	Bilgi altyapısı, kontroller ve sensörler, veriyi besleyen alanlar, ağlar ve güvenlik kontrolleri	Seviye 1: Değerlendirme Seviye 2: Ağ kontrollerinin güvenliğinin sağlanması Seviye 3: Tanımlanmış ve düzenlenmiş veri sermayesi Seviye 4: Analitik Seviye 5: İşbirliği.
IMPULS Sanayi 4.0 Hazırlık Modeli	Lichtblau vd. (2015)	Strateji ve organizasyon, akıllı fabrika, akıllı işlemler, akıllı ürünler, veri odaklı hizmetler, çalışanlar	Seviye 0: Yabancı Seviye 1: Yeni başlayan Seviye 2: Orta seviye Seviye 3: Deneyimli Seviye 4: Uzman Seviye 5: En iyi performans
Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli	Geissbauer, Vedso ve Schrauf (2016)	Dijital iş modelleri ve müşteri erişimi, ürün ve hizmet sunumlarının dijitalleştirilmesi, dijitalleşme, değer zinciri ve süreçler, temel veri analizi yeteneği, çevik BT mimarisi, uyumluluk, güvenlik yasallık ve vergi, işletme, çalışanlar ve dijital kültür	Dijital acemi Dikey entegrasyon Yatay entegrasyon Dijital şampiyon
İmalat Firmaları İçin Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli	Schumacher, Erol ve Sihni (2016)	Strateji, müşteri, operasyonlar, çalışanlar, teknoloji, liderlik, ürünler, kültür, yönetim,	Olgunluk Belirtilmemiş Seviyesi
ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi Modeli	Schuh, Anderl, Gausemeier, Hompel ve Wahlster (2017)	Kaynaklar, Bilgi Sistemleri, Organizasyon yapısı, Örgüt Kültürü	Bilgisayarlaştırma, Bağlanabilirlik, Görülebilirlik, Şeffaflık, Tahmini Kapasite, Uyum Yeteneği
Dijital Hazırlık Değerlendirme Olgunluk Modeli	De Carolis, Macchi ve Terzi (2017)	Süreç, İzleme ve kontrol, Teknoloji, Organizasyon	Seviye 1: Başlangıç Seviye 2: Yönetilen Seviye 3: Tanımlı Seviye 4: Entegre ve birlikte çalışabilirlik Seviye 5: Dijital Oryantasyon

Tablo 1’de yer alan modellerin her biri belirli bir sektör veya firma türü

için önerilmiş ve uyarlanmıştır (Tadeu vd., 2018, s. 11). Buna göre; Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli (The Connected Enterprise Maturity Model), Rockwell Automation firması tarafından 2014 yılında geliştirilmiş ve genel anlamıyla firmaların Sanayi 4.0 için teknolojik hazır olma yönünü inceleyen bir olgunluk modelidir. Bu model, hem teknolojilerde hem de organizasyon kültürlerinde etkili bir değişim sağlamak için gerekli önlemleri ve uygulamaları kapsayan dört teknoloji odaklı kriterden ve beş seviyeden oluşmaktadır (Akdil, Ustundag & Cevikcan, 2018, s. 66). 2015 yılında geliştirilen IMPULS Sanayi 4.0 olgunluk modeli, IMPULS Vakfı tarafından Alman Makine Mühendisleri Endüstri Birliği uzmanları ve çeşitli sektör temsilcileri tarafından oluşturulmuştur. Model, genellikle imalat firmalarının Sanayi 4.0'a ne ölçüde hazır olduğunu ve hangi düzeyde olduklarını görmeleri amacıyla geliştirilmiştir (Lichtblau vd., 2015, s. 10). Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli, Price Waterhouse Coopers isimli danışmanlık firması tarafından 2016 yılında geliştirilmiş olup firmaların Sanayi 4.0 dijital hazırlığına odaklanmıştır (Geissbauer vd., 2016, s. 28). Söz konusu çalışma 2.000'den fazla katılımcıyla gerçekleştirilerek, 26 farklı ülkeden toplamda dokuz büyük sanayi sektörüne uygulanmıştır (Geissbauer vd., 2016, s. 3). Schumacher vd. (2016) tarafından İmalat Firmaları için Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli, firmaların Sanayi 4.0 teknolojilerini benimsemeye hazır olma düzeyini hesaplamak için 9 kriter ve 62 alt kriterden oluşan bir olgunluk endeksi önermektedir. ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi, Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi tarafından geliştirilmiştir. Genel amacı, firmaların mevcut süreçlerinin değerlendirilmesi ve eksik alanlarının belirlenmesiyle, dijital dönüşümlerini şekillendirmeleri konusunda firmalara rehberlik sağlamaktır (Schuh vd., 2017, s. 14). Firmanın dijital dönüşümünün dört yapısal alan ile altı geliştirme stratejisine bağlı olduğu belirtilmiştir (Schuh vd., 2017, s. 15). De Carolis vd. (2017) tarafından geliştirilen Dijital Hazırlık Değerlendirme Olgunluk Modeli (Digital REadiness Assessment MaturitY model: DREAMY)'nin ise iki amacı vardır. Birincisi; imalat firmalarının Sanayi 4.0 için hazır olma seviyesini değerlendirmek iken, ikincisi; bu firmaların Sanayi 4.0 açısından güçlü ve zayıf yönlerini, fırsatlarını, dijitalleşme yatırımlarını belirlemek ve akıllı üretime geçişlerine yardımcı olabilecek bir yol haritası oluşturmaktır (De Carolis vd., 2017, s. 487).

