



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SANAYİ 4.0 İÇİN HAZIRLIK ve
OLGUNLUK ENDEKSİ MODELİ
GELİŞTİRİLMESİ**

Cihan ÜNAL

DOKTORA TEZİ

Bilişim Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Aralık-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Cihan ÜNAL tarafından hazırlanan “Sanayi 4.0 İçin Hazırlık ve Olgunluk Endeksi Modeli Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 29/11/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İTÜlşim Teknolojileri Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. İsmail BABAOĞLU

Danışman

Prof. Dr. Cemil SUNGUR

Üye

Prof. Dr. Adem Alpaslan ALTUN

Üye

Prof. Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Murat KÖKLÜ

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Cihan ÜNAL

29/11/2022

ÖZET

DOKTORA TEZİ

SANAYİ 4.0 İÇİN HAZIRLIK ve OLGUNLUK ENDEKSİ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Cihan ÜNAL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilişim Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cemil SUNGUR

2022, 112 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Cemil SUNGUR
Prof. Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ
Prof. Dr. Adem Alpaslan ALTUN
Doç. Dr. İsmail BABAOĞLU
Dr. Öğretim Üyesi Murat KÖKLÜ

Endüstri 4.0 özellikle sanayide çok sık duyulan bir kavram olmuştur. Kuşkusuz bu kavrama duyulan ilgi çok doğru ve rasyonel bir alana oturması ve çağdaş bilim ve teknoloji hedeflerine ulaşılması için farkındalık yaratması ile açıklanabilir. Ancak birbirinden çok farklı büyüklükte ve farklı alanlarda üretim bulunan sanayi kuruluşları düşünüldüğünde işletmelere yol göstermek, bu konudaki duyarlılıklarını artırmak ve Endüstri 4.0 kavramı karşısındaki kendi durumlarını anlamak bir diğer ifadeyle kendilerine ayna tutmak için Hazırlık ve Olgunluk modelleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada öncül çalışmalarda modeller taranmış ve görülen eksikler doğrultusunda daha ayrıntılı ve doğrudan sanayide test edilerek geliştirilen bir model oluşturulması amaçlanmıştır.

Literatür taraması, sektör gurularının görüşlerinin alınması ve akademik personelin görüşleri doğrultusunda mevcut modellerden farklı boyutlar eklenmiş ve bunların geçerliliğinin test edilmesi için ise AHP (Analytical Hierarchy Process-Analitik Hiyerarşi Süreci) kullanılmıştır. Bir yandan yapılan saha araştırmalarıyla araştırma kapsamı ve olgunluk-hazırlık durumunu ölçmek için geliştirilen anket de buna uygun olarak değiştirilerek SANOL (Sanayi Olgunluk Modeli) adı verilen kapsamlı bir model geliştirilmiştir. Model yüz yüze uygulanabildiği gibi çevrimiçi de uygulanabilmektedir. Özellikle mevcut modellerde olmayan yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutu ve kurumsal kültür alt boyutu modelimize eklenmiş ve bu alanda görülen boşluklar doldurulmuştur.

Ayrıca anket yapmanın zor ve zaman alması, maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle özellikle sanayi bölgelerinde bulunan çok sayıda işletmenin sanayi olgunluk endeksi değerlendirmelerini daha hızlı, ucuz ve kolay yapabilmek amacıyla bu çalışmada makine öğreniminin başarısı araştırılmıştır.

Bu çalışma sadece akademik bir boşluğu gidermekle kalmamıştır, aynı zamanda Endüstri 4.0 gibi bir kavramın farkındalığını artırmıştır. Ayrıca her boyuttaki işletmelerin Endüstri 4.0 kavramını anlamasını ve kendi özelinde uygulamasını da kolaylaştırıcı bir rehber özelliğini taşımaktadır. Model yurt içi ve yurt dışında rahatlıkla uygulanabilirliğini ispat etmiştir. Bu çalışmanın ardıl çalışmalara ilham olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, Sayısallaşma, Endüstri 4.0, Hazırlık Modeli, Endeks Oluşturma, Olgunluk Modeli

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DEVELOPMENT OF READINESS AND MATURITY INDEX MODEL FOR INDUSTRY 4.0

Cihan ÜNAL

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCE OF SELCUK UNIVERSITY
DEPARTMENT OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

Advisor: Prof. Dr. Cemil SUNGUR

2022, 112 Pages

Jury

**Prof. Dr. Cemil SUNGUR
Prof.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ
Prof. Dr. Adem Alpaslan ALTUN
Assoc.Prof. Dr. İsmail BABAOĞLU
Asst.Prof.Dr. Murat KÖKLÜ**

Industry 4.0 has been a concept that has been heard very often, especially in the industry. Undoubtedly, the interest in this concept can be explained by the fact that it fits in a very correct and rational area and creates awareness in order to achieve the goals of modern science and technology. However, in the production of industrial enterprises in different areas have different sizes from each other and to guide businesses in considering this topic to understand their own situation and to increase the sensitivity across the concept of Industry 4.0, in other words, to a mirror to themselves in readiness and maturity models are used. In this study, the models in the preliminary studies were scanned and it was aimed to create a model that was developed by testing in more detail and directly in the industry in line with the shortcomings seen.

In line with the literature review, the opinions of the sector leaders and the opinions of the academic staff, different dimensions were added from the existing models and AHP (Analytical Hierarchy Process) was used to test their validity. On the one hand, the questionnaire developed to measure the scope of research and maturity-readiness status through field research has been modified and improved accordingly, and a comprehensive model called SANOL (Industrial Maturity Model) has been developed. The model can be applied face-to-face as well as online. In particular, the dimension of benefiting from Legal Regulations and Incentives that are not available in existing models and the sub-dimension of Corporate Culture have been added to our model and the gaps seen in the field have been filled.

In addition, the success of machine learning was also investigated in this study in order to make the industrial maturity index assessments of many enterprises located in industrial zones faster, cheaper and easier, due to the difficulty and time consuming of surveys and the high costs.

This study has not only addressed an academic gap; it has also increased awareness of a concept such as Industry 4.0. In addition, it also carries the feature of a guide that facilitates businesses of all sizes to understand the concept of Industry 4.0 and apply it in their own way. The model has proved its applicability easily at home and abroad. It is expected that this study will inspire future studies

Keywords: Digitalization, Indexing, Industry 4.0, Maturity Model, Readiness Model

ÖN SÖZ

Bu çalışmaya başlamadan önce sektördeki eksiklikler ve boşluklar taranmıştır. Pek çok benzeri gibi doktora alanındaki bir boşluğu doldurmak ve bilimsel katkının en yüksek olacağı bir konu seçmek için 3 yıl boyunca araştırma yapılmıştır.

Bilişim teknolojilerinin sanayide kullanımı söz konusu olunca yapılan her araştırmada Endüstri 4.0 kavramı ile karşılaşılmıştır. Bunun üzerine bu kavramın sanayideki kullanımı bakımından “hazırlık ve olgunluk” ölçümü konusunda boşluk olduğu görülmüştür. Bu gerekçeyle konuda geliştirilecek endeksin nasıl olgunlaşacağı ve metodolojisi araştırılmıştır. Sonuçta AHP kullanılarak sanayi kuruluşlarından yardım alınarak elde edilen deneyimle bir model geliştirilmiştir.

Geliştirilen model, 6 boyutlu olup tüm testlerden başarı ile geçmiştir.

Benzer çalışmalardan ayrılan en önemli özelliği yaşayan ve sürekli gelişen bir metot ile bilimin kullanımına sunulması ve çok sayıda test ile kendisini kanıtlamasıdır.

Bu çalışma 3 yıllık bir emeğin ürünüdür. Başta Tez Danışmanım Prof. Dr. Cemil SUNGUR, ikinci Tez Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Hakan YILDIRIM, Tez İzleme Kurulu üyeleri Prof. Dr. Adem Alpaslan ALTUN, Doç. Dr. İsmail BABAOĞLU, Bilişim Teknolojileri Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ, Dr. Öğretim Üyesi Murat KÖKLÜ, Çankaya Üniversitesi Yazılım Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hayri SEVER, Başkent OSB, Anadolu OSB, Ankara 1. OSB’deki yetkililer, çalışanlar, akademik ortamdaki değerli hocalarım, İstanbul Sanayi Odası Genel Sekreteri Sayın Haktan AKIN, TBD eski başkanı Sayın İ. İlker TABAK, değerli mesai arkadaşım Dr. Ayhan DOĞAN ve kardeşim Ayhan BÜTÜNER bu zorlu sürecin her aşamasında katkı ve desteklerini esirgememişlerdir. Verdikleri katkı ve desteklerden dolayı kendilerine teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Sadece bu süreçte değil hayatımın her döneminde bana maddi ve manevi destek veren eşim Naciye ve oğullarım Onur, Emre’ye de sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Cihan ÜNAL
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. SANAYİ DEVRİMLERİNİN YAPISI	6
2.1. Devrimler	6
2.2. Endüstri 1.0'dan 4.0'a Doğru.....	7
2.2.1. Endüstri 1.0	8
2.2.2. Endüstri 2.0	11
2.2.3. Endüstri 3.0	13
2.2.4. Endüstri 4.0	15
2.2.4.1. Endüstri 4.0'ın avantajları.....	18
2.2.4.2. Teknolojik inceleme alanları.....	19
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	25
3.1. Olgunluk ve Hazırlık Modelleri	30
3.2. OM'lerin Araştırma Boşluğu	37
3.2.1. Araştırma Boşluğu 1:	37
3.2.2. Araştırma Boşluğu 2:	37
3.2.3. Araştırma Boşluğu 3:	38
3.3. Boyutlarla İlgili Literatür Taraması	38
3.4. Endüstri 4.0 Hazırlık ve Olgunluk Modellerinin Listelenmesi	39
3.5. Endüstri 4.0 Hazırlık ve Olgunluk Modellerindeki Boyutların Belirlenmesi	40
3.6. Tartışma	42
3.6.1. Araştırma sorusu 1: Mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelleri nelerdir (akademi/endüstri)?	42
3.6.2. Araştırma sorusu 2: Mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinde kullanılan ana boyutlar nelerdir?.....	43
3.6.3. Araştırma sorusu 3: Mevcut Endüstri 4.0 hazırlık modelleri arasında en önemli boyut hangisidir?.....	44
3.6.4. Sonuçlar	45

4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	48
4.1. SANOL Endüstri 4.0 Olgunluk Modelindeki Boyutlar ve Alt Boyutlar	50
4.2. SANOL Olgunluk Modeli İçin Oluşturulan Sorular	51
4.3. AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ile Boyut Ağırlıklarının Geçerliliğini Test Etme	53
4.4. SANOL Olgunluk Modeli Boyut Ağırlıkları	58
4.5. SANOL Olgunluk Modeli Değerlendirme Seviyelerinin Belirlenmesi	59
4.6. SANOL Olgunluk Endeksinin Oluşturulması.....	60
4.7. Makine Öğrenmesi	62
4.7.1. K-fold Çapraz Doğrulama Yöntemi.....	62
4.7.2. Makine Öğrenme Yöntemleri (Machine Learning Techniques).....	63
4.7.2.1. Lineer regresyon (Linear regression).....	64
4.7.2.2. Destek vektör makineleri (Support vector machines).....	64
4.7.2.3. Gauss süreç regresyonu (Gaussian process regression).....	65
4.7.2.4. Regresyon ağaçları.....	66
4.7.2.4. Ağaç toplulukları	67
4.7.3. Hata Metrikleri.....	68
4.7.3.1. Determinasyon katsayısı (R^2)	68
4.7.2.5. Kök ortalama kare hata (RMSE).....	68
4.7.2.6. Ortalama kare hata (MSE)	69
4.7.2.7. Ortalama mutlak hata (MAE)	69
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	70
5.1. Sanol Olgunluk Modelinin Sanayideki İşletmelere Uygulanması	70
5.2. SANOL Endüstri 4.0 Olgunluk Modelinin Bir Elektronik ve Enerji Şirketinde Uygulanması	72
5.3. Makine Öğrenmesi Bulguları.....	77
5.4. Tartışma	81
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
6.1. Geliştirilen SANOL Olgunluk Modelinin Yeni Yönleri	83
6.2. Sınırlılıklar	85
6.3. Sonuçlar	85
6.4. Öneriler	89
7. KAYNAKLAR	90
8. EKLER.....	102
EK-1 Anket Formu.	102
9. ÖZGEÇMİŞ.....	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

3D	: Three Dimensional (Üç Boyutlu)
AHP	: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
AT	: Ağaç Toplulukları
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknolojileri
BT	: Bilişim Teknolojileri
CI	: Consistency Index (Tutarlılık Endeksi)
CR	: Consistency Ration (Tutarlılık Oranı)
ÇLR	: Çoklu Lineer Regresyon
DFKI	: Alman Yapay Zekâ Araştırma Merkezi
DVM	: Destek Vektör Makineleri
EP	: Endeks Puanı
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GSR	: Gauss Süreç Regresyonu
I4.0	: Industry 4.0 (Endüstri 4.0)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
İK	: İnsan Kaynakları
IOS	: Iphone Operating System (Iphone İşletim Sistemi)
KOBİ	: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme
LR	: Lineer Regresyon
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MM	: Maturity Model (Olgunluk Modeli)
MSE	: Ortalama Kare Hata
OM	: Olgunluk Modeli
OS	: Operating System (İşletim Sistemi)
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
R^2	: Determinasyon Katsayısı
RA	: Regresyon Ağaçları

RFID : Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)

RI : Random Consistency Index (Rastgele Tutarlılık Endeksi)

RMSE : Kök Ortalama Kare Hata

RTLS : Real Time Location System (Gerçek Zamanlı Konum Takip Sistemleri)



1. GİRİŞ

Endüstri 4.0 ilk defa 2011 yılında Almanya’da düzenlenen bir teknoloji fuarında kavram olarak ortaya atılmıştır. Endüstri 4.0, dijital(sayısal) dönüşüm için Almanya’nın hazırladığı devlet stratejisinin adıdır. Bu kurguya göre sanayide görülen ve devrimsel nitelikteki her dönüşüm Endüstri 1.0, Endüstri 2.0, Endüstri 3.0 ve Endüstri 4.0 olarak evrelere ayrılmıştır. Endüstri 1.0 buhar makinelerinin icadını, Endüstri 2.0 elektrik ve buna dayalı üretimi, Endüstri 3.0 dijital çağın başlamasını ve nihayet Endüstri 4.0 ise tamamen otonom çalışan üretim anlayışını temsil ve sembolize etmektedir. Almanya’dan sonra Amerika Birleşik Devletleri “Amerika Üretiyor Programı” (Philbeck ve Davis, 2018), Çin “Made in China 2025”, Japonya “Toplum 5.0” (Schwab, 2016) ve birçok diğer ülkeler dijital dönüşüm ile ilgili stratejilerini açıklamışlardır.

Türkiye ise “Dijital Türkiye Yol Haritası” adıyla hazırladığı dijital dönüşüm stratejilerini 2018 yılı haziran ayında yayınlamıştır. “Türkiye’nin Sanayi Devrimi: Dijital Türkiye Yol Haritası” ile özellikle dijital dönüşüm için gerekli olan nitelikli iş gücünün yetiştirilmesine vurgu yapılmaktadır. Ayrıca TÜBİTAK tarafından 2016 yılında yayınlanan “Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası” çalışmasında farkındalık ve olgunluk seviyeleri araştırılmıştır (Sarı, 2020).

Endüstri 4.0 otonom üretim kabiliyetini, nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, yapay zekâ, siber-fiziksel sistemler, sensörler, 3D yazıcılar, otonom robotlar ve bulut bilişim gibi gelişen teknolojilerle sağlamaktadır. Bu sayede insanları ve makineleri birbirine bağlayan ağlar, ekipman ve veri alışverişine dayalı etkileşim kurulur. Endüstri 4.0 teknolojilerinin hayatımızda artan önemi ile bir zorunluluk hâline gelen teknolojiye dayalı üretim, işletmelere önemli bir rekabet avantajı sağlamaktadır(Saad ve ark., 2021).

Otonom teknolojiler çok daha rekabetçi ve verimlidir. Bu teknolojiye ayak uyduramayan işletmeler hayatta kalmakta zorlanacaktır. Bugün gördüğümüz pek çok işletme birkaç on yıl içinde bu riskle yüz yüze gelecektir. O hâlde sanayi yeniden büyük bir değişim ve dönüşümün içindedir. Bu değişim sürecinin adı “Endüstri 4.0’a geçiş” olarak ifade edilebilir. Önceki tecrübelerimiz sağlıklı bir geçiş ve dönüşüm sürecinin ancak mevcut durumun anlaşılması ile olabileceğini göstermiştir. Bu aynı zamanda stratejik yönetim anlayışının da bir gereğidir.