Söz konusu modeller karşılaştırıldığında; Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli; firmaların bilgi teknolojileri yönünden olgunluğunu ölçerken, Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli ve Dijital Hazırlık Değerlendirme Olgunluk Modelleri firmaların dijital alandaki yetkinliklerine bağlı olarak olgunluk düzeylerini ölçmektedir. Bunun yanında IMPULS Sanayi

4.0 Hazırlık modeli, imalat ve hizmet sektörlerinde yer alan firmaların teknolojik yönlerine odaklanarak kendini değerlendirme imkanı sunarken; İmalat Firmaları İçin Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli, firmaların Sanayi 4.0 teknolojilerini benimsemeye hazır olma düzeyini ölçmeyi hedeflemiştir. Son olarak ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi Modeli, firmaların mevcut süreçlerinin değerlendirilmesi ve eksik alanlarının belirlenmesiyle, dijital dönüşümlerini şekillendirmeleri yönünden firmalara rehberlik sağlamaktadır.

Bunun yanında, incelenen Sanayi 4.0 olgunluk modelleri genel anlamıyla çok uluslu firmaların ihtiyaçlarını dikkate alarak, bu firmaların gelişmiş Bilgi Teknoloji sistemleri ve bağlantılı makineler gibi gerekli tüm kaynaklara zaten erişilebildiği varsayılarak oluşturulmuştur (Mittal vd. 2018, s. 209; Tadeu vd., 2018, s. 11). Bu nedenle çok uluslu firmaların Sanayi 4.0 yolculuğuna çoktan başladığı söylenebilirken; KOBİ'lerin Bilgi Teknolojileri departmanı, birbiriyle ilişki halinde olan ekipmanlar gibi kaynaklarının olmaması sebebiyle Sanayi 4.0'a geçişte bazı zorluklar yaşayabilirler (Mittal vd. 2018, s. 209). Çalışmada yer verilen modellere bu açıdan bakıldığında; Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli, Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli, ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi Modeli ve Dijital Hazırlık Değerlendirme Olgunluk Modellerinde; çeşitli finansal kısıtlamalar nedeniyle KOBİ perspektifinin dikkate alınmadığı görülmüştür (Schuh vd., 2017, s. 10; Mittal vd, 2018, s. 202). Ayrıca bu modellerde değerlendirme metotları ve olgunluk ölçme özelliklerinin de açıklanmadığı dikkat çekmektedir. Öte yandan, IMPULS Sanayi 4.0 Hazırlık Modeli ve İmalat Firmaları İçin Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modellerinde ise, KOBİ'lerin Sanayi 4.0'a hazırlık ve olgunluk seviyelerini belirleyebilecekleri bir değerlendirme perspektifi söz konusudur (Mittal vd, 2018, s. 201). Son olarak bu iki modelde, değerlendirme metotları ve olgunluk ölçme özellikleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

3.1. Araştırmanın Etik İzinleri

Yapılan araştırma için ve etik kurul kararı gerektiren insan katılımcılardan veri elde etmeyi gerektiren araştırmalar (anket çalışmaları, laboratuvar deneyleri, alan deneyleri, mülakat, inceleme vb) olmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

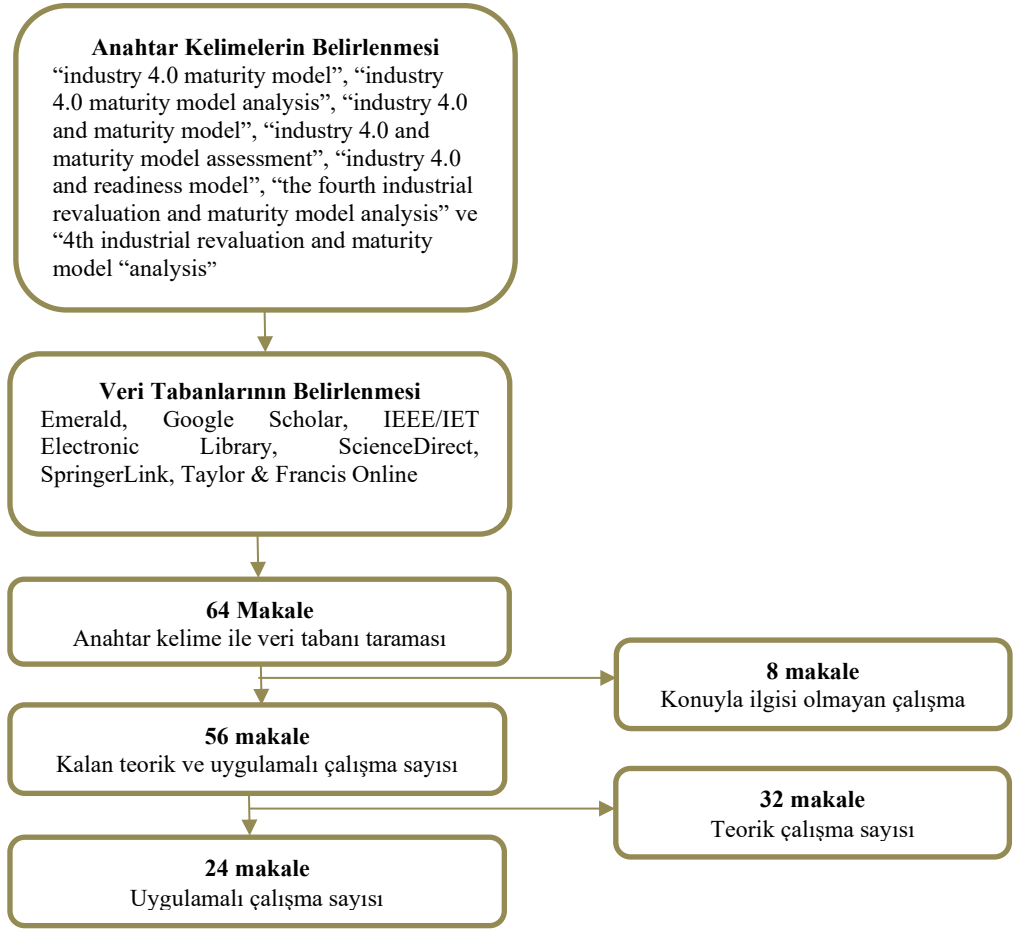
Öte yandan, bu çalışmada literatür araştırmasının aşamaları Şekil 1'de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiş olup, iki ana başlıkta incelenmiştir.