İhtiyaç duyulan model ise benzer uygulamalarda olduğu gibi hazırlık ve olgunluk olarak adlandırılan bir ölçüm endeksidir. Görülen bu boşluğu doldurmak üzere bu tez konusuna benzer akademik çalışmalar yapılmış ise de endeks oluşturmada bazı hususların

eksik bırakıldığı ve kullanılan metodolojinin özellikle yerli sanayide pratik edilmediği izlenmiştir(Çınar ve ark., 2021).

Dijital dönüşüm yalnızca sanayide ortaya çıkan bir unsur olmayıp toplumun, devletlerin, ekonominin, eğitimin, vb. topyekûn değişimini öngörmektedir. Bu çalışmada ise bu olgunun yalnızca sanayi kapsamı işlenmiştir.

İçinde bulunduğumuz dönemin öncekilerden farklı bir özelliği de farkında olmamızdır. İlk evrede hiç kimse ardından gelecek dönemleri ve yaşanacakları tahmin etmiyor, buna gerek dahi duymuyordu. Oysa dördüncü sanayi devrimi geniş bir etki uyandırıp etkisini her geçen gün daha da artırmaktadır. Dünya Ekonomik Forumu Başkanı Klaus Schwab bunun önemine vurgu yaparak “ilk sanayi devrimini mekanik üretim, ikinci sanayi devrimini seri üretim ve üçüncü sanayi devrimini bilgisayar ya da dijital devrimdir” diye tanımlamıştır(Schwab, 2016).

Farklı ülkelerde farklı adlarla ve bazı farklı kapsamlarla ortaya konuluyor olsa dahi tüm ülkelerin amacı “Yeni Sanayi Devrimi” diye adlandırılan bu süreçle ilgili stratejilerini ortaya koymak ve ülke olarak bu değişimi zaman kaybetmeden hayata geçirmektir.

İşletmelerin “Sanayi 4.0” sürecinde yapmaları gereken çalışmalar “yol haritaları” ile ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Ancak bir işletme yol haritasını tam olarak belirleyebilmek için öncelikle teşhis çalışmaları yaparak ulaşılmak istenen nokta açısından hazırlık durumlarını ve olası eksiklerini tespit etmesi zorunludur.

İşletmeler, Dördüncü Sanayi Devrimi sırasında Endüstri 4.0'ın ayakta kalabilmesi için hazır olup olmadıklarını değerlendirmelidir(Hanafiah ve ark., 2020). İşletmelerin şiddetli pazar rekabetinde ayakta kalabilmeleri ve verimliliği, esnekliği ve hızı artırabilmeleri için dijitalleşmeye ve teknolojik dönüşüme önem vermeleri gerekmektedir (Rahamaddulla ve ark., 2021). Endüstri 4.0, endüstrinin geleceğini tanımlayan bir vizyondur(Çınar ve ark., 2021). İşbirliği önemlidir çünkü Endüstri 4.0 bir teknolojik devrimdir. Bu nedenle üretici sistemin gerçeğe dönüşmesi için ulusal politikaların desteklenmesi önemlidir. Yapısal zorluklar, şirketler tarafından, özellikle kaynaklara ve araçlara sahip olmayan küçük ve orta ölçekli işletmeler için dijital dönüşümün önündeki engeller olarak görülebilir(Jesus ve Lima, 2020). Endüstri 4.0, performansı ve verimliliği artırabilen gelişmiş teknolojilerin kullanımını öngören kavramsal bir bütündür (Chonsawat ve Sopadang, 2020).

İşletmeler, Endüstri 4.0 seviyelerini belirlemek, ihtiyaçlarını öz değerlendirerek belirlemek, kendilerini rakipleriyle kıyaslamak, plan ve stratejilerini doğru belirlemek için olgunluk modellerine ihtiyaç duyarlar(Kagermann ve ark., 2013).

Hazırlık ve olgunluk endeksi çalışması farklı alanlarda uzmanlaşmış, birden çok uzman danışman tarafından yapılabilir. Ancak yapılacak çalışmalarda bir standart oluşturulmadığından elde edilecek sonuçların doğrulanması ve kıyaslanması mümkün olmayacaktır. Bu nedendir ki bu çalışma ile “Sanayi 4.0 Hazırlık ve Olgunluk Endeksi Modeli” geliştirilmesi ve bilimsel olarak bu modelin geçerlemesinin yapılması hedeflenmiştir.

Alan araştırmasının en önemli gözlemlerinden biri, imalat sanayiinin önündeki bazı önemli engellerden biri de yetişmiş iş gücü eksikliğidir. İşletmelerin finansal yetersizliklerinin yanı sıra Endüstri 4.0 ile ilgili yatırımların geri dönüşünün belirsizliği de Endüstri 4.0'a geçişin önünde çok önemli engeller oluşturuyor. İşletmelerin “Endüstri 4.0” için benimsenmesi gereken prosedürler yol haritalarında yer alıyor. Ancak kapsamlı bir kurumsal yol haritası belirlemek için teşhis çalışmaları ile işletmenin hazırlığı ve hedeflenen başarıların önündeki olası engeller belirlenmelidir. Hazırlık ve olgunluk, farklı alanlarda birkaç uzman danışman tarafından belirlenebilir.

Bu çalışmada sunulan Endüstri 4.0 olgunluk modeli aracılığıyla mevcut modellerin ve araçların genişletilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın sonucunda uygulanan test ve sanayideki bir işletmenin 6 boyut için puanı ve genel puanı çıkarılmaktadır. İşletmenin Endüstri 4.0 geçişte olgunluğu bu endeks sayesinde sayısal bir şekilde ifade edilebilecektir. İşletmelerin zayıf ya da güçlü yönleri belirlenebilecektir.

Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojiler sanayiye köklü bir şekilde değiştirmektedir. Endüstri 4.0 kullanımında ürünün pazara sunma süresinin hızlandırılması ve maliyetlerinin azaltılması gibi pek çok önemli nedenleri vardır.

SANOL olgunluk modeli, işletmelerin dijital dönüşüm olgunluğunu ölçmek için geliştirildi. Altı farklı boyut kullanılarak sağlıklı bir ölçüm yapılmaktadır. Modeldeki boyutların ağırlığını belirlemek için AHP kullanılmıştır.

Geliştirilen SANOL olgunluk modeli boyutları ve alt boyutları belirlenirken kapsamlı bir kaynak araştırması yapılmış ardından uzman görüşleri alınmış ve boyut ağırlıkları geçerliliği için de AHP kullanılmıştır. Modelin uygulanması için oluşturulan anket çok sayıda işletme ile yüz yüze görüşmeler yapılarak sorular sürekli güncellenerek oluşturulmuştur. Anket yanıtlarından yola çıkarak her işletme için toplam puan ve 6 boyut puanı hesaplanmış, her işletmenin Endüstri 4.0'a geçiş olgunluğu puanlamasını sağlayan

model, işletmelerin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca işletmelere aldıkları puanlara göre önemli bazı önerilerde bulunulabilmektedir. Modelin geçerliliği için anket 39 işletmeye yüz yüze veya çevrimiçi uygulanmıştır. Geliştirilen SANOL olgunluk modelinin diğer modellerden farkı değerlendirmede yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutunun ve kurumsal kültür alt boyutunun olmasıdır. Çoğu işletme Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojileri kullanımında kararsızdır. Hükümetin teşvik edici çalışmalarıyla işletmelerin Endüstri 4.0'a geçişleri hızlanacaktır. Hükümetin aldığı bazı kararlar da Endüstri 4.0'a geçişte etkili olmaktadır. Örneğin robotlardan vergi alınması gibi bazı etkenler Endüstri 4.0'a geçişini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutu değerlendirmede önemlidir ve geliştirdiğimiz SANOL olgunluk modelini var olan olgunluk modellerinden ayrıcalıklı kılmaktadır.

Değerlendirmede kullandığımız sorular mevcut modellere göre çok daha kapsamlıdır. Mevcut modellerde sorular için ağırlıklı likert ölçeği kullanılmıştır. Değerlendirme için kullandığımız anket yüz yüze uygulanabildiği gibi aynı zamanda çevrimiçi de uygulanabilmektedir. Korona virüs salgınından dolayı işletmelere çevrimiçi uygulama yapmak daha çok işletmeye ulaşmayı sağlamıştır.

Aynı zamanda işletmeler olgunluk seviyelerini ve olgunluk endeksi puanlarını çevrimiçi uygulamayla kolayca öğrenmektedir. Son yıllarda bilişim alanındaki hızlı gelişmelerle beraber firmaların bu değişime ne ölçüde ayak uydurabildikleri çok önemli bir çalışma alanı olarak ön plana çıkmaktadır. SANOL olgunluk modelinin uygulanmasından sonra işletmeler endeks puanına, her boyut için puanlarına ve olgunluk seviyelerine göre oluşan önerilere göre gerekli adımları atabilirler.

Ayrıca anket yapmanın zaman alması, maliyetlerinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı özellikle sanayi bölgelerinde bulunan çok sayıda işletmenin sanayi olgunluk endeksi değerlendirmelerini daha hızlı, ekonomik ve kolay yapabilmek amacıyla bu çalışmada makine öğreniminin başarısı da araştırılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde, kavramsal arka plan yani sanayi devrimleri yapısı ele alınmıştır. Endüstri 1.0'dan başlayarak günümüze (Endüstri 4.0) gelen süreç ve bu dönemlere ait motor değişimler ve teknolojik gelişmeler incelenmiştir. Çalışmanın 3. bölümünde araştırma yöntemine uygun olarak yapılan kaynak araştırması, literatür taraması yapılmış ayrıca çerçeve tabanlı sağlam bir olgunluk modeli geliştirmek için mevcut olgunluk modelleri detaylı olarak incelenmiştir. Literatür incelendiğinde akademi ile işletmeler arasında köprü oluşturan olgunluk modellerinin hemen hemen olmadığı

görülmüştür. Ayrıca literatürdeki mevcut olgunluk modelleri kapsam, uygunluk, tamlık ve şeffaflık özelliklerine sahip değildir. Bu alandaki boşluğu doldurmak için tüm boyutları kapsayan bir olgunluk modeli ve çerçevesi belirlenmiştir. 4. bölümde ise kullanılan materyal ve araştırma yöntemi irdelenmiş ve araştırmacıların istifadesine sunulmuştur. 5. bölümde araştırmanın sonuçları ve tartışma bulunmaktadır. Araştırmacılar bu bölümde ayrıca özgün bulgular bulabilir. 6. bölümde sonuçlar ve araştırmacılar için öneriler vardır.

Bu çalışma özellikle Endüstri 4.0 konusunda belirli bir farkındalık seviyesindeki işletmeler için kendi hazır olma durumlarını belirleyerek hedefler koyma yol haritası oluşturmadaki rehberi olacaktır.



2. SANAYİ DEVRİMLERİNİN YAPISI

2.1. Devrimler

1700’li yıllarda buhar makinasının icadı sanayinin gelişiminde önemli bir kilometre taşıdır. İnsanoğlunun kas gücünün yerini mekanik kuvvetin almasının ilk evresidir. Ardından 1900’lü yıllarda elektriğin kullanılmaya başlanmasıyla kesintisiz üretim olanaklı hâle gelmiştir. 20. yüzyılın ikinci yarısında elektronik devreler ile üretimde otomasyona geçilmiştir. 21. yüzyılda ise internetin kullanımının artmasına paralel olarak siber fiziksel sistemler de yaygınlaşmıştır(Sarı, 2020). Bunlar sırasıyla endüstrinin 4 önemli evresidir ve şu an içinde bulunduğumuz evrenin adı da Endüstri 4.0 olmuştur.

Sanayi devrimleri arasındaki ilişkiye yönelik ayrıntılı bir çalışma Dünya Ekonomik Forumu Direktörü Nicholas Davis (2016) tarafından yayınlanan bir bildiride yer almaktadır. Çizelge 2.1’de sanayi devrimlerinin başlangıç yılları ve önemli gelişmeleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Sanayi devrimlerinin başlangıç yılları ve önemli gelişmeler (Philbeck ve Davis, 2018)

SANAYİ DEVRİMİ	BAŞLANGIÇ	ÖNEMLİ GELİŞMELER
Birinci Sanayi Devrimi	1784	Su ve Buhar gücü, mekanik üretim tesisleri
İkinci Sanayi Devrimi	1870	İş bölümü, elektrik, seri üretim
Üçüncü Sanayi Devrimi	1969	Elektronik, Bilgi Teknolojisi, Otomatik Üretim
Dördüncü Sanayi Devrimi	2000’ler	Siber Fiziksel Sistemler

İki yüzyıldan fazla süredir insan yaşamında köklü değişimler yaratan sanayi devrimleri 18. yüzyılın ikinci yarısında buhar makinesinin bulunmasıyla İngiltere’de başlamıştır. Tarihteki devrimlerin hiçbiri bu kadar uzun sürmemiştir (Hobsbawm ve ark., 1987). Dolayısıyla sanayi devrimi toplumlarda siyasi ve ekonomik çok önemli değişiklikler yarattığı için insanlık için çok önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Görçün, 2016).

Buhar makinesinin bulunması sonucunda makineleşme yaygın hâle gelmiştir. İngiltere’de başlayan sanayi devrimi kısa sürede Kuzey Avrupa ve Kuzey Amerika’ya sıçramıştır. Ardından tüm Dünya’ya yayılmaya başlamıştır. Yaşamımızda var olan ve yaygın olarak kullandığımız tüm teknolojileri sanayi devrimine borçluyuz. Birinci sanayi

devrimi nasıl köken olarak İngiltere'ye dayanmaktaysa dördüncü sanayi devrimine de Almanya liderlik etmiştir (Görçün, 2016).

Bu bölümde tüm sanayi devrimleri ayrıntılı olarak incelenecektir.

Birinci sanayi devriminde buhar makinesinin kullanıma başlanması bu devrim için karakteristik bir özellik olduğu gibi tüm devrimler için öne çıkan olaylar ve teknolojiler bulunmaktadır.