3.2. Veri Toplama

Bu aşamada ilk olarak anahtar kelimeler belirlenmiştir. Belirlenen anahtar kelimeler “industry 4.0 maturity model”, “industry 4.0 maturity model analysis”, “industry 4.0 and maturity model”, “industry 4.0 and maturity model assessment”, “industry 4.0 and readiness model”, “the fourth industrial revaluation and maturity model analysis” ve “4th industrial revaluation and maturity model analysis” şeklindedir. Oluşturulan bu anahtar kelimelerle Emerald, Google Scholar, IEEE/IET Electronic Library, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis Online veri tabanları kullanılarak, hakemli dergiler, konferans/sempozyum basılı bildiri metni ve kitap bölümleri incelenerek aramalar yapılmıştır. Tezler ise, çalışmaya dahil edilmemiştir. Tarama yapılırken, 2020 yılına kadar yapılan ve yayın dili İngilizce olan çalışmalar dikkate alınmıştır.

3.3. Veri Analizi

Yapılan aramalar sırasında toplamda 64 çalışma elde edilmiş ve bu çalışmalardan 8 tanesi konuyla ilgisiz bulunmuştur. Ardından kalan 56 çalışmanın 32 tanesinin de teorik çalışma olduğu tespit edilmiştir. Sonuçta değerlendirmeye alınacak 24 adet uygulama çalışması belirlenmiştir. İlk olarak, bu çalışmaların yıllara, veri tabanlarına, çalışmaların yapıldıkları ülkelere ve hangi sektörlere yönelik olarak yapıldığının belirlenmesine odaklanılmıştır. Daha sonra, uygulamada hangi Sanayi 4.0 olgunluk modellerinin kullanıldığını belirlemek amacıyla kullanılan olgunluk modellerinin dağılımının belirlenmesi ve yapılan çalışmaların türüne odaklanılmıştır. Son olarak ise, Sanayi 4.0 olgunluk modellerinde hangi kriterlerin daha önemli olduğunu belirlemek amacıyla ana kriterler tespit edilmiştir.



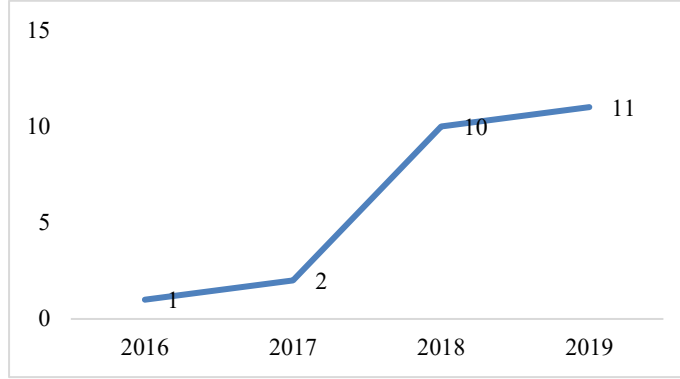
Şekil 1: Araştırma Metodolojisi

4. BULGULAR

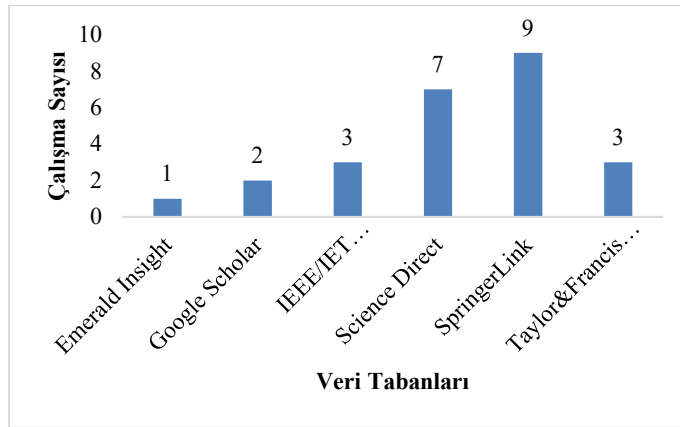
4.1. Genel Bulgular

Yukarıda belirtilen yöntem sürecinde gerçekleştirilen literatür araştırması kapsamında Sanayi 4.0 olgunluk modellerine odaklanan 24 adet uygulamalı çalışmanın başlangıçta yıllara göre dağılımı incelenmiş (Grafik 1) ve

Sanayi 4.0 olgunluk modeli ile ilgili yapılan çalışmaların son yıllarda artış gösterdiği görülmüştür. Ardından, grafik 2’de çalışmaların veri tabanlarına göre dağılımı incelenerek en fazla çalışmanın sırasıyla; SpringerLink ve ScienceDirect veri tabanında yer aldığı tespit edilmiştir.