2.2. Endüstri 1.0'dan 4.0'a Doğru

Endüstri 1.0

Mekanik Üretim Tesislerinin Uygulanması (18. yüzyıl)

- 1712 Buhar Makinesinin Bulunması

Endüstri 2.0

Elektrik ve İş Bölümüne Dayalı Seri Üretime Geçilmesi

- (19. yüzyıl) 1840 Telgraf ve 1880 Telefonun Bulunması
- 1920 Taylorizm (Bilimsel yönetim)

Endüstri 3.0

Üretim Süreçlerinin Otomasyonu (20. yüzyıl)

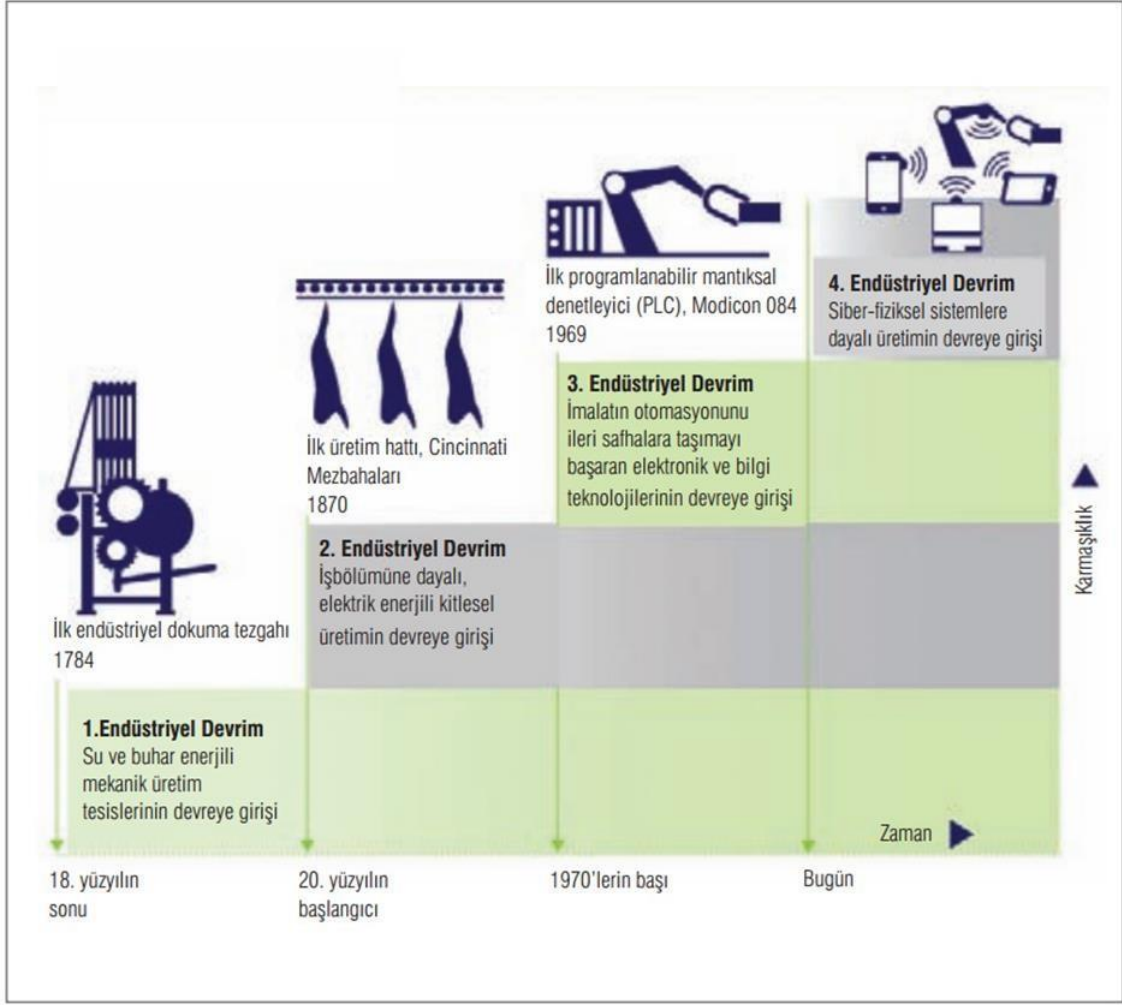
- 1971 İlk kişisel bilgisayar (Altair 8800)
- 1976 Apple I (S. Jobs ve S. Wozniak)

Endüstri 4.0

Otonom Makineler ve Sanal Ortamlar (21. yüzyıl)

- 1988 AutoIDLab. (MIT)
- 2000 Nesnelerin İnterneti
- 2010 Hücresel Taşıma Sistemi
- 2020 Otonom Etkileşim ve Sanallaştırma

Endüstri devrimlerinin tarihsel gelişimi Şekil 2.1'de verilmiştir (Görçün, 2016).



Şekil 2.1. Endüstri'nin tarihsel gelişimi

2.2.1. Endüstri 1.0

Sanayi devrimi 1.0 ya da bir başka deyişle Endüstri 1.0 su ve buhar gücünü kullanarak mekanik üretim sistemlerinin yaygınlaşmasıyla meydana gelmiştir. James Watt'ın buhar gücünü bulması Endüstri 1.0'ın başlangıcı olarak bilinir. Endüstri 1.0 buhar ve kömür enerjisi ile çalışan makinelerin yaygın kullanımıyla özellikle tekstil ve çelik sektörlerinde çok önemli adımlar atıldı.

Buhar gücünün bulunması Endüstri 1.0'ın başlangıcı olarak düşünülüyor olsa bile buhar gücü ile ilgili çalışmalar 1650'li yıllardan başlanılarak 1775 yılında Watt tarafından buhar gücü ile çalışan makinenin bulunmasına kadar devam etmiştir. Dolayısıyla Endüstri 1.0 ya da bir diğer deyişle sanayi devrimi bir anda olmamıştır. Buhar gücünün makinelerde kullanılmaya başlanması yüz yıldan fazla bir zaman almıştır (More, 2002). Buhar gücü ile çalışan ilk makineler önce İngiltere'de kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra tüm ülkelerde kullanılmaya başlanmış ve ardından endüstri devrimi evrensel bir kimliğe bürünmüştür (Görçün, 2016).

Buhar gücünü kullanan makineler öncelikle atölyelerde ve imalathanelerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu vesileyle küçük imalathaneler ve atölyeler fabrikalara dönüşmüştür. Buhar gücünün sanayide kullanımının ardından buhar gücü ile çalışan makinelerden ulaşımda da yararlanılmaya başlanmış ve demir yolu taşımacılığında da bir çığır açılmıştır(Görçün, 2016). Demir yolu taşımacılığında çok önemli gelişmelerin sağlanması beraberinde güvenli ve düşük maliyetli taşımacılığı getirmiştir.

Buhar gücünün bulunması kadar buhar gücünün sanayide ve ulaşımda etkin kullanılması da çok önemliydi. İnsan gücü ile ulaşılamayacak üretim kapasitelerine ulaşıldı. On binlerce insanın toplam üretebileceği güçten çok daha fazlasını bir buhar makinesi tek başına sağlayabiliyordu. Buhar gücü ile çalışan makineler özellikle çelik ve tekstil ürünlerinin üretimine hayal edilemeyecek boyutta katkılar sağladı. Tekstil sanayi buhar gücünün bulunması ve bilinçli kullanılmasıyla sanayi devriminin sembolü olmuştur. Makineleşme sanayi devriminden önce de vardı ancak bu makineler insan gücü kullanılarak çalıştırılıyordu(Görçün, 2016).

Sanayi devriminde fabrikaların artması sonucu kırsal ve kentsel nüfus değişimi de hızlanmıştır. Kentlerdeki fabrikalarda çalışmak için tarımla uğraşan köylüler köylerini terk ederek daha iyi yaşam koşulları nedeniyle kentlere akın etmişlerdir. Tarım alanlarına ve ormanlara yeni fabrikalar kurulmuş bunun sonucunda tarım alanları ve ormanlar yok olmaya başlamış, çevre ve hava kirliliği artmıştır. Şehirlere ihtiyaçtan çok fazla insan gelmiştir. Daha iyi yaşam koşulları için köylerini terk eden köylüler büyük şehirlerde aradıklarını bulamamış, işverenler ekonomik nedenlerle daha az maliyetli çocuk işçiler çalıştırmaya başlamışlardır. Olumsuz koşullar neticesinde işçi mücadeleleri başlamış, sanayi devrimleri sadece ekonomiyi etkilememiş aynı zamanda insan yaşam koşullarında da köklü değişiklikleri beraberinde getirmiştir.

Sanayi devriminin başlaması insan yaşamlarına ve bilime çok önemli katkılar sağlarken beraberine bazı olumsuzlukları da getirmiştir. Sanayi devriminin başlamasıyla bilimsel gelişmeler artmış ve yaşam koşulları iyileşirken öte yandan sömürgecilik ve çevre sorunları da artmıştır. Kentsel nüfusun artması beraberinde pek çok sorunu da getirmiştir.

Sanayi devriminin başlamasıyla sağlık alanında çok önemli gelişmeler kaydedilerek veba sıtma ve humma gibi ölümcül hastalıklar kontrol altına alınmıştır. Halkın refah seviyesi artmış, bilimsel ve teknolojik gelişmelere daha fazla önem verilmiştir. Bu dönemde çok fazla buluş yapılmıştır. Ülkeler arası refah seviyeleri

arasında uçurumlar oluşmuş, bazı ülkeler çok zengin hâle gelirken bazı ülkeler de gelişime ayak uyduramayarak sömürge hâline gelmiştir.

Sanayi devriminin başlaması ulaşım ve haberleşmeye de çok önemli katkılar sağlamıştır. Deniz yolu ve demir yolu taşımacılığı buhar makinelerinin kullanılması sonucu eskiye göre çok daha güvenilir ve ekonomik hâle gelmiştir. Deniz yolu taşımacılığı daha önce rüzgâr ve insan gücüne dayalı olarak sürdürülüyordu. Denizlerin tamamının keşfedilmemesi ve olumsuz hava şartları bu taşımacılığı riskli hâle getiriyordu. Demir yolu taşımacılığında olduğu gibi deniz yolu taşımacılığında da buhar makinelerinin kullanılması deniz yolu taşımacılığını daha güvenli hâle getirmiştir.

Deniz yolu ve demir yolu araçlarında buhar makinelerinin kullanılması bu iki ulaşımı da güvenilir, daha az maliyetli ve daha hızlı hâle getirdi. Bunun sonucunda haberleşmeye yani iletişime çok önemli katkılar sağlandı. Eskiden haberleşmede özel kuryeler ve hayvanlar kullanılıyordu. Haberleşme çok zaman alıyor hatta bazen haber gecikmeden dolayı haber özelliğini kaybediyordu. Çoğu zaman eşkıyalar ya da düşmanlar tarafından kuryeler rehin alınabiliyordu. Ulaşım araçlarında gelişmeler vasıtasıyla haberleşme artık eskisinden çok daha kısa sürede, daha az maliyetle ve güvenilir olarak gerçekleşmeye başladı.

İletişimin güvenilir ve kısa sürede olması için sanayinin gelişmesine paralel olarak Avrupa'nın bazı ülkelerinde posta şirketleri kurulmaya başladı. Amaç bilgiyi alıcısına kısa sürede ve güvenilir biçimde ulaştırmaktı. Genellikle demir yolu ve deniz yolu araçlarından yararlanılıyordu. İlerleyen zamanda bu posta kuruluşları hizmet verecekleri şube sayısını artırarak çok fazla yere hizmet vermeye başladılar.

Endüstri 1.0 döneminde ekonominin büyümesiyle birlikte üretim, tüketim ve tedarik zinciri evrelerinde çok köklü değişiklikler yaşanmış ve buna paralel olarak ekonomi yapısal olarak çok hızlı bir değişime uğramıştır.

Deniz yolu ve demir yolu taşımacılığının gelişimine paralel olarak dış ticaret de önemli ölçüde gelişmiştir. Ticaret sanayi devriminden önce kısıtlı bir bölgede yapılırken sanayi devriminin başlamasıyla birlikte uluslararası ticarete dönüşmüştür. Sanayi devriminin başladığı ülke konumunda olan İngiltere dış ticarete diğer ülkelerle kıyaslanamayacak biçimde ilerleydi. Hatta dış ticarete yön veren ülke konumundaydı (Szostak, 1991).

Sanayi devrimi küreselleşmeyi de tetiklemiştir.

Dönem dönem savaşlar ve ekonomik krizler nedeniyle kesintiye uğrayan küreselleşme sanayi devriminin başlamasıyla ortaya çıkan bir kavramdır. Ülkeler arası

sınırların olmadığı büyük bir pazarın olduğu sermayenin tüm ülkelerdeki tüketicilere rahat erişebildiği ve her insanın tüketici konumunda olduğu bir olgudur. Küreselleşme sanayi devrimi ile başlamış ve sürekli gelişerek devam etmektedir.

Sanayi devriminin etkileri bazı ülkelerde çok hızlı olurken bazı ülkeler sanayi devrimine çok geç tepki vererek sanayi devriminin nimetlerinden çok geç istifade etmişlerdir. Bu ülkelerin sanayi devrimine geç uyum göstermelerinin temel bazı etkenleri vardır. Coğrafi yapıları, gelişmişlik ve eğitim seviyeleri bunların başlıcalarıdır.

Sanayi devrimi eğitim üzerinde de çok önemli katkılar sağlamıştır. Bu dönemde eğitilmiş iş gücü artmış ve önceki dönemlere göre çalışanlar daha yetkin hâle gelmişlerdir. Toplumun her kesiminde özellikle dar gelirli aileler çocukların eğitime çok önem vermeye başlamışlardır. Çünkü eğitilmiş ve yetkin olmayan insanların istihdam edilmemesi endişesi vardı. İnsanlar bu dönemde sürekli olarak kişisel gelişimlerine ve eğitimlerine azami çaba sarf etmişlerdir. Endüstri 2.0 döneminin başında insanların daha önceki dönemlere göre çok daha eğitilmiş oldukları görülmektedir. Kendini yetiştirmeyen insanlar çarkın dışında kalmaktaydı.

Endüstri 1.0 döneminde bilim ve teknoloji alanlarında çok önemli değişimler olmuştur. Ekonomik, siyasal ve toplumsal alanlarda da köklü değişiklikler bu dönemde gerçekleşmiştir. Bu dönemde yapılan bu önemli değişimler Endüstri 2.0 için çok önemli basamaklar oluşturmuştur. Endüstri 2.0 döneminde yapılan buluşlar bir önceki dönemden ilham alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Endüstri 2.0

Endüstri 1.0 devrimine damgasını vuran buharlı makinelerin yerini Endüstri 2.0 döneminde petrol, doğal gaz ve elektrik ile çalışan makineler almıştır. Henry Ford'un montaj hattı bu döneme damgasını vurmuştur. Sanayi devriminin ikinci aşaması 1870 yılından başlayarak I. Dünya Savaşı'nın başladığı 1914 yılına kadar kesintisiz devam etmiş ancak I. Dünya Savaşı 2. sanayi devrimini duraklatmıştır. Berlin Duvarı'nın 1989 yılında yıkılmasına kadar Endüstri 2.0 devam etmiştir. Savaş ve politik nedenlerle dönem dönem kesintiye uğrasa da ortamını bulunca kaldığı yerden süreç devam etmiştir. 2. sanayi devriminde otomobil, uçak gibi araçlar keşfedilmiştir. Petrol ürünlerinin keşfedilmesi, yaygın kullanımı sonucunda kara ve hava araçları kullanımı artmış, bunların etkisiyle de ulaşımda ve sanayide dikkate değer gelişmeler sağlanmıştır.

Bu dönemde artık buhar enerjisi kullanılmamıştır. Petrol, doğal gaz ve elektrik ile çalışan makineler kullanılmaktaydı. Yeni teknolojilerin kullanımı özellikle sanayide

köklü değişimler getirdi. Petrol enerjisinin kullanımıyla birlikte içten yanmalı motorlar kullanılmaya başlandı. Bu motorlar yüksek güç yarattığı için taşıma araçları daha hızlı hareket etmeye başladı. Bu da malın temininin ve pazara sunumunun kısa sürede olması anlamına geliyordu. Ayrıca taşıma araçları kömür ile çalıştığı dönemlerde sık sık yakıt ikmali yapmak durumunda kalıyorlardı. Bu nedenle malın temini ve pazara sunum süreleri çok uzuyordu. Akaryakıtlar taşıma aracında daha az yer kapladığı için sık sık yakıt ikmaline gerek kalmıyordu. Dolayısıyla tedarik ve pazara sunum süreleri yeni dönemde petrol kullanan taşıma araçları sayesinde çok hızlı gerçekleşiyordu.

Bu dönemde buhar enerjisi yerine elektrik enerjisi kullanılarak üretim bantlarının kontrol altına alınması da gerçekleşti. Henry Ford'un geliştirdiği montaj hattı bu dönemin en önemli olgularındandır. Fabrikalardaki üretim aşamaları otomatik ve yarı otomatik olarak kontrol edilebilir biçimdeydi. İşçiler bu yarı otomatik ve otomatik üretim hatlarını isterlerse yavaşlatıp hızlandırabiliyorlardı. Oysa daha önceki dönemlerde kullanılan buhar enerjisi ile çalışan makineleri kontrol altına almak neredeyse imkânsızdı. Üretimde elektriğin kullanılması bu dönemi önceki dönemden ayıran en önemli kavramlardan biridir. Bu sayede üretim bantları otomatik ve yarı otomatik hâle geldi.

Sanayide elektriğin kullanılmasıyla birlikte üretim sistemlerinde de köklü değişiklikler oldu. Üretim sistemleri daha esnek ve kontrol edilebilir olduğu için ihtiyaçlara göre üretimler yapılır hâle geldi. Üretim hattını oluşturan birimlerin her biri ayrı bir üretim birimi olarak kullanılabilir ve alınan siparişlere göre farklı üretim biçimleri ve sistemleri oluşturulabiliyordu.

Eskiden standart siparişler alınıyor ve tek bir hat üzerinde üretim yapılıyordu. Artık fabrikalar aynı anda birden fazla bantta farklı özellikte siparişleri üretebiliyordu. Yeni teknoloji tezgâhlar sayesinde fabrikalarda bir taraftan tek tip sipariş üretilirken diğer yandan farklı türde siparişler üretilabiliyordu.

İki farklı üretim tipi de fabrikalarda mevcuttu. İlki sabit bir hızda durmadan devam eden üretim, ikincisi ise kişiye özel belirli bir düzeni olmayan üretimdir.

Sonuç olarak Endüstri 2.0 elektrik enerjisinin kullanılmasıyla ön plana çıkan bir dönem olarak anılmaktadır. Sanayide elektriğin kullanılması sayesinde tek tip üretim yerine kişiye özel üretim yaygın hâle gelmiştir. Müşterilerin taleplerine göre ürün yelpazesi genişlemiştir.