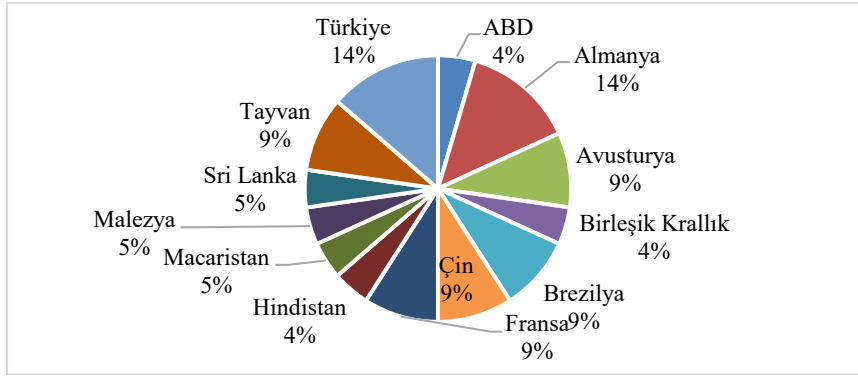


Grafik 1: Çalışmaların Yıllara göre Dağılımı

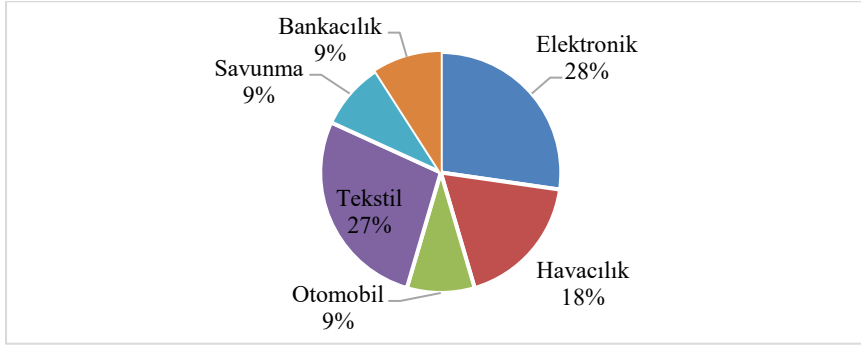


Grafik 2: Çalışmaların Veri Tabanına göre Dağılımı

Grafik 3’te uygulama çalışmalarının yapıldığı ülkeler görülmektedir. Buna göre en fazla çalışmanın yayınlandığı ülke Almanya ve Türkiye olmuştur. Bunu izleyen ülkeler ise Brezilya, Çin, Fransa ve Tayvan olmuştur. Son olarak çalışmalar uygulandıkları sektörler göre (Grafik 4) değerlendirildiğinde ise elektronik ve tekstil sektörlerinde gerçekleştirilen çalışmaların fazla olduğu ve havacılık sektörünün onları takip ettiği görülmektedir.



Grafik 3: Ülkelerine göre Çalışma Sayısı



Grafik 4: Çalışmaların Uygulandığı Sektörlere göre Dağılımı

4.2. Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli Uygulamalı Çalışmalar için Bulgular

Bu bölümde literatür araştırması sonucunda tespit edilen 24 adet uygulamalı çalışmada; araştırmacılar tarafından kullanılan Sanayi 4.0 olgunluk modelleri, çalışmaların türü ve olgunluk modellerinde ele alınan ana kriterler incelenmiştir.

Tablo 2: Uygulamalı Çalışmalarda Kullanılan Modeller

Yazar (Yıl)	Çalışma Odağı	Önerilen Model	Çalışma Türü
Schumacher vd. (2016)	Avusturyalı havacılık ve uzay malzemeleri imalatı yapan bir firmanın Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.	İmalat Firmaları için Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli	**
De Carolis vd. (2017)	Gıda, mühendislik ve elektrik enerjisi sektörlerinde faaliyet gösteren üç firmanın mevcut durumları hakkında bilgi sahibi olmak ve Sanayi 4.0 teknolojileri karşısında hazırlığını değerlendirmek.	DREAMY	**
Jæger ve Halse (2017)	Küresel olarak rekabet eden dört Norveçli üretim firmasında IoT teknoloji olgunluğunu ölçmek.	IoT Teknolojik Olgunluk Değerlendirme Puan Kartı	**
Akdil vd. (2018)	Türkiye’de perakende sektöründe yer alan bir firmanın Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmek.	Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli, IMPULS, Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli, İmalat Firmaları için Geliştirilmiş Sanayi 4.0 olgunluk modelinden yararlanarak önerilen model	***
Asdecker ve Felch (2018)	Firmaların teslimat işlemlerindeki olgunluk seviyelerinin belirlenmesi, teslimat lojistiği açısından bir vizyon geliştirmek, firmalara kalkınma yolunda rehberlik sağlamayı amaçlamak ve tedarik zinciri uygulamaları ve Sanayi 4.0 yaklaşımları arasındaki ilişkiyi analiz etmek.	Teslimat Süreci Olgunluk Modeli	*
Bibby ve Dehe (2018)	Savunma sektöründe faaliyet göstermekte olan 12 firmanın Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.	IMPULS ve Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modellerinden hareketle önerilen model	*
Bittighofer, Dust, Irslinger, Liebich, ve Martin (2018)	Almanya ve Fransa’da yer alan 7 farklı sektörden toplamda 24 firmanın Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmek ve bu ülkeler açısından Sanayi 4.0’ın zorluklarını değerlendirmek.	Yazarlar tarafından önerilen model	**
Dos Santos,	Literatürde yer alan Ürün Yaşam	Yazarlar tarafından önerilen	**

Loures, Junior ve Santos (2018)	Döngüsü (PLM: Product Life Cycle) Olgunluk Modellerini tespit ederek Sanayi 4.0 ile en fazla uyumlu olan modeli belirlemek.	model	
Fettermann, Cavalcante, Almeida ve Tortorella (2018)	Sanayi 4.0 teknolojileri doğrultusunda 38 büyük firmanın hangi teknolojilere uygun oldukları ve hangi olgunluk seviyesinde olduklarını değerlendirmek.	Yazarlar tarafından önerilen model	*
Hamidi, Aziz, Shuhidan, Aziz ve Mokhsin (2018)	Malezya'da bulunan KOBİ'lerin Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.	IMPULS olgunluk modelinden yararlanarak yazarlar tarafından önerilen model	**
Kaltenbach, Marber, Gosemann, Bölts ve Kühn (2018)	Almanya'da faaliyet gösteren üç imalat firmasının akıllı hizmetler alanındaki olgunluğunu ölçmek.	Yazarlar tarafından önerilen model	**
Lu ve Weng (2018)	Akıllı imalat ve Sanayi 4.0'ı kapsayan on dokuz teknolojinin Tayvan'a ilişkin olgunluk tahminlerini gerçekleştirmek.	Yazarlar tarafından önerilen model	*
Stich, Gudergan ve Zeller (2018)	İmalat firmalarının Sanayi 4.0 ile ilgili olarak; 2015 yılındaki mevcut durumları ve 2020 yılındaki tahmini durumları hakkında Çin, Fransa, Almanya, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletlerinde incelemeler gerçekleştirmek.	ACATECH	**
Bandara vd. (2019)	Sri Lanka bankacılık sektörünün Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.	Yazarlar tarafından önerilen model	**
Elnagar, Weistroffer ve Thomas (2019)	Sanayi 4.0 ile ilgili bir proje geliştirmeden önce ve sonra gerekli olgunluk düzeyini değerlendiren tanımlayıcı bir model geliştirmek ve modeli bir firmaya uygulamak.	Çevik İhtiyaç/Gereksinim Mühendisliği Olgunluk Modeli	**
Felch, Asdecker ve Sucky (2019)	Sanayi 4.0 olgunluk modellerine genel bir bakış sunmak ve Almanya sanayi birlikleri ve çeşitli firmaların Sanayi 4.0 olgunluğunu belirlemek.	İmalat Firmaları İçin Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli, Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli gibi 20 model değerlendirilerek	**

		yazarlar tarafından önerilen model		
Keskin, Kabasakal, Kaymaz ve Soyuer (2019)	Türkiye’de konfeksiyon sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini belirlemek.	Yazarlar tarafından önerilen model	**	
Lin vd. (2019)	Tayvan’daki 80 firmanın Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.	Singapur Akıllı Endüstri Hazırlık Endeksi’ne dayanan bir olgunluk modeli	*	
Machado vd. (2019)	Havacılık, otomobil, plastik ambalaj ve ağır araçlar sektörlerini kapsayan yedi imalat firmasının Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini belirlemek.	Yazarlar tarafından önerilen model	**	
Nick, Szaller, Bergmann ve Vargedo (2019)	Macaristan’daki firmaların Sanayi 4.0’a hazır olma düzeylerinin değerlendirilmek ve durumun makro düzeyde kapsamlı bir şekilde incelemek.	Yazarlar tarafından önerilen model	**	
Pacchini vd. (2019)	Brezilya’daki motor üreticisi bir firmanın Sanayi 4.0 hazırlığını ölçmek.	Yazarlar tarafından önerilen model	*	
Schumacher, Nemeth ve Sih (2019)	Avusturya, Çin ve Hindistan’daki üç tesisin Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmek.	Yazarlar tarafından önerilen model	**	
Tadeu vd. (2019)	Brezilyalı firmaların Sanayi 4.0 dijital olgunluk düzeyini ölçmek.	Yazarlar tarafından önerilen model	***	
Temur, Bolat ve Göz (2019)	İnşaat, tekstil ve kablo üretimi yapan üç farklı sektörden firmanın Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.	IMPULS	**	

*Makale **Basılı Bildiri Metni ***Kitap bölümü

Tablo 2’de yer alan uygulamalı çalışmalara bakıldığında, her bir çalışmanın farklı sektörlerden firmalara uygulandığı ve çoğunlukla yazarlar tarafından önerilen modellerin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Bu modeller, Sanayi 4.0 olgunluğunu veya olgunluk öğelerini içeren farklı kriterlerle değerlendirilerek firmalar tarafından genel olarak dört ila on seviyeyi kapsayan uygun bir ölçek seviyesi seçilerek değerlendirilmiş modellerdir (Nick vd., 2019, s. 290). Çalışmalar türlerine (makale, konferans/sempozyum basılı bildiri metni ve kitap bölümü) göre değerlendirildiğinde 6 tanesinin makale, 16 tanesinin konferans ve sempozyumlarda basılı bildiri metni ve 2 tanesinde de kitap bölümü olduğu görülmüştür. Ayrıca, Sanayi 4.0 olgunluk modeli uygulama çalışmalarında en çok kullanılan kriterlerin sırasıyla; *strateji ve organizasyon* ile

çalışanlar olduğu görülmektedir (Tablo 3). Bu sonuç, Nick vd. (2019)'nin yaptığı çalışma ile örtüşmektedir.