2.2.3. Endüstri 3.0

Üçüncü sanayi devriminin başlamasında en büyük etken 1960'lı yılların başından başlayarak bilgisayarların yaşamımıza hızlı bir biçimde girmesi ve bunun sonucunda teknolojik gelişmelerin hızlanmasıdır.

1789 yılında gerçekleşen Fransız Devrimi'nden 1989 yılında yıkılan Berlin Duvarı'nın yıkılması arasında tam olarak iki yüz yıl vardır. Fransız Devrimi'nden Berlin Duvarı'nın yıkılmasına kadar olan süreçte dünyada her alanda çok önemli değişiklikler olmuştur. Birey olarak hayatımızda nasıl dönüm noktaları varsa toplumların hayatlarında da dönüm noktaları vardır. Bir dönem biterken yeni bir dönem başlamaktadır. Berlin Duvarı'nın yıkıldığı yıl olan 1989 tarihinde çok önemli bir dönüm noktası olmuştur.

Berlin Duvarı'nın yıkılmasından önceki dönemde devletçi ekonomileri uygulayan ülkeler ve kapitalist ülkeler olmak üzere dünya ikiye ayrılmış durumdaydı. Devletçi ülkelerin ekonomileri dışa açık olmadığı için diğer ülkeler buradan ham madde temini yapamıyor ve ürünlerini bu ülkelere pazarlayamıyorlardı. Kapitalist ülkeler bu nedenlerden dolayı ürünleri ucuza mal edemiyor dolayısıyla rekabet avantajını kullanamıyorlardı.

Devletçi ekonomilerde uyguladıkları sosyal politikalar gereği iş gücü maliyetleri de önemli derecede kapitalist ülkelere göre çok yüksekti. Bu nedenle kapitalist ülkeler bu ülkelerdeki iş güçlerinden yeterince faydalanamıyordu. Hatta kapitalist ülkeler iş gücü ücretlerini artırmak ve çalışanların sosyal haklarını iyileştirmek zorunda kalıyorlardı. Kapitalist ülkeler hem iş gücü hem de pazar yönünden sorunlar yaşıyorlardı.

Berlin Duvarı'nın yıkılması ile başlayan süreçte küreselleşmenin ilk adımları atıldı. Devletçi ekonomi uygulayan ülkeler kapitalist ülkeler ile ham madde, iş gücü ve pazar konularında iş birliği içine girdiler.

Daha önceki dönemlerde haberleşme çok ilkel yöntemlerle yapılıyordu. İletişim için de eski dönemlerde kayda değer bir gelişme olmamıştı. Endüstri 3.0 döneminde haberleşme ve iletişimde de çok önemli gelişmeler oldu. Bilgisayar ve elektronik alanında kelimenin tam anlamıyla devrim yaşanıyor. İnsanlar hazırlıklı hazırlıksız kendilerini bu değişimin içinde buldular. Değişim her alanda kendini gösteriyor ve insanlar kendilerini bu değişime hızlı bir biçimde ayak uydurmak zorunda hissediyorlardı.

Sadece çok büyük kurum ve kuruluşlar tarafından kullanılan kart delgi makinelerinin olduğu büyük bilgisayar sistemleri kullanılıyordu. Bu dönemde IBM'in öncülüğünde kişisel bilgisayarlar yaygınlaştı. Kişisel bilgisayarların çoğalması ile birlikte

evlere ve küçük işletmelere bilgisayarlar girdi. Bu sistemler Microsoft firması tarafından geliştirilen MS-DOS işletim sistemi ile çalışıyordu. Kelime işlemci programı olarak Word-Star, veri tabanı için DBASE, sunum için Harvard Graphics kullanılıyordu. Programlama dili olarak yaygın biçimde BASIC, FORTRAN ve COBOL kullanılıyordu. Ekranları tek renk olan bu sistemleri kullanabilmek için bu programlara hâkim olmak gerekiyordu. Bilgisayarda herhangi bir işlem yapmak için ise programlama dillerini iyi düzeyde bilmek lazımdı. Dolayısıyla herkes bilgisayarlardan yararlanamıyordu. Bilgisayarlar özellikle matematiksel işlemleri çok hızlı ve güvenilir biçimde yapıyordu. Öncelikle sanayide bilgisayarlar hızla kabul gördü. Ticari bazı paket programlar geliştirildi. Bu paket programları kullanabilmek için programlama dili bilmeye gerek yoktu. Kısa süreli kullanıcı eğitimleri ile iş yerlerinde bilgisayarlar kullanılmaya başlandı. Daha sonraki dönemlerde Bill Gates ve arkadaşları tarafından 1985 yılında Windows işletim sistemi piyasaya sürüldü. Windows işletim sistemi MS-DOS işletim sistemine göre çok kolay kullanıma sahipti. Windows ile birlikte ev kullanıcısı sayısında büyük patlamalar yaşandı. Windows işletim sisteminin ilk sürümü Windows 1.0 daha sonra sürekli geliştirildi. Artık hemen hemen piyasaya sürülen her kişisel bilgisayarda kullanımı çok kolay olan Windows işletim sistemi vardı.

Diğer taraftan Steve Jobs arkadaşlarıyla birlikte Apple firmasını kurdu. Apple tarafında kendine özgü işletim sistemi kullanan Macintosh üretildi. Özellikle matbaacılık ve grafik uygulamalarında çok yaygın kullanım alanı buldu. Çok daha önceleri bulunan Mouse (Fare) Macintosh bilgisayarları ile kullanımı yaygın hâle geldi. Bilgisayarları kullanmak artık çok daha kolaydı. Bilgisayar kullanıcı sayısı çığ gibi arttı.

Daha önceleri sadece askerî amaçla kullanılan internet kişisel bilgisayarların ve Bob Metcalfe tarafından Ethernet teknolojisinin gelişimi ile birlikte yaygınlaştı. Ülkemizde de internet kullanımı 12 Nisan 1993 tarihinde ODTÜ'nün öncülüğünde başladı. İnternetin ülkemizde ilk kullanılmaya başlandığı tarih olan 12 Nisan 1993 internetin ülkemizdeki doğum tarihi olarak bilinmektedir. İnterneti ilk başlarda üniversiteler ve bazı kamu kurumları kullanmaya başladı. Daha sonraları işletmelerde ve evlerde de kullanımı hızlı bir biçimde arttı. Ülkemizde ve dünyada internet kullanımı çok yaygın hâle geldi. Salgın sürecinde elimiz, ayağımız her şeyimiz olan internetin temelleri bu dönemde atıldı. En basitinden şu an telefonlarımızda yaptığımız çoğu işlemlerin dayanağı bu dönemdir. Mevcut kullandığımız teknolojilerin hemen hemen hepsi bu dönemden ilham almıştır.

Telefon bir önceki yüzyılda bulunmuştu ancak bu dönemde kullanımı yaygınlaştı. Bu dönemde küresel olarak telefon hatlarının yaygınlaşması ve fiber optik kabloların kullanılması telefon kullanımını çok artırdı. Fiber optik kablolar veri kaybını önüyor ve hızlı iletim sağlıyordu. Fiber optik kablolar haberleşme ve iletişimin yanı sıra veri iletişiminde de verimli bir şekilde kullanılıyordu. Daha sonraları dijital telefonlar yaygınlaştı. Analog telefonlara göre dijital telefonlar daha küçüktü. Daha sonraları cep telefonları yaygınlaştı. Cep telefonları ile ilgili firmalar verici istasyonları gibi gerekli altyapı yatırımları yaptılar.

1989 yılı başlarında Berlin Duvarı'nın yıkılması ile başlayan Endüstri 3.0 dönemi 2011 yılına kadar kesintisiz devam etmiştir. Toplumları ve insan yaşam tarzlarını önemli ölçüde değiştiren çok önemli teknolojik gelişmeler olmuştur. Bu dönemde yapılan teknolojik gelişmeler Endüstri 4.0 için sıçrama tahtası olmuştur.

2.2.4. Endüstri 4.0

Bu dönem, Endüstri 3.0 dönemindeki teknolojik gelişmeleri basamak olarak kullanılarak geliştirilen akıllı robotlar, artırılmış gerçeklik, benzetim (Simülasyon) , bulut bilişim, büyük veri (Big Data) ve analitik, dikey ve yatay sistem entegrasyonu, eklemeli üretim (3D) , nesnelerin interneti, mobil teknolojiler, RFID ve RTLS, siber güvenlik ve yapay zekâ gibi hayatımızda köklü değişiklikler yapan teknolojilerin öne çıktığı bir dönemdir.

Bu teknolojiler sanayide, sağlıkta, ulaşımda, eğitimde, ticarete kısacası toplumun her alanında saymakla bitmeyecek olağanüstü değişiklikler yaptı. Örneğin bir mağaza stok, sipariş ve tedarik sisteminde nesnelerin internetini kullanarak daha az maliyet daha fazla kâr ve daha hızlı hizmeti yakaladı. Perakende satışlarda kötü niyetli kişilerin mallarını yürütmesini engelleniyordu artık. Sağlıkta ise hastalara takılan bir bileklikle hastanın durumu 24 saat izlenebilir hâle geldi. Ulaşımda araç takip sistemi ile araçların nerede olduğu bilgisine erişilebildi. Yapay zekâ sayesinde sürücüsüz araçlar trafiğe çıktı. Eklemeli üretim ile kişiye özel üretimler yapılarak üretimde bir çığır açıldı. Simülasyon programları ile daha az maliyetle can kaybı olmadan tatbikatlar gerçekleştirilebiliyordu. Robotlar kullanılarak özellikle sanayide iş gücü tasarrufu yapılarak işçi maliyetleri düşürüldü. Bu ve buna benzer binlerce örnek verilebilir. Bu teknolojiler hayatımızın her alanına girerek yaşamımızı inanılmaz biçimde kolaylaştırdı ve güzelleştirdi.

Endüstri 4.0 ya da Sanayi 4.0 döneminde yeni teknolojilerin insan iş gücüne daha az ihtiyaç duyacağı ve dolayısıyla işsizliğin artacağı gibi kaygılar hat safhadaydı. Hâlbuki

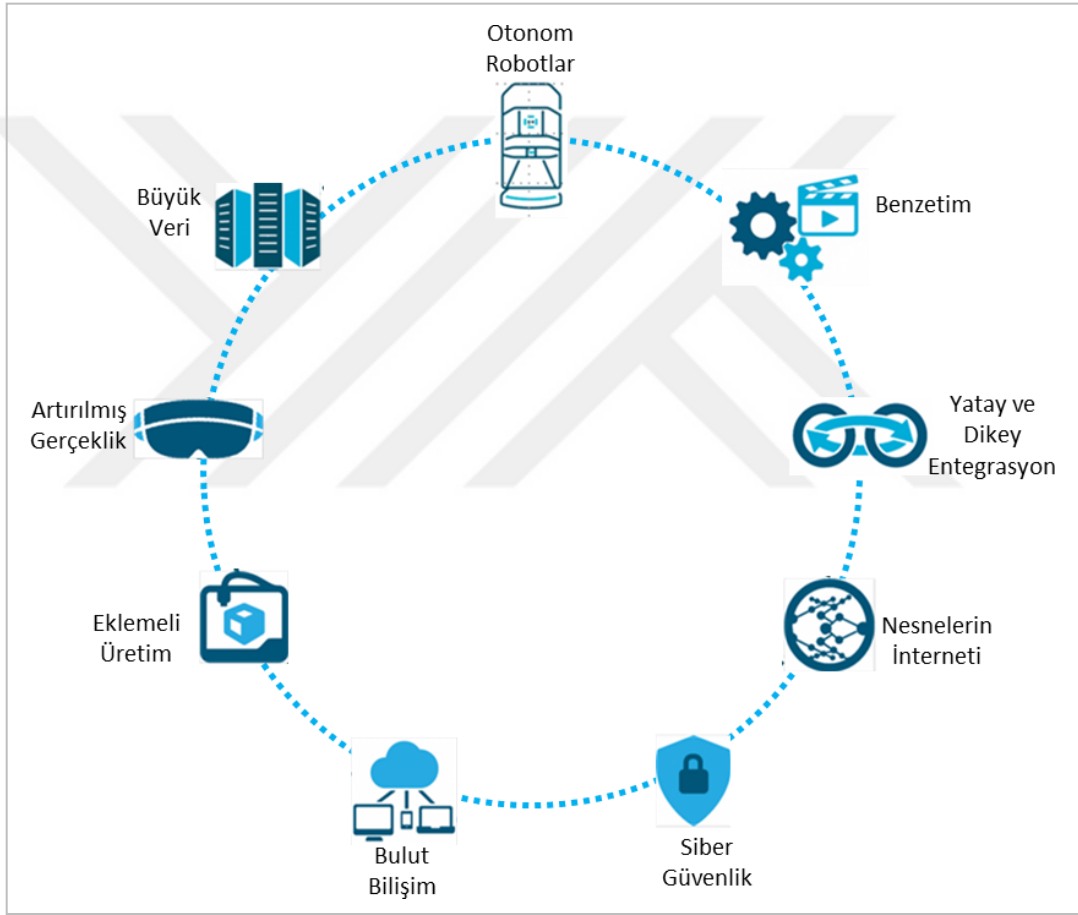
yeni teknolojiler için yeni iş güçlerine ihtiyaç oluştu. İşsizliğin artmadığı gibi aksine yetişmiş iş gücü ihtiyacına gereksinim çok arttı. Geleneksel fabrikalarda çalışanlar işlerini kaybetme korkusunun gereksiz olduğunu zamanla anladılar. Geleneksel fabrikalar dijital dönüşüme ayak uydurmak için ihtiyaç durumunda çalışanları kısa eğitimlere tabi tuttular. Dijital dönüşüm hızlandıkça bu dönemde bazı işler de ortadan kalktı. Dijital dönüşüme her ülkenin tepkisi farklı oldu. Gelişmiş ülkeler çok hızlı dönüşüme girerken az gelişmiş ülkeler ve gelişmemiş ülkeler onları takip etti. Bazı ülkeler dijital dönüşüme geçişi hızlandırmak için yasal düzenlemeler yaptılar. Ülkelerin bir kısmı da dönüşümü kolaylaştırmak için teşvik uyguladılar. Ülke bazında dijital dönüşüm için farklı politikalar gelişti. Bazı ülkelerde robotlardan vergi alınması gündeme gelirken bazı ülkelerde tam aksine robot alımlarında devlet olarak teşvik uyguladılar.

Yaşam tarzımızı değiştiren son sanayi devrimi siyasi devrimler gibi aniden ortaya çıkmamıştır. Daha önceki dönemlerdeki buluşlar ve teknolojik gelişmeler neticesinde zaman içerisinde olgunlaşıp ortaya çıkmıştır. İçinde bulunduğumuz dönemin de daha önceki sanayi devrimleri gibi ne zaman sona ereceğini kestirmek mümkün değildir.

Sanayi 4.0 döneminin başlangıcı 2011 yılında yapılan Almanya Hannover fuarı olarak düşünülür. Almanya hükümetinin alınan kararları resmî olarak benimsemesi Sanayi 4.0 dönemini resmen başlatmıştır. Almanya hükümeti Sanayi Bakanlığı tarafından yapılan çalışmaların uygulanmasını yakından izlemektedir. Bakanlık bünyesinde oluşturulan çalışma grubu Sanayi 4.0 ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında düzenli olarak her yıl ayrıntılı rapor sunmaktadır. Sanayi 4.0 devriminin amacı geleneksel fabrikaları, en az insan gücünün kullanıldığı Sanayi 4.0 ile ilgili teknolojilerin kullanıldığı dijital fabrikalara dönüştürmektir. İnsan etkenini olabildiğince üretimin dışında tutarak insan kaynaklı hatalardan arınmaktır.

Tüm dünyada olduğu gibi yakın bir gelecekte ülkemizde de geleneksel fabrikalar zaman içerisinde Endüstri 4.0 teknolojilerini ihtiyaçlarına göre kullanmaya başlayarak dijital fabrikalara dönüşeceklerdir. Dijital fabrikalara dönüşen fabrikalar geleneksel fabrikalara ilham olmaktadır. Dijitalleşmeyen işletmeler rekabet ortamına ayak uyduramayacakları için zaman içerisinde kapanma durumuyla karşı karşıya kalacaklardır. Yeni teknolojilerin kullanıldığı fabrikalarda daha az insan gücü ile çok daha fazla üretim daha az hatayla yapılmaktadır. Ayrıca birim maliyetler de düşmektedir. Çok basit bir örnek vermek gerekirse gece vardiyalarında çalışan robotlar için aydınlatma gideri yoktur. Tedarik ve teslimat süreleri olabildiğince kısalmıştır.

Endüstri 4.0 ile modüler yapıllı akıllı fabrikalar kapsamında fiziksel işlemleri siber-fiziksel sistemlerle izlemek, fiziksel dünyanın sanal bir kopyasını oluşturmak ve merkezi olmayan kararların verilmesi amaçlanmaktadır. Nesnelerin interneti ile siber-fiziksel sistemler birbirleriyle ve insanlarla gerçek zamanlı olarak iletişime geçip birbirleriyle uyumlu çalışabilecektir. Hizmetlerin interneti ile hem iç hem de çapraz örgütsel hizmetler sunulacak ve değer zincirinin kullanıcıları tarafından değerlendirilecektir. Endüstri 4.0 ile ilgili öne çıkan teknolojiler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Endüstri 4.0'ın yapısı

Endüstri 4.0, 6 ilkeden oluşmaktadır.

1) Karşılıklı Çalışabilirlik: Siber fiziksel sistemlerin yeteneği ile (örn. iş parçası taşıyıcıları, montaj istasyonları ve ürünleri) nesnelerin interneti ve hizmetlerin interneti üzerinden insanların ve dijital işletmelerin birbirleriyle iletişim kurmasını içerir.

2) Sanallaştırma: Bu yapı akıllı fabrikaların sanal bir kopyasıdır. Sistem ve sensör verilerinin sanal tesis ve benzetim modelleri ile bağlanmasıyla oluşur.

3) Özerk Yönetim: Siber-Fiziksel sistemlerin dijital fabrikalarda kendi kararlarını kendilerinin vermesidir.

4) Gerçek-Zamanlı Yeteneği: Verileri toplama ve analiz etme yeteneğidir. Bu yapı anlayışın ivedi bir biçimde yapılmasıdır.

5) Hizmet Oryantasyonu: Hizmetlerin interneti üzerinden siber-fiziksel sistemler, insanlar ve dijital fabrika hizmetleri verilmektedir.

6) Modülerlik: Bireysel modüllerin değişen gereklilikleri için dijital fabrikalara esnek uyarlama sistemi sağlar.

Endüstri 4.0 sistemindeki üretim, makinelerin hizmet verdikleri ve ürünlerle gerçek zamanlı olarak bilgi alıp verdikleri bir sisteme benzetilmektedir. Alman Yapay Zekâ Araştırma Merkezi (DFKI), Siemens'in de bulunduğu 20 endüstriyel ve araştırma ortağının desteğiyle kurulan Almanya, Kaiserslautern'deki küçük bir akıllı fabrikada buna benzer bir sistemin uygulamada nasıl çalışacağını sunmaktadır. Ürünler ile üretim makinelerinin birbirleriyle nasıl iletişim kurabileceklerini göstermek için sabun şişelerinden yararlanılmaktadır. Boş sabun şişelerinin üzerinde radyo frekansı ile tanımlama (RFID) etiketleri vardır ve bu etiketler vasıtasıyla makinelerin şişelerin rengini tanıması sağlanmaktadır. Bu sistem sayesinde bir ürünün radyo sinyalleriyle ilettiği bilgiler, üretimin başından itibaren dijital ortamda saklanmasına imkân vermektedir. Bu biçimde bir siber-fiziksel sistem olarak ortaya çıkmaktadır (DOĞRU ve Meçik, 2018).

2.2.4.1. Endüstri 4.0'ın avantajları

- Üretimde insan emeğinin azalması, dolayısıyla insan hata oranının otomatik olarak aynı paralelde azalması
- Müşteri tarafından talep edildiğinde istisnai ürünler üretmek için üretim hattında maksimum esneklik elde edilmesi
- Üretim sürecinin hızlandırılması
- Üretici ve tüketici arasındaki iletişim kanallarının artırılması
- Sistemin takip edilmesinin ve arızanın bulunmasının kolaylaştırılması
- Sistemlere ve birleşenlerine öz farkındalık kazandırılması
- Sistemin çevre dostu ve kaynak tasarrufu nedeniyle sürdürülebilir olması
- Çok daha fazla verimliliğin sağlanması
- Üretimde esnekliğin artırılması

- Maliyetlerin azaltılması
- Yeni iş ve hizmet modellerinin geliştirilmesi

2.2.4.2. Teknolojik inceleme alanları

Endüstri 4.0 kısaca üretim ve hizmetlerin dijitalleşmesi olarak tanımlanabilir. Farklı görüşler olsa bile yaygın görüşe göre ilk olarak kavramın ortaya çıkması “Endüstri-Bilim Araştırma İttifakının İletişim Teşvikleri Grubu” tarafından 2011 Hannover Fuarında tanıtımı ile olmuştur. Endüstri 4.0 ile ilgili öne çıkan teknolojiler şunlardır (Turisova ve ark., 2020):

- Akıllı Robotlar
- Artırılmış Gerçeklik
- Benzetim (Simülasyon)
- Bulut Bilişim
- Büyük Veri (Big Data) ve Analitik
- Dikey ve Yatay Sistem Entegrasyonu
- Eklemeli Üretim (3D)
- Nesnelerin İnterneti (sensörler dâhil)
- Mobil Teknolojiler
- RFID ve RTLS
- Siber Güvenlik
- Yapay Zekâ

Akıllı Robotlar (Smart Robots)

Çeşitli sektörlerdeki üreticiler, operasyonlarında uzun zamandır robotlardan yararlanmaktadır. Dünyada robot teknolojisi artık hem yetkinliklerini geliştirerek daha otonom, esnek ve iş birliğine yatkın hâle geliyor hem de sahip olma maliyetini düşürür(Rauch ve ark., 2019). İlerleyen dönemde robotlar birbiriyle etkileşimlerini arttıracak, insanlar ile aynı ortamda daha güvenli bir şekilde çalışacak diğer yandan da öğrenme yeteneklerini geliştirecektir(Piccarozzi ve ark., 2018).

Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)

Artırılmış gerçeklik, gerçek dünyadaki çevrenin ve içindekilerin bilgisayar tarafından üretilen ses, görüntü, grafik ve GPS verileriyle zenginleştirilerek oluşturulan canlı, doğrudan veya dolaylı fiziksel görünümüdür. Artırılmış gerçeklik, kullanıcının

fiziksel parçaların üzerine yerleştirilmiş dijital parçaları görmesine müsaade etmektedir (Correia, 2014).

Bu kavram özetle gerçekliğin bilgisayar tarafından işlenmesi ve artırılmasıdır. Kullanıcı, gelişen artırılmış gerçeklik teknolojisinin de yardımıyla etrafındaki bilgi ile etkileşime girebilir. Söz konusu sayısal bilgi işlemeye de uygundur. Bulunulan çevreyle ilgili yapay bilgi ve öğeler gerçek dünyayla bağdaşabilir(Marston ve ark., 2011).

Benzetim (Simulation)

Simülasyon, “Teknik anlamda gerçek bir dünya süreci veya sisteminin işletilmesinin zaman üzerinden taklit edilmesi” olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda simülasyon, sistem nesneleri arasında tanımlanmış ilişkileri içeren sistem ve süreçlerin bir modelidir(Rüßmann ve ark., 2015).

İlk üç sanayi devrimi boyunca fabrikalara ve iş dünyasına giren buhar, elektrik ve bilişim güçlerinden sonra artık benzetim teknolojileri de fabrikalara girmektedir.

Bulut Teknolojisi (Cloud Computing)

Bulut bilişim, Endüstri 4.0’ın temel direklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Wang ve ark., 2016).

Bulut bilişim veya işlevsel anlamıyla çevrimiçi bilgi dağıtımı; bilişim cihazları arasında ortak bilgi paylaşımını sağlayan hizmetlere verilen genel isimdir. Bulut bilişim bu yönüyle bir ürün değil, hizmettir. Temel kaynaktaki yazılım ve bilgilerin paylaşımı sağlanarak, mevcut bilişim hizmetinin bilgisayarlar ve diğer cihazlardan elektrik dağıtıcılarına benzer bir biçimde bilişim ağı üzerinden kullanılmasıdır(Sanders ve ark., 2016).

Büyük Veri – Veri Analitiği (Big Data – Data Analytics)

Büyük Veri “Big Data” zamanla elde edilen, yapılandırılmış ya da yapılandırılmamış yani henüz geleneksel yöntem veya araçlarla işlenerek kullanılabilir hâle getirilmemiş verilerdir. Büyük veri, internet ve diğer unsurlar vasıtasıyla bir araya getirilmiş, dijital forma dönüştürülmüş bilgilerin toplandığı devasa büyüklükte veri tabanlarını tanımlamak için kullanılan bir kavramdır.

Büyük veri, farklı kaynaklardan büyük miktarlarda veri toplama ve analiz etme sürecini destekleyen teknolojilerdir. Bu teknolojiler, büyüklükleri geleneksel olarak bunları depolamak, yönetmek ve analiz etmek için kullanılan araçların kapasitesinin ötesinde olan veri işleme gayesiyle kullanılmaktadır(Berman, 2012). “Büyük veri”

kavramı en anlaşılır ve özetlenmiş biçimiyle bir excel tablosuna sığmayan herhangi bir veri olarak açıklanabilir(Bechtold ve ark., 2014).

Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu (Horizontal and Vertical System Integration)

Günümüzde BT sistemlerinin çoğu tam olarak entegre değildir. Şirketler, tedarikçiler ve müşteriler nadiren birbirlerine uçtan uca bağlıdır. Benzer durum mühendislik tasarım, üretim ve hizmet fonksiyonları için de geçerlidir. Ancak şirket çapında evrensel veri entegrasyon ağları geliştikçe şirketler, birimler ve yetkinlikler birbirleriyle çok daha uyumlu hâle gelecektir.

Yatay entegrasyon tedarikçiler ve müşteriler gibi iş ve iş birliği modellerinde yer alan farklı temsilcilerin entegrasyonunu içermektedir. Dikey entegrasyon ise işletme içi akıllı ürünleri, akıllı lojistik ağları, üretim, pazarlama gibi akıllı operasyonel sistemleri kapsamaktadır(Witkowski, 2017).

Özellikle işletmeyi müşteriye bağlayan veriler paylaşılarak lojistik faaliyetler daha etkili şekle getirilmektedir(Global, 2015).

Entegrasyondan elde edilen ekonomik sonuç, temel olarak üretim sürelerinin azaltılması ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi sonucu işletme maliyetlerinin düşürülmesi olarak görülmektedir(Lorenz ve ark., 2015).

Eklemeli Üretim (Additive Manufacturing)

Eklemeli üretim genellikle üç boyutlu (3D) baskı olarak bilinmektedir (Koch ve ark., 2014). Sanal modellerden başlayarak üç boyutlu nesnelerin katmanlar halinde üretimini ifade etmektedir(Mikko ve Nyman, 2017).

Son yıllarda üretimde kullanılmaya başlayan üç boyutlu (3D) yazıcılar vasıtasıyla plastik veya sıvı reçine gibi belli bir malzemenin üst üste eklenerek üretim yapılması anlamına gelmektedir. Bugüne kadar kullanılan üretim tekniklerine bakılırsa üç başlık altında toplanabilir. Kesme, oyma/çıkarma ve şekillendirme tekniği(Huelsman ve ark., 2016). Bu tekniklerin hem süre hem maliyet açısından belirli zorlukları bulunmaktadır. 3D yazıcılar bu anlamda büyük avantajlar sağlamaktadır. Dijital dönüşüm kapsamında gerek kalıp üretim maliyetini ortadan kaldırması gerek stok tutulmasını verimli hâle getirmesi gerekse de ürün çıkarma süresinin azalması konusuna olan olumlu etkisinden dolayı çok yoğun bir şekilde kullanılması amaçlanmaktadır.

Nesnelerin İnterneti (IoT – Internet Of Things)

Nesnelerin interneti; nesnelerden elde edilen verilerin ağ aracılığıyla başka sistemlere aktarılmasıdır.

Nesnelerin interneti “benzersiz bir şekilde adreslenebilir nesnelerin kendi içlerinde oluşturduğu yaygın bir ağ ve bu ağdaki nesnelerin belirli bir protokol ile birbirleriyle iletişim içinde olmaları” olarak tanımlanmaktadır(Vuksanović Herceg ve ark., 2020). Ayrıca bu kavramı kabaca çeşitli haberleşme protokolleri vasıtasıyla birbirleri ile haberleşen ve birbirine bağlanarak bilgi paylaşarak akıllı bir ağ oluşturmuş aygıtlar sistemi olarak da tanımlamak mümkündür.

Nesnelerin interneti giderek akıllı biçime gelen makinelerin kendilerini ve diğer makineleri otonom bir biçimde harekete geçirmeleri ya da harekete son vermeleri şeklinde gerçekleştirilen süreçlerdir(Facchini ve ark., 2019).

Siber Güvenlik (Cyber Security)

Dijital dönüşüm birbirine bağlantılı ve tamamen dijital teknolojilerle donanmış sistemlerden oluştuğundan güvenli iletişim ve güvenlik çok önemlidir. Bilgi ve veri güvenliğinin hayati önem kazanması bu konudaki çözümlerin de güçlenmesini ve sistemlerin kesinlikle bu çözümleri içermesini zorunlu biçime getirmiştir.

Siber güvenliğin ana işlevi verileri insanların, yazılımların, ürünlerin, hizmetlerin ve işletmelerin, internet teknolojileri ve ağları ile etkileşiminin ortaya çıkardığı karmaşık ekosistem içindeki siber alandan kaynaklanan risklere karşı korumaktır(Bloem ve ark., 2014).

Siber güvenlik dijital dönüşümde öne çıkan teknolojiler arasında en önemlilerden biri olmasına rağmen maalesef gerekli önem gösterilmemektedir. Ancak bir güvenlik zafiyeti yaşandığı zaman gündeme gelmektedir.

Çalışanların siber riskleri azaltmaya yardımcı olacak sorumlulukların farkında olmaları ve bu konuda yeterli beceri, yetkinliğe sahip olmaları gerekmektedir(Rodič, 2017).

RFID ve RTLS

RFID (Radyo Frekans Tanımlama Teknolojisi): RFID kısaca kişiler ve nesneler hakkındaki bilgileri toplayarak insan ihtiyacı olmadan bilgi sistemlerine otomatik olarak aktaran güncel ve yaygınlaşan bir tanımlama sistemidir. Barkodlar, optik karakter

tanıma, manyetik şeritler, akıllı kartlar ve biyometrik tanıma sistemleri kullanılan temel aygıtlardır.

RFID teknolojisi, RFID etiketinden ve bilgisayar sistemine bağlı bir RFID okuyucusundan meydana gelmektedir. RFID etiketi gerçek zamanlı veri toplayan ve toplanan veriyi radyo dalgaları vasıtasıyla ileten kısımdır. Çoğunlukla iki parça olan etiketin içeriğinde mikroçip ve anten bulunmaktadır. Radyo dalgaları mikroçipteki devreleri uyarmakta ve mikroçip dalgaları module ederek anten vasıtasıyla okuyucuya geri göndermektedir. Okuyucuya gelen bilgi sayısal bir biçime dönüştürülerek görüntülenmektedir.

Hemen hemen her alanda bu teknolojiiden yararlanılmaktadır. Örneğin ziraatte ısrının devamlı izlenmesi, sağlıkta hastaların, ilaçların, tıbbi gereçlerin takip edilmesi, kargoculukta kargoların taşıma esnasından teslimata kadar izlenmesi, otomotiv sanayinde üretimin tüm evrelerinde kullanılması vb birçok alanda RFID teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Bu ve bunun gibi yığınlarca örnekler verilebilir.

RFID teknolojisi sayesinde daha fazla bilgi aktarılabilen ve barkod sisteminde olduğu gibi etiketi taraması için doğrudan bir görüş alanına (line-of-sight) ihtiyaç duyulmamaktadır. Tek tek ve çoğunlukla bir kişi tarafından elle taranması gereken barkodların aksine RFID teknolojisi ile çoklu etiketler aynı zamanda ve otomatik olarak okunabilmektedir(Saatçioğlu ve Teknolojisi, 2006).

RTLS: (Real Time Location System) gerçek zamanlı konum takip sistemleri olarak bilinen hemen hemen her alanda iş verimliliğini ve kalitesini arttırmak amacıyla kullanımı hızla artan kablosuz teknoloji çözümleridir.