Tablo 3: Kullanılan Ana Kriterlere göre Çalışmalar

Ana Kriterler	Yazarlar
Akıllı fabrika	Nick vd. (2019); Temur vd. (2019)
Akıllı hizmetler	Bittighofer vd. (2018); Kaltenbach vd. (2018)
Akıllı süreçler	Nick vd. (2019); Temur vd. 2019
Akıllı ürün	Hamidi vd. (2018); Nick vd. 2019; Temur vd. (2019)
Akıllı ürünler ve hizmetler	Akdil vd. (2018)
Çalışanlar	Hamidi vd. (2018); Bandara vd. (2019); Nick vd. (2019); Schumacher vd. (2019); Temur vd. (2019)
Değer yaratma süreçleri	Schumacher vd. (2019)
Dikey ve yatay entegrasyon	Hamidi vd. (2018); Asdecker ve Felch (2018)
İnsan ve kültür	Bibby ve Dehe (2018)
İnsanlar	Schumacher vd. (2016); Elnagar vd. (2019)
İş modeli ve yasal hususlar	Keskin vd. (2019)
Kalite yönetimi	Fettermann vd. (2018)
Kurumsal standartlar	Schumacher vd. (2019)
Kültür	Schumacher vd. (2016)
Liderlik	Schumacher vd. (2016)
Müşteriler	Schumacher vd. (2016); Bandara vd. (2019); Schumacher vd. (2019)
Operasyon stratejisi	Fettermann vd. (2018)
Operasyon ve üretim	Kaltenbach vd. (2018); Keskin vd. (2019)
Operasyonlar	Schumacher vd. (2016); Bandara vd. (2019)
Organizasyon yapısı	Bittighofer vd. (2018); Kaltenbach vd. (2018)
Strateji	Schumacher vd. (2016); Bibby ve Dehe (2018); Schumacher vd. (2019)
Strateji ve organizasyon	Akdil vd. (2018); Hamidi vd. (2018); Bandara vd. (2019); Keskin vd. (2019); Nick vd. (2019); Temur vd. (2019)
Tedarik zinciri ve sanayi 4.0 entegrasyonu	Keskin vd. (2019)
Teknoloji	Schumacher vd. (2016); Elnagar vd. (2019); Schumacher vd. (2019)
Teknoloji ve kaynaklar	Bandara vd. (2019)
Teknoloji yönetimi	Fettermann vd. (2018)
Ürün geliştirme süreci	Bittighofer vd. (2018); Kaltenbach vd. (2018)
Ürün ve hizmetler	Bandara vd. (2019); Keskin vd. (2019)
Ürünler	Schumacher vd. (2016); Schumacher vd. (2019)
Veri odaklı hizmetler	Hamidi vd. (2018); Nick vd. 2019; Temur vd. (2019)
Veri ve bilgi	Schumacher vd. (2019)
Yönetim ve organizasyon	Elnagar vd. (2019)
Yönetişim	Schumacher vd. (2016); Bandara vd. (2019)

Yönlendirme (izleme) ve kontrol	De Carolis vd. (2017); Bittighofer vd. (2018)
---------------------------------------	---

Yukarıda incelenen çalışmalardan, Sanayi 4.0 hazırlığını ve olgunluğunu değerlendirmek için belirlenen değerlendirme kriterlerinin tamamen araştırmacıların bakış açısına bağlı olduğu anlaşılmaktadır (Bibby ve Dehe 2018, s. 5; Pacchini vd., 2019, s. 3). Ayrıca, Sanayi 4.0 araştırmacıları arasında, Sanayi 4.0'ı başarıyla uygulayacak kriterler konusunda da bir fikir birliği de söz konusu değildir (Bibby ve Dehe 2018, s. 11; Pacchini vd., 2019, s. 6). Öte yandan bu çalışmalar incelendiğinde, konunun henüz organizasyonel farkındalık ve teknoloji perspektiflerden tam olarak ele alınmadığı ve değerlendirilmediği dikkat çekmektedir (Wagire, Joshi, Rathore & Jain, 2020, s. 8). Bu modellerin, organizasyonel farkındalık yönünden, (Sanayi 4.0 yararları/etkileri hakkında farkındalık) ve ortaya çıkan teknolojilerle (artırılmış ve sanal gerçeklik, 3D baskı, Blockchain teknolojisi, yapay zeka, RFID vb.) Sanayi 4.0'ın başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesinde kritik bir rol oynadığı sonucu ortaya çıkmaktadır (Wagire vd., 2020, s. 8).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dördüncü sanayi devriminin başlangıcı olarak kabul edilen Sanayi 4.0, birçok firmanın mevcut iş süreçlerini ve/veya iş modellerini Sanayi 4.0 yönünde geliştirmeleri ve değiştirmeleri gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ise; firmalarda değişim sürecini başlatarak rekabet üstünlüğü elde etmelerine katkıda bulunabilirler. İlgili literatür incelendiğinde Sanayi 4.0 olgunluk modellerinin incelenmesine yönelik literatür araştırmalarının olduğu, ancak uygulama çalışmalarının yer aldığı bir literatür araştırmasının olmadığı tespit edilmiştir. Bu noktadan hareketle, Sanayi 4.0 uygulama çalışmalarının incelendiği bir literatür araştırması yapılması bu çalışmanın amacı olarak belirlenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Sanayi 4.0 olgunluk modellerine yönelik yapılan toplam 64 çalışmanın %37,5'inin (24 adet) uygulamaya dönük olduğu belirlenmiştir. Son yıllarda Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili yapılan uygulamalı çalışma sayısında artış olduğu ve çalışmaların büyük çoğunluğunun Almanya ve Türkiye'de yapıldığı dikkat çekmiştir. Ayrıca, bu çalışmalar ağırlıklı olarak elektronik ve tekstil sektörlerinde gerçekleştirilmiştir. Öte yandan, uygulamalı çalışmaların %25'inin makale, %67'sinin konferans ve sempozyumlarda basılı bildiri metinleri ve %8'inin de kitap bölümü olduğu tespit edilmiştir.

İmalat firmalarında dijital dönüşüm olgusu henüz ortaya çıkış aşamasında olduğundan, firmaların Sanayi 4.0'a hazır olup olmadığını değerlendirmek için genel kabul görmüş standart bir model yoktur (Rajnai & Kocsis, 2018, s. 229). Buna istinaden literatürde Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili geliştirilen birçok model mevcuttur. Bu modellere genel olarak bakıldığında; modellerin çoğunun büyük ölçekli firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesi amacıyla danışmanlık firmaları ile çeşitli sektör temsilcilerinin işbirliğinden ortaya çıktığı görülmektedir. Sanayi 4.0'a geçişte tek bir modelin her sektörden firma için uygun olmadığı düşünüldüğünde; modellerin birçok yönden eksikliklerinin olması kaçınılmazdır. Bu sebeple uygulamalı çalışmalarda her araştırmacı tarafından yeni model önerildiği tespit edilmiştir. Önerilen bu modeller, daha çok firmaların faaliyet gösterdikleri alandaki yeteneklerini değerlendirmek amacıyla ve literatürdeki Sanayi 4.0 olgunluk modellerinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca, bu modellerde kullanılan kriterlerin çoğunlukla birbirine benzerlik gösterdiği de tespit edilmiştir.

İncelen 24 adet uygulamalı çalışmada, yukarıda da belirtildiği gibi çoğunlukla yazarlar tarafından önerilen modeller kullanılmıştır. Önerilen bu modellerin bazılarında yazarların, literatürde yer alan modellerden yararlandığı görülmektedir. Literatürdeki modeller açısından çalışmalar incelendiğinde ise; yazarların en fazla IMPULS modelinden yararlandığı, onu sırasıyla Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli ve İmalat Firmaları İçin Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modelinin takip ettiği görülmektedir. Önerilen tüm modellerde, veriler genellikle anketler yoluyla toplanmıştır. Her bir çalışma için oluşturulmuş farklı modellere bakıldığında, anket puanları ile kriterler gruplandırarak tekli veya çoklu seviye yapısı ile değerlendirilmiştir. Tanımlanan değerlendirme yöntemiyle, doğrudan Sanayi 4.0 hazırlık/olgunluk değerlendirmesi için kullanılacak genel bir puan veya indeks elde edilmekte ve bu puana dayanarak firmaların hangi hazırlık/olgunluk düzeylerinde olduğu tespit edilmektedir.

Sanayi 4.0 olgunluk modelleri kapsamında en çok kullanılan kriterlerin sırasıyla *strateji ve organizasyon* ile *çalışanlar* olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle, firmaların Sanayi 4.0 dönüşümünü başarılı bir şekilde gerçekleştirmesi ve bu dönüşüme yönelik yeni bir yol haritası çizmesinde strateji ve organizasyon kriterinin önemli bir rol oynadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, çalışanlar da bu dönüşümün temelini oluşturduğu için en önemli kriterler arasında yer almaktadır. Firmalar tarafından çalışanlara eğitim verilerek değişime kolayca

ayak uydurmaları sağlanabilir.

Bu çalışmadan hareketle ileride gerçekleştirilecek çalışmalarda, hem teorik hem de uygulamalı çalışmalar ele alınarak daha kapsamlı bir literatür araştırması gerçekleştirilebilir. Ayrıca, gelecekteki araştırma alanları, farklı sektörlerden firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerini ölçmek ve değerlendirme kriterlerinin önem düzeylerini tespit etmek amacıyla daha büyük örneklerle gerçekleştirilebilir ve mevcut modellerde değişiklikler (sektöre yönelik bazı kriterler ilave edilerek) yapılarak modeller sektörlere uyumlu hale getirilebilir. Son olarak, literatürde çok sayıda modelin yer alması nedeniyle geçerliliği kabul edilecek belli sayıda modele odaklanmanın daha faydalı olabileceği düşünülmektedir.

6. ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

7. MADDİ DESTEK

Bu çalışmada herhangi bir fon veya destekten yararlanılmamıştır.

8. YAZAR KATKILARI

BB: Fikir;

BB, DS: Tasarım;

BB, DS: Denetleme;

DS: Kaynakların toplanması ve/veya işlenmesi;

BB, DS: Analiz ve/veya yorum;

DS, BB: Literatür taraması;

DS, BB: Yazıyı yazan;

BB, DS: Eleştirel inceleme

9. ETİK KURUL BEYANI VE FİKRİ MÜLKİYET TELİF HAKLARI

Çalışmada etik kurul ilkelerine uyulmuştur ve fikri mülkiyet ve telif hakları ilkesine uygun olarak gerekli izinler alınmıştır.

10. KAYNAKÇA

- Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy, industry 4.0: Managing the digital transformation. *Springer*, Switzerland, 61-94. doi: 10.1007/978-3-319-57870-5_4.
- Asdecker, B., & Felch, V. (2018). Development of an industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. *Journal of Modelling in Management*, 13 (4),

- 840- 883. doi: 10.1108/JM2-03-2018-0042.
- Bandara, O.K.K., Tharaka, V.K., & Wickramarachchi, A.P.R. (2019). Industry 4.0 maturity assessment of the banking sector of Sri Lanka. *International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)*, IEEE, 190-195.
- Becker, J., & Knackstedt, R. (2009). Developing maturity models for IT management-a procedure model and its application. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213-222. doi: 10.1007/s12599-009-0044-5.
- Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels-case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043. doi: 10.1080/09537287.2018.1503355.
- Bittighofer, D., Dust, M., Irlinger, A., Liebich, M., & Martin, L. (2018). State of industry 4.0 across german companies a pilot study. *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, IEEE, 1-8.
- De Carolis, A., Macchi, M., & Terzi, S. (2017). Guiding manufacturing companies towards digitalization: a methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, IEEE, 487-495. doi: 10.1109/ICE.2017.8279925
- Dos Santos, K. C. P., Loures, E. F. R., Junior, O. C., & Santos, E. A. P. (2018). Product lifecycle management maturity models in industry 4.0. *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, 540, 659-669. doi: 10.1007/978-3-030-01614-2_60.
- Elnagar, S., Weistroffer, H., & Thomas, M. (2019). Agile requirement engineering maturity framework for industry 4.0, european. *Mediterranean and Middle Eastern Conference on Information Systems*, 341, 405-418. doi: 10.1007/978-3-030-11395-7_31.
- Felch, V., Asdecker, B., & Sucky, E. (2019). Maturity models in the age of industry 4.0-do the available models correspond to the needs of business practice?. *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 5165-5174.
- Fettermann, D. C., Cavalcante, C. G. S., Almeida, T. D., & Tortorella, G. L. (2018). How does industry 4.0 contribute to operations management?. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(4), 255-268. doi: 10.1080/21681015.2018.1462863.
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. 6 Ekim 2018 tarihinde <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-buildingyour-digital-enterprise-april-2016.pdf> adresinden erişildi.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936. doi: 10.1108/JMTM-02-2018-0057.
- Gökalp, E., & Sener, U. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-mm. *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination*, 770, 128-142. doi: 10.1007/978-3-319-67383-7_10.