GPS (küresel konum belirleme sistemi), dış ortamda gerçek zamanlı konum bulma çözümü olarak oldukça başarılı olmasına rağmen, bu başarıyı iç mekanlarda tekrarlamamaktadır. İç mekân izleme sorunlarını çözmek için bir dizi RTLS teknolojisi kullanılmıştır. Günümüzde, işletmelerde gerçek zamanlı konum takip etme uygulamalarının kullanımları hızlı bir biçimde yaygınlaşmaktadır(Kamel Boulos ve Berry, 2012).

Mobil Teknolojiler

Hücreli bir iletişim teknolojisi olan mobil teknoloji, internetin hayatımızın girişinin ardından mobil cihazların da internete bağlanabilme özelliğiyle son yıllarda giderek yaygınlaştı. 2000'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanan bu teknoloji,

özellikle akıllı telefonlarla ivme kazanırken, bizlere pek çok kolaylıklar getirmektedir (Ataman Yenğin, 2016).

Mobil teknoloji için pek çok işletim sistemi bulunmaktadır. Akıllı telefonları düşündüğümüzde öncelikle akla Android, IOS ve Windows Mobile gelmekte. Bunların arasında kuşkusuz en yaygın olarak Android ile IOS kullanılmaktadır.

Yapay Zekâ

Yapay zekâ, bilgisayarlara ve robotlara kısaca makinalara insan zekâsını aktararak insanların yapabildiği işleri yapmasını sağlamaktır. Yapay zekâ fikrini ilk ortaya atan kişi ünlü İngiliz mantık ve matematikçisi Alan Turing'dir(PİRİM, 2006).

Yapay zekâ, normal bir insanın zekâsını gerektiren işlevleri yapabilecek makineler geliştirmektir. Amaç robotlar, bilgisayarlar gibi makinelere öğrenme ve anlama yeteneği yüklemektir (Aydın ve Demiral, 2019). Tipik insan davranışı sergileyebilen bu makineler karışık ve zıt mesajlardan anlam çıkarabilir, problem çözümünde kıyaslama yeteneği kullanabilir, bilgiyi anlar, yeni bir duruma karşı başarılı ve hızlı bir biçimde yanıt verebilir, alışık olunmayan, şaşırtıcı durumların üstesinden gelebilir. Örneğin, Çin'de Yapay Zekâ Yargıç (Al Judge) adı verilen bir modül geliştirilerek internet ortamında tasarlanan bir arayüzle birlikte vatandaşlarla iletişime geçen ve onların dava başvuruları ile işlemlerini yürüten bir yargıç oluşturulmuştur(Haber, 2019).

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Olgunluk modelleri, hedeflenene ulaşmaya yönelik aşamalar hâlinde şekillendirilmiş evrimsel bir yol olarak açıklanmaktadır. Bu yol, mükemmelliğe ulaşılması için mevcut yeteneklerin yeniden düzenlenmesi, yeniden yapılandırılması ve yenilenmesi için kılavuz görevindedir(Finance, 2015).

İşletmeler büyüyen pazar koşullarından dolayı rekabete maruz kalmakta ve sürekli değişen piyasa koşullarına göre gelişmek için baskı altındadır. Olgunluk modelleri bu koşullar altında bir değişim süreci başlatarak işletmelerde dönüşüm ve yenilenen yetkinliklere katkıda bulunabilmek amacıyla gelişime yönelik rehberlik etmektedir.

Olgunluk modelleri, köklü dönüşüm hareketleri için bir düzen sağlayıcı görevindedir. Dijitalleşme de işletmelerin evrimini gerektirecek bir dönüşümdür. Dijitalleşmenin ve özellikle Endüstri 4.0'ın dönüşüm etkileri son yıllarda oldukça belirgin hâle gelmiştir.

Endüstri 4.0'a ilgi artmasına rağmen Endüstri 4.0 ile ilgili rehberlik eksikliği, algılama yetersizliği, Endüstri 4.0'ın faydaları ve maliyetleri hakkında belirsizlik ve işletmelerin Endüstri 4.0 düzeyinin yeterli bir endeks ile değerlendirilmediği gözlenmektedir.

Günümüzde neredeyse tüm işletmeler Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojiler kullandığından veya bu teknolojiler yardımıyla üretim kapasitesinin artırılması hedeflendiğinden olgunluk modelleri ve işletmelerin Endüstri 4.0 olgunluğunun değerlendirilmesi hayati önem arz etmektedir.

Mevcut olgunluk ve hazırlık modellerinin gözden geçirilmesi, boyutların sayısının 3 ile 13 arasında değiştiğini ortaya çıkardı. Sınırlı sayıda boyut, sağlam bir analiz yapılmasını engellemektedir. Ancak boyutların az olması bazı sektörlerde ve özel durumlarda sorun teşkil etmemektedir. İnceleme, boyut adlarının farklı olmasına rağmen analizde aynı amaca hizmet ettiğini göstermiştir. Örneğin, çalışanlar veya bireyler aynı boyuta atıfta bulunur. Hemen hemen tüm modeller farklı isimler altında Teknoloji, insan, strateji, liderlik, süreçler ve yenilik boyutlarını içerir.

Mevcut olgunluk ve hazırlık modelleri incelendiğinde işletmenin olgunluk seviyesi de 4 ile 6 arasında değişmektedir.

Geliştirdiğimiz SANOL olgunluk modeli mevcut modellerdeki eksiklikleri gidererek özellikle sanayideki işletmeler için geliştirilmiştir. Modelimiz çok sayıda işletmeye uygulanarak geçerliliği sağlanmıştır.

Geliştirdiğimiz SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modelinde toplam 6 boyut bulunmaktadır. Teknoloji boyutu dışındaki tüm boyutlar iki alt boyutun birleşmesinden oluşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında modelimiz 11 boyuttan oluşmakta diye düşünülebilir.

Boyutlarımız Strateji ve Yönetim, Müşteriler ve Tedarikçiler, Çalışanlar ve Kurumsal Kültür, Teknoloji, Veri ve Güvenlik, Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma.

Dördüncü sanayi devrimi ve beraberindeki dijital dönüşüm, son yıllarda çarpıcı bir şekilde ilerledi. Çoğunlukla Endüstri 4.0 olarak bilinen yeni dijital devrim, işletmelerin ve kuruluşların küreselleşen bir dünyada faaliyet gösterme biçiminde etkileyici değişiklikler getirir ve bir toplumun yaşam tarzını kökten değiştirir. Bu nedenle, Endüstri 4.0 bağlamında şirketlerin mevcut yetkinliklerinin tespit edilmesi büyük önem arz etmektedir.

“Endüstri 4.0” terimi, genel olarak, üretimin dijital dönüşümünü ve ilgili endüstrilerin imalatını ve değer yaratma süreçlerini ortaya çıkaran Dördüncü Sanayi Devrimi ile birbirinin yerine kullanılmıştır.

Endüstri 4.0 devrimi akıllı üretim sunar, sistematik olarak üretim teknolojisini ve gelişmiş operasyon yönetimini birleştirir. Bu yüksek durum stratejilerini benimsemek üretim verimliliğini artırabilir, enerji tüketimini azaltabilir ve üretici maliyetlerini azaltabilir. Aynı zamanda, ekonomik büyüme ve kalkınmanın temel taşlarından küçük ve orta ölçekli işletmelere (KOBİ) çok önemli katkılar sağlayabilir(Chonsawat ve Sopadang, 2020).

Endüstri 4.0 kavramlarının, faydalarının ve avantajlarının temel olarak anlaşılabilmesi, bunun şirketler ve işletmeler tarafından benimsenmesinin önündeki ana engeller arasında sayılmaktadır(Da Silva ve ark., 2020; Horváth ve Szabó, 2019; Rauch ve ark., 2019). Dijital dönüşümü hedefleyen şirketlerin kurumsal operasyonlarda ve süreçlerde değişiklik yapmaya hazır olması ve bu nedenle güçlü yeteneklere sahip olması gerekir.

Endüstri 4.0 hazırlığı, kuruluşların Endüstri 4.0 teknolojilerinden yararlanma derecesi olarak tanımlanmaktadır (Stentoft ve ark., 2019). Diğer bir deyişle Endüstri 4.0 hazırlığı Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmaya hazırlanan şirketlerle ilgilidir(Schwab, 2021; Vazire, 2018). Dijital dönüşüm, kuruluşların yazılım ve donanım yönünü de değiştirmektedir(Haber ve ark., 2015; Wank ve ark., 2016).

Daha iyi performans gösterebilmek için endüstri ve akademi, kuruluşların Endüstri 4.0'a hazır olma durumunu değerlendirebilecek öz değerlendirme modellerini geliştirmek için sürekli girişimlerde bulunur. Endüstri 4.0 hazırlığına ulaşmak, günümüzde işletmelerin hem çok büyük hem de acil ihtiyacıdır(Schaupp ve ark., 2017). Endüstri 4.0 hazırlık modellerinin belirlenmesi, şirketlerin dijital dönüşüm sürecindeki emsalleri ve öncülleri daha sonra kurumsal dönüşüme yol açabilecek şekilde ölçmesine olanak sağlayacağından, modellere önemli ölçüde ihtiyaç duyulmaktadır. Etkiler açısından, politika yapıcılarının ve karar alıcılarının ne zaman ve nasıl müdahale edeceklerine karar vermelerini sağlayacak ve dijitalleşmenin başarısının nasıl ölçüleceğini belirleyecektir. Dijital dönüşüm, iyi ele alınmazsa, dijitalleşmeye yeterli önemi göstermeyen şirketlerin piyasadan silineceği gerçeği ile karşı karşıya kalınacaktır (Canetta ve ark., 2018; Ivanov ve ark., 2019).

Bu nedenle Endüstri 4.0'a hazırlık konusunda başarılı bir biçimde uzmanlaşmak için akademik ve endüstri araştırmacıları son yıllarda birçok Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modeli geliştirdiler. Bu bölümde, önce mevcut endüstriye hazırlık ve olgunluk modellerinin genişliğini ve derinliğini araştırmak ve ardından bu modellerden en yaygın boyutları belirlemek için sistematik bir kaynak araştırması yapmak amaçlanmaktadır

Olgunluk modelleri, şirketlerin istenilen duruma ulaşması için gerekli olan somut birtakım yetenekleri ölçme ve değerlendirme araçlarıdır(Schumacher ve ark., 2016). Olgunluk şirketin hedeflerine ulaşmak için tüm yeteneklere sahip olması için ayrı olgunluk seviyeleriyle temsil edilen mantıksal yol olarak tasarlanmıştır. Bu modellerin, her bir olgunluk aşaması tarafından özel olarak tanımlanan olgunlaşma sürecine başlamadan önce düzeltilmesi gereken mevcut organizasyonel eksiklikleri ortaya çıkarması beklenmektedir. Ayrıca geliştirme yolu boyunca farklı zaman noktalarında şirketin ilerleme durumunu karşılaştırmak ve diğer piyasa oyuncularıyla ilgili performans farkını belirlemek için kıyaslama yapmak için kullanılabilir(Pessl ve ark., 2017).

Olgunluk modelleri; boyutlar, ölçüm kriterleri, olgunluk seviyeleri, metodoloji vb. bakımından farklılık gösterir(Dikhanbayeva ve ark., 2020).

- Hazırlık değerlendirmeleri, bir kuruluşun koşullar, tutumlar ve kaynaklar açısından hazırlık düzeyini belirlemeyi amaçlayan değerlendirme ve analiz araçlarıdır.
- Olgunluk modelleri, kuruluşların kültür, süreçler, kaynaklar vb. gibi belirli boyutlarda beklenen becerileri sürekli iyileştirme süreçleri aracılığıyla elde etmelerine yardımcı olan modellerdir.

- Yol haritaları, kısa ve uzun vadeli hedeflerle bu hedeflere ulaşılmasına yardımcı olacak belirli teknoloji çözümlerini eşleştiren planlardır.
- Çerçeveler, bir kurumsal mimarinin veya bir sistemin tasarımına odaklanan prosedürler, yöntemler ve araçlar topluluğudur(Jesus ve Lima, 2020).

Bu bölümün yanıtlamayı amaçladığı sorular şunlardır:

1. Literatürde tanımlanan hazırlık ve olgunluk modelleri arasındaki temel farklar nelerdir?

2. Bir hazırlık ve olgunluk modelinin seçimi veya geliştirilmesi için hangi faktörler benimsenmelidir?

Olgunluk değerlendirmesi talebini ele almanın başka bir yolu, belirli bir koşulu karşılayacak bir model oluşturmayı seçmektir. Bu gibi durumlarda mevcut bir modeli referans olarak kullanmak yaygındır

Bir işletmenin Sanayi 4.0 bilincini ve hazırlığını anlamak için anket ve analizlere ihtiyaç vardır. Bu nedenle bir ülkenin veya kuruluşun Endüstri 4.0'a hazır olup olmadığını gözlemlemek için olgunluk modeli metodolojisi kullanılabilir. Genel olarak olgunluk, tamamlanmış, ideal veya hazır olma durumu olarak tanımlanır(Simpson, 1989). Olgunluk modelleri (OM'ler), bir sürecin veya organizasyonun olgunluğunu gösteren bir yöntem olarak yaygın olarak kullanılır. Olgunluk, ayrı ayrı veya sürekli, niteliksel veya niceliksel olarak ölçülebilir(Kohlegger ve ark., 2009).

Kapsamlı rehberlik sağlama ve bir yol haritası sunma yöntemi, çerçeveler veya OM'ler gibi organizasyonel yaklaşımlardır(Gökalp ve ark., 2017). OM, sistemin mevcut etkinliğinin bir değerlendirmesini sağlayan bir araçtır. Başka bir deyişle, OM'ler, bir sistemin etkinliğinin seviyesini Endüstri 4.0 teknolojileri bağlamında tanımlamak için kullanılır. Buna göre, sistemin olgunluk derecesi arttıkça işletmenin olgunlaşmasına katkıda bulunan çeşitli özelliklerde daha iyi ilerleme gerçekleşmektedir. OM seviyeleri ve boyutları, bir sistemin olgunluk derecesini tanımlamak için kullanılır.

İncelenen tüm olgunluk modellerinin bazı ortak özellikleri ve ortak bir amacı olmakla birlikte, seviyelerin ve boyutların tanımına ve sayısına göre yaklaşımlarında bazı benzersizlikleri vardır. Eşsiz sosyal ve kültürel zorlukları ve kısıtlamaları nedeniyle Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin değerlendirilmesi için özel bir OM'ye acilen ihtiyaç duyulmaktadır. Önerilen ve geliştirilen SANOL OM, farklı sektördeki, farklı büyüklükteki ve farklı ülkelerdeki işletmeler için rahatlıkla uygulanabilir.

Teknolojik ilerlemeye ayak uyduran KOBİ'lerin hayatta kalma şansı çok daha iyi olacak ve teknolojik ilerlemeyi benimsemeyenler ise zaman içinde yok olacaklardır (Hanadi ve Aruna, 2013; Oyeku ve ark., 2014; Rahman ve ark., 2016). Hazırlık değerlendirmeleri veya kendi kendine hazırlık değerlendirmeleri, KOBİ'lerin kendi açık alanlarında olgunluk kazanmalarına ve doğru yönde hareket etmelerine yardımcı olmak için yol gösterici bir model olarak kullanılabilir. Erol ve ark.(2016)'na göre, mevcut hazırlık değerlendirme modelleri, KOBİ'lerinkinden ziyade çok büyük şirketlerin gereksinimlerine göre uygundur. Hazırlık değerlendirme endeksleri çok karmaşık olmamalı ve KOBİ'lerin değerlendirme ayrıntılarını anlamalarını sağlamak için açık olmalıdır(Wiesner ve ark., 2018). Başarılı bir dönüşüme sorunsuz bir geçiş sağlamak için uygun bir dönüşüm planına ve hazır olma endekslerinin ölçülmesine ihtiyaç vardır. Kullanıcı kabulünü anlamak, hazır olup olmadığını belirlemede ilk kritik adım olmaya devam etmektedir(Lin ve Chang, 2011). Hazırlık değerlendirmeleri tipik olarak dönüşüm yolculuğuna başlamadan önce yapılır, bunu değerlendirmek için kullanılan olgunluk modeli ise benimseme sürecindeki ilerlemeyi ifade eder(Schumacher ve ark., 2016). Bugüne kadar, referans için birçok iyi bilinen hazırlık ve olgunluk modeli vardır (Rahamaddulla ve ark., 2021).

Hazırlık ve olgunluk modelleri artan bir eğilim göstermektedir ve her model benzersiz boyutlar ve ölçüm kriterleri sunar. Bu alanda standart ve tam olarak kabul edilmiş bir model olmadığı için, bir araştırma boşluğunun kanıtı açıkça gözlenmektedir (Akdil ve ark., 2018; Erol, Jäger, ve ark., 2016; Gökalp ve ark., 2017; Sony ve Naik, 2019).

Basl'e (2019) göre, hazırlık ve olgunluk modeli, organizasyonun iyileştirilmesi gereken alanlarda tavsiyelerde bulunmanın yanı sıra hızlı kararlar almasına da yardımcı olur. Olgunluk "tam, mükemmel veya hazır olma durumu"nu ifade ederken(Schumacher ve ark., 2016; Wiesner ve ark., 2018) hazır olma durumu genellikle bir şeye hazırlıklı olma durumu olarak tanımlanır. Bugüne kadar, akademisyenler, devlet kurumları, özel kuruluşlar ve ayrıca danışmanlık firmaları tarafından çeşitli değerlendirme modelleri önerildi (Canetta ve ark., 2018; De Carolis ve ark., 2017; Sheen ve Yang, 2018).

Bu bölümde, herhangi bir alan ve sektör gözetmeksizin çok fazla hazırlık ve olgunluk modeli incelenmiştir. Tüm bu modeller, kapsamaları ve metodolojileri açısından farklı boyutlar, karmaşıklıklar ve derinlikler sunar. Bu, olgunluk ve hazır olma modellerinin geliştirilmesinde hiçbir standart üzerinde anlaşmaya varılmadığının bir kez

daha kanıttır. Yaygın olarak kullanılan modeller ve araçlar aşağıda ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

3.1. Olgunluk ve Hazırlık Modelleri

Bir kuruluşun Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseme olgunluğunun değerlendirilmesi açısından modellerin yeterliliğini belirlemek ve OM'lerin üstün ve zayıf yönlerini belirlemek için literatürdeki mevcut OM'lerin bulunması amaçlanmıştır.

Connected Enterprise MM (Automation, 2014): Connected Enterprise MM beş olgunluk düzeyinde değerlendirildi ancak modelin OM boyutları belirtilmemiştir, bu nedenle OM boyutları veya OM ögeleri hakkında bilgi bulunmamaktadır.

Diğer adıyla Rockwell Automation (2014), “The Connected Enterprise Maturity Model” bilgi teknolojisi hazırlığına daha fazla odaklanan bu model, dört boyut içerir (bilgi altyapısı, kontrol cihazları, ağlar ve güvenlik politikaları). Bu modelin beş olgunluk ölçü seviyesi bulunmaktadır. Model hakkında çok fazla ayrıntı yayınlanmamıştır. Bu modelde, küçük-orta ölçekli işletmelerin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyini arşivlemek için iş birliği yapması gerektiği öne sürülür. Bu, tüm KOBİ'lerin eşleşebileceği açık bir noktadır. Rockwell modeli, küçük-orta ölçekli işletmelerin daha az katılımına yol açabilecek ölçüm boyutuna ileri üretim teknolojisini önerir. Bu değerlendirme aracı, kullanıcıya daha fazla karar vermesi için geliştirme ve ayrıntı süreci hakkında daha az bilgi verir.

Özetle model, teknolojiyi Endüstri 4.0'ın ana sağlayıcısı olarak sunar ve büyük işletmelere odaklanır. Dört boyuttan oluşmakta ancak boyutları ve oluşturma süreci ile ilgili hiçbir bilgi verilmemiştir. İşletmenin değerlendirilmesi için 5 aşamalı bir eylem planı sunulur.

IMPULS (2015) : “IMPULS-Industrie 4.0 Readiness”. Bu model, en kapsamlı ve iyi temellendirilmiş hazır olma modellerinden biri olarak kabul edilir. Değerlendirme için altı boyuttan oluşur: Bilgi Teknolojisi, Organizasyon stratejisi, Veri Yönetimi, Fabrika, Çalışan ve Ürün. Bu değerlendirme, 0 - başlamamış, 1 - başlangıç, 2 - orta, 3 - deneyimli, 4 - uzman ve 5 - en iyi performans ile başlayan altı hazırlık seviyesinden oluşur. IMPULS hazırlık değerlendirmesi, özellikle imalat ve mühendislik endüstrilerinin hazırlık düzeyini ölçmek için en uygun olanıdır. Bu Endüstri 4.0 hazırlık modeli, Endüstri 4.0 yolculuğuna çıkmayı planlayan orta ve büyük ölçekli işletmelere uygun, çevrimiçi, kendi kendini değerlendiren bir hazırlık modelidir(Lichtblau, 2015).

Olgunluk düzeyi, rakip şirketlerin olgunluk aşamasından etkilenir. Diğer bir deyişle, aynı pazardaki diğer işletmeler ankete dâhil olmuşsa pazarın olgunluk aşaması değerlendirilir, aksi takdirde dikkate alınmazlar.

Makine ve tesis mühendisliği alanındaki firmaların Endüstri 4.0 konseptini uygulama istek ve yeteneklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Her seviye için bir açıklama ile 6 boyut ve 6 olgunluk seviyesinden oluşur. Değerlendirme anketinde 24 soru vardır ve çevrimiçi değerlendirme mevcuttur. Değerlendirmeden sonra, her boyut için mevcut seviyenin nasıl iyileştirileceğine dair rehberlikle birlikte ayrıntılı bir rapor sunulur.

RAMI 4.0 (Hankel ve Rexroth, 2015): RAMI modelinin altı düzeyi vardır: iş, işlevsel, bilgi, iletişim, entegrasyon ve varlıklar. Ayrıca RAMI modelinin yedi boyutu vardır : ürün, saha cihazı, kontrol cihazı, istasyon, iş merkezleri, kuruluş ve bağlantılı dünya. Bu model, sistemin olgunluğunu değerlendirmek ve Endüstri 4.0 entegrasyonunu tamamlamak ve eyleme geçmek için kullanılır.

RAMI, geleneksel OM'lerden farklıdır ve şirketlerin olgunluk düzeyini Endüstri 4.0'a doğru değerlendirmeyi amaçlamaz. Bunun yerine, Endüstri 4.0 konularının nasıl yapılandırılacağını gösteren ve tüm paydaşları içeren bir harita formatındadır. Ayrıca bir katmanda sunulan tüm BT birleşenlerini ve yaşam döngüsü modelini içerir. RAMI, kuruluşları Endüstri 4.0'ı uygulamaya iten temel bir model olarak bilinir.

Digital Maturity and Transformation MM (Back ve ark., 2015): Değerlendirme dokuz boyut içermektedir ancak seviyeler ve maddeler hakkında bilgi bulunmamaktadır. Modelin yapısı araştırmalarında sunulmamıştır.

I4.0 Reifegradmodell MM (Jodlbauer ve Schagerl, 2016): Bu olgunluk değerlendirmesinde belirtilen üç boyut ve on düzey vardır. Bu olgunluk modelinin boyutları, değerlendirme seviyeleri ve gelişimi için herhangi bir ayrıntı verilmemiştir. Model henüz tamamlanmamıştır.

Empowerment and Implementation Strategies for I4.0 MM (Lanza ve ark., 2016): Bir şirketin olgunluk değerlendirmesi, Endüstri 4.0 devriminin analizinin sınırlı bir bölümüdür. Olgunluk modelinin bileşimi veya boyutları ile ilgili tam açıklamalar mevcut değildir.

A Categorical Framework of Manufacturing for I4.0 (Qin ve ark., 2016): Bu beş seviyeyi içeren dördüncü sanayi devrimi ihtiyacını belirlemek için önerilen bir çerçevedir: bağlantı, dönüştürme, siber, bilişim ve konfigürasyon. Boyutlar şu şekilde tanımlanır: fabrika, işletme, ürünler ve müşteriler. Ancak değerlendirme ve boyutlar hakkında ayrıntı yoktur.

Qin, Liu ve Grosvenor (Qin ve ark., 2016) “A framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond”: Bu model, tek istasyonlu otomatik hücre, otomatikleştirilmiş montaj sistemi, esnek imalat sistemi, bilgisayarla bütünleşik imalat ve yeniden yapılandırılabilir, imalat sistemi olmak üzere beş boyutta olgunluğu ölçen kendi kendini değerlendiren bir araçtır. Tüm bu boyutlar, bir olgunluk geçişinin 11 seviyesi ile ilişkilidir. Bu model, karşılaştırma amaçlı bir yöntem kullanarak mevcut durumlarının ve boşluklarının değerlendirilmiş bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Küçük şirketler genellikle yukarıda bahsedilen bu boyutlardan ikiden fazlasına sahip olmadığı için, bu model çoğu KOBİ’ler için karmaşık olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla, bu model büyük şirketler için kullanılabilir.

I4.0/Digital Operations Self-Assessment (Geissbauer ve ark., 2016): Bu, özellikle I4.0 için dijital hazırlığa özel önem veren, I4.0 hazırlığı için çevrimiçi bir öz değerlendirme tabanlı OM’dır. Model altı boyuta sahiptir. Boyutlar ve değerlendirme seviyeleri, çalışmalarında verilmiyor ve kullanıcılarla paylaşılmıyor.

SIMMI 4.0 (Leyh ve ark., 2016): İşletmenin olgunluğunu değerlendirmek için olgunluğun yazılım ve teknolojik yönleri dikkate alınır. Organizasyonel (şirket vizyonu ve çalışanları gibi) ve çevresel (pazar yapısı ve rakipler gibi) yönler modelde dikkate alınmaz.

System Integration Maturity Model Industry 4.0 çoğunlukla endüstriyel internet olgunluğunu değerlendirmeye odaklanır. Dikey entegrasyon, yatay entegrasyon, dijital ürün geliştirme ve 3D teknoloji kriterlerinin tümü model boyutuna dahil edilmiştir. Bu model, seviye 1’den (temel dijitalleşme seviyesi) seviye 5’e (optimize edilmiş tam dijitalleşme) kadar beş olgunluk seviyesi içerir.

Kuruluşları bir bütün olarak Endüstri 4.0’a yönelik değerlendirmeye değil, BT kapasitesini değerlendirmeye odaklanır. Dört boyut ve 5 olgunluk seviyesi bulunur. Son seviyenin değerlendirme yöntemleri ile birlikte beş bölüme ayrılmış on beş sorudan oluşur.

An MM for Assessing I4.0 Readiness and MM (Schumacher ve ark., 2016): Bu OM, değerlendirme için dokuz boyut önerir; boyutlar liderlik, kültür, teknoloji, strateji, müşteri, ürünler, insanlar, operasyonlar ve yönetim. Değerlendirme yöntemi, Likert ölçekli derecelendirme metodolojisine dayanmaktadır. Bu modelin avantajı, olgunluk düzeyi değerlendirmesi için kullanımının kolay olması, ancak herhangi bir ek ayrıntı olmadan yalnızca ortalama bir sıralama önermesidir.

ACATECH I4.0 Maturity Index (Schuh ve ark., 2017): Bu modelde değere dayalı geliştirme aşamaları sunulur ve boyutlar bilgisayarlaşma, bağlanabilirlik, görünürlük, şeffaflık, tahmin kapasitesi ve uyarlanabilirlik olarak tanımlanır. Ancak boyutlar veya seviyeler hakkında hiçbir ayrıntı yoktur.

İmalat işletmelerine odaklanan bu model kuruluşların Endüstri 4.0 uygulaması için kendi stratejilerini geliştirmeleri için bir rehber olmayı hedefler. 6 boyut ve beş olgunluk seviyesinden oluşan model değerlendirme için 77 sorudan oluşan bir anket kullanmaktadır. Model kamuya açık değildir.

SPICE-based MM (Gökalp ve ark., 2017): SPICE tabanlı Endüstri 4.0 OM, bir sistemin olgunluğunu Endüstri 4.0 açısından değerlendirmek için önerildi. Bu modelin altı seviyesi vardır: tamamlanmamış, gerçekleştirilen, yönetilen, kurulmuş, öngörülebilir. Optimize edici şu dokuz boyutu vardır: süreç performansı, performans yönetimi, iş-ürün yönetimi, süreç dağıtımı, süreç tanımı, süreç kontrolü, süreç ölçümü, süreç yeniliği, ve sürekli optimizasyon. Boyutlar ve değerlendirme seviyeleri ile ilgili hiçbir ayrıntı mevcut değildir.

Bu model, varlık yönetimi, veri yönetişimi, uygulama yönetimi, süreç dönüşümü ve organizasyon uyumu olmak üzere beş boyuta odaklanan altı olgunluk düzeyinden (tamamlanmamış, gerçekleştirilen, yönetilen, kurulmuş, öngörülebilir ve optimize) oluşur. Bu değerlendirmenin tamamı daha çok beceri yeterlilik değerlendirmesine odaklanmıştır. Bu model kapsamlı bir değerlendirme ölçümü sunar ancak bu modelin, küçük-orta ölçekli işletmeler tarafından kullanıma uygun olduğu belirtilmemiştir.

A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness (De Carolis ve ark., 2017): DREAMY modeli, imalat işletmelerinin Endüstri 4.0 entegrasyonu için bir yol haritası oluşturmalarına yardımcı olmak için kullanılır. OM'nin beş düzeyi vardır: başlangıç, yönetilen, tanımlanmış, entegre ve birlikte çalışabilir ve dijital odaklı. Ayrıca OM'nin beş boyutu vardır : süreç, izleme, kontrol, teknoloji ve organizasyon. Ögeler modellerinde tanımlanmıştır. Ancak Endüstri 4.0 bağlamındaki operatör rolü, modelin yapısında ilgili herhangi bir öge bulunmadığından bu modele dâhil edilmemiştir. Tam Endüstri 4.0 entegrasyonundaki zayıflıkların üstesinden gelmek için bir eylem planı sağlamaz.

Kısaca dijital dönüşüm sürecini değerlendirmek amacıyla imalat endüstrisine odaklanır. Her seviye için açık tanımlı dört boyut ve 5 olgunluk seviyesi vardır. Olgunluk değerlendirme anketi 200 sorudan oluşmaktadır.

Schumacher, Erol ve Sihn (Schumacher ve ark., 2016): “Maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises”.

Model, ürünler, müşteri, operasyon, teknoloji, strateji, liderlik, yönetim, kültür ve insanlar olmak üzere dokuz boyut içermektedir. Bu model, değerlendirme kapsamı olarak imalat sanayilerini kapsayan olgunluk modeline dayanmaktadır. Bu model, en gelişmiş niteliklere ilişkin niteliklerin eksikliğini temsil eden beş olgunluk seviyesi (1. seviye – 5. seviye) kullanmıştır. Schumacher ve ark.(2016), çalışmalarında, bir olgunluk endeksinin endüstrinin hazırlık seviyesini hesaplayabileceğini ima etmektedir. Metodolojisinin açık ve ayrıntılı bir açıklamasını sağlar. Özellikle, olgunluk seviyesinin değerlendirilmesinin ve hesaplanmasının nasıl gerçekleştirildiği, işletmeler için oldukça faydalıdır ve modeli uygulanabilir kılar.

Sunulan 62 alt boyut ile dokuz organizasyonel boyut vardır. Ağırlıklı olarak imalat işletmelerine ve uluslararası işletmelere odaklanır. Sağlanan her boyut için beş olgunluk düzeyi vardır. Değerlendirme yöntemi olarak 123 sorudan oluşan bir anket kullanır.

WMG MM (Thompson ve ark., 2017) : WMG modeli, şirketlerin siber-fiziksel çağa hazır olmalarını ve benimsemelerini değerlendirmek için pratik bir yöntem sağlar. Modelin boyutları; tedarik zinciri, ürünler ve hizmetler, üretim ve operasyonlar, iş modeli, strateji ve organizasyon ve yasal hususlar olarak tanımlanmıştır. Seviyeler başlangıç, orta, deneyimli ve uzmandır (Thompson ve ark., 2017).

Bu model 6 boyut ve 29 alt boyut içermektedir. Bu modelin farkı tablo formatında kullanılan değerlendirme aracıdır. Ayrıca her bir boyut için olgunluk seviyesi hesaplanarak analiz daha detaylı hale getirilmiştir. Çevrimiçi değerlendirme yapılarak raporda verilmektedir.