- Hamidi, S. R., Aziz, A. A., Shuhidan, S. M., Aziz, A. A., & Mokhsin, M. (2018). SMEs maturity model assessment of IR4.0 digital transformation. *International Conference on Kansei Engineering & Emotion Research*, 739, 721-732. doi: 10.1007/978-981-10-8612-0_75.
- Jæger, B., & Halse, L. L. (2017). The IoT technological maturity assessment scorecard: A case study of Norwegian manufacturing companies. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 513, 143-150. doi: 10.1007/978-3-319-66923-6_17.
- Kaltenbach, F., Marber, P., Gosemann, C., Bölts, T., & Kühn, A. (2018). Smart services maturity level in Germany. *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, IEEE, 1-7.
- Keskin, F. D., Kabasakal, İ., Kaymaz, Y., & Soyuer, H. (2019). An assessment model for organizational adoption of industry 4.0 based on multi-criteria decision techniques. *The International Symposium for Production Research*, 85–100. doi: 10.1007/978-3-319-92267-6_7.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609-3629. doi: 10.1080/00207543.2017.1308576.
- Lichtblau, K., Stich, V., Roman, B., Blum, M., Bleider, M., Agnes, M., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015). IMPULS industry 4.0 readiness. 21 Temmuz 2018 tarihinde https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf/0b5fd521-9ee2-2de0-f377-93bdd01ed1c8 adresinden erişildi.
- Lin, T. C., Wang, K. J., & Sheng, M. L. (2019). To assess smart manufacturing readiness by maturity model: a case study on Taiwan enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1-14. doi: 10.1080/0951192X.2019.1699255.
- Lu, H.P., & Weng, C. I. (2018). Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry. *Technological Forecasting & Social Change*, 113, 85-94. doi: 10.1016/j.techfore.2018.03.005.
- Machado, C. G., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V., & Hallin, M. (2019). Industrie 4.0 readiness in manufacturing companies: Challengers and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, 81, 1113-1118. doi: 10.1016/j.procir.2019.03.262.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*. 49, 194-214. doi: 10.1016/j.jmsy.2018.10.005.
- Nick, G., Szaller, A., Bergmann, J., & Vargedo, T. (2019). Industry 4.0 readiness in Hungary: Model, and the first results in connection to data application. *IFAC*

- PapersOnLine*, 52, 289–294. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.185.
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2018). Literature review of industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*. doi: 10.1007/s10845-018-1433-8.
- Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F., & Mummolo, G. (2019). The degree of readiness for the implementation of industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, 1-8. doi: 10.1016/j.compind.2019.103125.
- Piccarozzi, M., Aquilani, B., & Gatti, C. (2018). Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. *Sustainability*, 10, 1-24.
- Rajnai, Z., & Kocsis, I. (2018). Assessing industry 4.0 readiness of enterprises. *16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, IEEE, 225-230.
- Rockwell Automation, (2016). The connected enterprise maturity model. 3 Ekim 2018 tarihinde https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/cie-wp002_en-p.pdf adresinden erişildi.
- Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Weber, A. R., & Prote, J. P. (2014). Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 19, 51-56. doi: 10.1016/j.procir.2014.05.016.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). Industrie 4.0 maturity index. 2 Mart 2019 tarihinde https://www.acatech.de/wpcontent/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf adresinden erişildi.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihni, W. (2016). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040.
- Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihni, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 79, 409-414. doi: 10.1016/j.procir.2019.02.110.
- Sony, M., & Naik, S. (2019). Key ingredients for evaluating industry 4.0 readiness for organizations: A literature review. *Benchmarking: An International Journal*. doi: 10.1108/BIJ-09-2018-0284.
- Stich, V., Gudergan, G., & Zeller, V. (2018). Need and solution to transform the manufacturing industry in the age of industry 4.0-a capability maturity index approach. *Working Conference on Virtual Enterprises*, 534, 33-42. doi: 10.1007/978-3-319-99127-6_3.
- Tadeu, H. F. B., Duarte, A. L. C. M., Taurion, C., & Jamil, G. L. (2018). Digital transformation: Digital maturity applied to study brazilian perspective for industry 4.0. *Best Practices in Manufacturing Processes-Experiences from latin America*, Springer, Switzerland, 3-27. doi: 10.1007/978-3-319-99190-0_1.
- Temur, G. T., Bolat, H. B., & Gözölü, S. (2019). Evaluation of industry 4.0 readiness level: Cases from Turkey. *The International Symposium for Production Research*, 412-425. doi: 10.1007/978-3-319-92267-6_36.

- Trotta, D., & Garengo, P. (2019). Assessing industry 4.0 maturity: An essential scale for SMEs. *International Conference on Industrial Technology and Management, IEEE*, 69-74.
- Wagire, A. A., Joshi, R., Rathore, A. P. S., & Jain, R. (2020). Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. *Production Planning & Control*, doi: 10.1080/09537287.2020.1744763.