Maturity and Readiness Model for I4.0 (Lin ve Chang, 2011): Bu OM’yi oluşturmak için Mettler (Mettler, 2009) mimarisi kullanılmıştır. Endüstriyel internet bağlamında, analiz, olgunluk modellemesi için bir kavram kılavuzu oluşturur. Araştırma henüz tamamlanmadığı için bu model tam bir model olarak değerlendirilemez.

Akdil, Üstündağ ve Çevikcan (Akdil ve ark., 2018) “Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy”. Olgunluk düzeyini ölçmek için 0-3 arasında bir ölçek kullanır: yokluk, varoluş, hayatta kalma ve olgunlaşma. Bu yöntem, akıllı ürün ve hizmetler, akıllı iş ve organizasyon stratejisinin tümünün modele dâhil edildiği üç merkezi boyutu kullanır. Bu model hem üretim hem de perakende sektöründe kullanılabilir.

Yazarlar, çalışmalarında birkaç modeli (De Carolis ve ark., 2017; Leyh ve ark., 2016; Lichtblau, 2015; Schumacher ve ark., 2016; Sheen ve Yang, 2018) karşılaştırmışlardır. Çalışmada bu modelin küçük-orta ölçekli işletmeye uygunluğundan bahsedilmemiştir.

Özetle ayrıntılı olarak sağlanan 3 ana boyut ile dört olgunluk seviyesinden oluşur. Endüstri 4.0 için teknolojilerin kapsamlı bir analizi ve modelin temel aldığı açık bir metodoloji sağlanmaktadır. Anketin tamamı perakende sektöründen bir örnekle sunulmaktadır. Şirketin mevcut konumunun nasıl iyileştirileceğine ilişkin değerlendirme anketlerinin ardından verilen nihai raporlarla işletmede iyileştirme yapılabilir.

Malezya Uluslararası Ticaret ve Sanayi (Malaysia's, 2018): "Industrial 4ward". İlk Malezya Endüstri 4.0 hazırlık değerlendirmesi, boyut (insanlar, süreç ve teknoloji) gibi üç ana değişim faktörünü kapsayan imalat endüstrilerine odaklanır. Bu modelde beş tür hazır bulunuşluk düzeyi benimsenmiştir (hiçbiri, öğrenen, deneyim, performans ve lider). Bu değerlendirme, devlet kurumları için ele alındığından, bu değerlendirmeyle ilgili çok fazla veri yayınlanmamaktadır.

Industrie 4.0 Maturity Index (Schuh ve ark., 2017): Bu model, dört boyutla (kaynaklar, bilgi sistemi, organizasyon yapısı ve organizasyon kültürü) altı olgunluk seviyesi (bilgisayar, bağlantı, görünürlük, şeffaflık, tahmin kapasitesi ve uyarlanabilirlik) kullanır. Bu model, araştırma ve geliştirme, üretim, lojistik, hizmet ve pazarlama ve satışı içeren işletmedeki beş işlevsel alanı kapsar. Dijital dönüşüm, bu olgunluk modelinin temel amacıdır. Bu model aynı zamanda olgunluk endeksi ölçümünün bir parçası olarak ileri üretim teknolojisini de içerir. Bu model, Endüstri 4.0 için temel etkinleştirici olan dijitalleşme kavramını destekler. Bu modelin oluşturulması, danışma araçlarına dayanmaktadır ve kendi kendini değerlendiren bir model değildir. Bu modeli kullanmayı planlayan bir işletmenin, değerlendirmede kendilerine yardımcı olması için bir danışmandan destek alması gerekir. Bu modeli olgunluğu ölçmek için kullanmayı düşünen küçük işletmeler, modeli maliyetli olması açısından uygun bulmayacaktır. Bu modelin orta ve büyük ölçekli işletmeler tarafından kullanılması daha uygun görülmektedir.

Forrester digital maturity model 4.0 (Gill ve ark., 2016): Bir işletmenin dijital iş olgunluğunu ölçmek için bir kıyaslama aracıdır. Bu model, dijitalleşme olgunluğunu değerlendirmek için dört ana boyut kullanır (kültür, teknoloji, organizasyon, içgörü). Bu modelde, yeni başlayanların tereddüt edenler, benimseyenler ve işbirlikçiler olarak bilindiği ve bu modelde sağlanan en yüksek seviyenin farklılaştırıcılar olduğu dört

olgunluk düzeyi bulunmaktadır. Bu model, değerlendirme için karşılaştırmalı bir yaklaşım uygulamaktadır. Endüstriyel tabanlı bir organizasyon hakkında daha az bilgi ister ancak daha çok e-ticaret yeteneklerine önem verir.

Future readiness for industry 4.0 (Botha, 2018): Gelecek tahmin edilemediği için olası gelecek ve tercih edilen gelecek ile karşılaşılan bir gelecek düşünme modeli geliştirilmiştir. Bu model, hazır bulunuşluk boyutuna çevrilmiş faktörleri şekillendiren, gelecek içinde gelecek düşünme modeline dayanmaktadır. Teknoloji, insanların davranışları ve dünyayı değiştirebilecek olaylar, ölçme unsuruna dâhildir. Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen teknolojik hazırlık seviyesi ve üretime hazırlık seviyesi, kendi ön teknolojiyi geleceğe hazırlık seviyesini geliştirmede motivasyon olarak kullanır (Straub, 2015). Bu modelde ayrıca davranışsal geleceğe hazırlık düzeyi ve kurumsal davranış geleceğe hazır olma düzeyi olmak üzere beş düzey vardır. Ek olarak her ikisi de 10 hazırlık seviyesi olan bir olay geleceğe hazırlık seviyesi ve geleceği düşünmeye hazırlık seviyesi de vardır. Bu modelin denetim prosedürüne göre yürütüldüğüne dair kanıtlar vardır ve sonucu değerlendirmek için üçüncü bir taraf gerektirir. Bu modelin karmaşıklığı, küçük-orta ölçekli işletmelerin bu aracı kullanmamasının nedeni olabilir.

Three-Stage Maturity Model (Ganzarain ve Errasti, 2016): Model 5 olgunluk seviyesi ile üç ana boyuttan oluşur. Model, küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler) tarafından uygulanabilir ancak, modelin değerlendirmeyi zorlaştıran yöntemleri ve anket sorularının ayrıntılardan yoksun olmasından dolayı rehberlik hizmeti almadan modeli kullanmak zor olacaktır.

Digital Operations Self-Assessment (PwC) (Geissbauer ve ark., 2016): İşletmenin dijitalleşmesine odaklanır ve büyük işletmelere yöneliktir. Yedi boyut ve 4 olgunluk seviyesi vardır. Çevrimiçi öz değerlendirme aracı mevcuttur, ayrıca Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanması için adımlar önerir.

Singapore Smart Industry Readiness Index-SIRI (Singapore, 2018): 6 olgunluk düzeyine ve on altı boyuta sahiptir. Tüm adımları, ayrıntılı olarak açıklamanın yanı sıra genel Endüstri 4.0 kavramı ve faydalarının kapsamlı bir açıklamasını da verir.

Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Industry (Klötzer ve Pflaum, 2017): 9 boyut ve 5 olgunluk seviyesinden oluşmaktadır. İmalat endüstrisine odaklanmıştır ancak modelin kapsamı çoğunlukla tedarik zinciri alanının temelini oluşturmaktadır. Değerlendirme ve anket hakkında hiçbir bilgi verilmemiştir.

Maturity Model for Industrial Internet (Menon ve ark., 2016): Üretim işletmelerinde nesnelerin interneti teknolojisinin benimsenmesine daha fazla odaklanır. Raporda sunulan beş olgunluk düzeyi, tanımlanan boyutlar, değerlendirme araçları ve yöntemleri hakkında bilgi yoktur.

Maturity Model for Data Driven Manufacturing (M2DDM) (Weber ve ark., 2017): Boyut kapasitesini ölçeklendirmek, olgunluk ve hazır olma derecesini ölçmek için hayati bir mekanizmadır (Basl ve Doucek, 2019). Her modelin genel organizasyon seviyesini yansıtmak için kendi ölçüm yaklaşımı vardır.

Büyük şirketler için tasarlanmış olduğu için mevcut araçları kullanarak hazır olma durumlarını ölçmeye çalışan küçük işletmeler zorluklarla karşılaşmışlardır (Mittal ve ark., 2020).

Genellikle modeller mühendislik bakış açısıyla oluşturulmuştur. Ayrıca vurgu daha çok teknolojik konular üzerinedir. Önerilen modeller esas olarak literatürden uyarlanmıştır ve şirketlerin hazır olma durumlarını iyileştirmek için eylem üzerinde çalışmasına yardımcı olur.

Endüstri 4.0'ın tüm yönlerini dikkate almak ve şirketlere iş performansları üzerinde ölçülebilir bir etki yaratacak yol gösterici araç sağlamak için akademik OM'lerin iyileştirilmesi gerektiği açıktır.

3.2. OM'lerin Araştırma Boşluğu

OM'lerin kritik araştırmasına dayanarak, üç ana araştırma boşluğu belirlenmiştir.

3.2.1. Araştırma Boşluğu 1:

İlk göze çarpan boşluk, akademik OM'lerin eksikliğidir. Bu dezavantajlara rağmen, yine de akademik OM'ler, titizlikleri ve erişilebilirlikleri nedeniyle dijital dönüşüm yolunda olan işletmeler için faydalı olabilir.

3.2.2. Araştırma Boşluğu 2:

Belirlenen ikinci araştırma boşluğu, endüstriyel OM'lere sınırlı erişimdir. Endüstriyel OM'ler genellikle akademik olanlara üstün gelse de endüstriyel modellerin metodolojisine, araştırmalarına ve yol haritalarına tam erişime izin vermemektedir. Modele erişmek ve onun tüm metodolojisinden yararlanmak için şirketlerin ya bir danışman tutması ya da OM sağlayıcısının hizmetini satın alması ya da abone olması gerekir. Bu nedenle, endüstriyel OM'lerin, dijital dönüşüme başlayan şirketler, özellikle

de endüstriyel OM'leri kullanarak olgunluk değerlendirmesini gerçekleştirecek kaynaklara sahip olmayan KOBİ'ler için yararlı olması mümkün değildir.

3.2.3. Araştırma Boşluğu 3:

Tasarım ilkesinin kapsama eksikliği. İncelenen OM'lerdeki üçüncü araştırma boşluğu, tasarım ilkelerinin kapsamının olmamasıdır. OM'lerin yazarlarının çoğu, model hakkında açıkça yorum yapmadığından OM'lerin manuel olarak gözden geçirilmesi zor olmaktadır.

Yukarıda tartışılan araştırma boşlukları, şirketlerin hazırlık ve olgunluk değerlendirme sürecini gerçekleştirmeyi zorlaştırarak dijital dönüşüme engel teşkil etmektedir.

3.3. Boyutlarla İlgili Literatür Taraması

İşletmelerin, dördüncü sanayi devrimi çağında hayatta kalmak ve gelişmek için Endüstri 4.0'a hazır olup olmadıklarını kendi kendilerine değerlendirmeleri çok önemlidir. Bunun üzerine, temel model boyutlarına sahip bir Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelinin kavramsallaştırılması veya geliştirilmesi gerekmektedir (Hanafiah ve ark., 2020). Son döneme kadar hakemli akademik dergilerde ve endüstri raporlarında yayınlanan makaleler incelenmiştir. 158 benzersiz model boyutuna sahip 30 Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modeli incelenmiştir. Bu incelemeye dayanarak altı boyutun yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Teknoloji, insanlar, strateji, liderlik, süreç ve yenilik boyutları işletmeler için en önemli boyutlar olarak kabul edilebilir. İkincisi, bu inceleme Endüstri 4.0'daki toplam 158 toplam benzersiz boyutun 70'inin (%44) yalnızca teknolojinin değerlendirilmesiyle ilgili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu, işletmelerin Endüstri 4.0 hazırlıklarını güçlendirmek için teknoloji hazırlıklarını büyük ölçüde iyileştirmeleri gerektiğini ortaya koyar. Özetle, bu en yaygın altı boyut dikkate alınarak ayrıca ülkemiz ve küresel şartlar da dikkate alındığında yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutu, kurum kültürü alt boyutu geliştirilen SANOL olgunluk modelimize saha çalışmalarındaki uzman görüşleri de dikkate alınarak eklenmiştir. Eklenen boyut ve alt boyutlar Materyal ve Yöntem bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Literatür taramasındaki amaçlarımızın ilki mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerini incelemek ikincisi mevcut modellerde kullanılan ana boyutların belirlenmesidir ve üçüncüsü en çok kullanılan boyut hangisidir?

3.4. Endüstri 4.0 Hazırlık ve Olgunluk Modellerinin Listelenmesi

İnceleme, farklı geliştiricilerden 30 farklı Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelini ortaya koyar. Bu modellerin çoğunun son beş altı yılda geliştirildiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk değerlendirme araçları alanı nispeten yenidir ve gelişmektedir. İncelenen modellerin 30'undan dokuzu (%30) endüstri tarafından geliştirilirken kalan 21'i (%70) akademi tarafından geliştirilmiştir. Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin bir listesi aşağıdaki Çizelge 3.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. Hazırlık ve olgunluk modelleri

No.	Model Adı	Akademi/ Endüstri	Akademik Referans/Endüstri Geliştirici
1	Industry 4.0 Readiness Evaluation for Manufacturing Enterprises	Akademi	(Basl ve Doucek, 2019)
2	Industry 4.0 Maturity Model	Akademi	(Bibby ve Dehe, 2018)
3	Future Readiness Level (FRL)/Industry 4.0 Future Readiness	Akademi	(Botha, 2018)
4	E-Business Industry 4.0 Readiness Model	Akademi	(Városiné Demeter ve ark., 2018)
5	Benchmarking Readiness I4.0	Endüstri	Fraunhofer Institute for Systems and Innovation
6	SMEs Maturity Model Assessment of IR4.0 Digital Transformation	Akademi	(Hamidi ve ark., 2018)
7	Readiness for Industry 4.0	Akademi	(Horvat ve ark., 2018)
8	SSCM Assessment for Industry 4.0	Akademi	(Manavalan ve Jayakrishna, 2019)
9	Industry 4.0 Business Model Innovations Tool	Akademi	(Müller ve Voigt, 2018)
10	Industry 4.0 Maturity Model	Endüstri	(Geissbauer ve ark., 2016)
11	Manufacturing Companies Industry 4.0 Adoption Model	Akademi	(Mittal ve ark., 2018)
12	BMS Smart Industry Research Roadmap (Behavioral, Management, Social Sciences)- SIRM	Akademi	University of Twente
13	ACATECH Industrie 4.0 Maturity Index	Endüstri	Acatech Academy
14	Enterprise 4.0 Assessment	Akademi	(Valentin, 2017)
15	Industry 4.0 Maturity Model- SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination)	Akademi	(Gökarp ve ark., 2017)
16	Industry 4.0 Readiness Model for Tool Management	Akademi	(Schaupp ve ark., 2017)
17	Three Stages Maturity Model in SME's towards Industry 4.0	Akademi	(Erol, Schumacher, ve ark., 2016)

18	Design Business Modelling for Industry 4.0	Akademi	(Gerlitz, 2016)
19	SIMMI 4.0–System Integration Maturity Model Industry 4.0	Akademi	(Leyh ve ark., 2016)
20	Industry 4.0 Introduction Strategy	Endüstri	Merz Consulting
21	Roadmap Industry 4.0	Akademi	(Pessl ve ark., 2017)
22	Assessment Model for Organizational Adoption of Industry 4.0 Based on Multi-criteria Decision Techniques	Akademi	University of Warwick
23	Industry 4.0 Maturity Model	Akademi	(Akdil ve ark., 2018)
24	Reference Architecture Model for the Industry 4.0 (RAMI4.0)	Akademi	(Kannan ve ark., 2017)
25	Industry 4.0 Hindering Factors Model	Endüstri	(Geissbauer ve ark., 2016)
26	IMPULS—Industrie 4.0 Readiness	Endüstri	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)
27	Industry 4.0 Barometer	Endüstri	MHP Porsche Company
28	Roland Berger Industry 4.0 Readiness Index	Endüstri	Ronald Berger Consulting
29	Fraunhofer Industrie 4.0 Layer Model	Endüstri	(Geissbauer ve ark., 2016)
30	Industry 4.0 Readiness Model for Manufacturing	Akademi	(Methavitakul ve Santiteerakul, 2018)

3.5. Endüstri 4.0 Hazırlık ve Olgunluk Modellerindeki Boyutların Belirlenmesi

Mevcut 30 Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelindeki tüm boyutların kapsamlı bir analizi, bu modellerde kullanılan en yaygın altı boyutun (Teknoloji, İnsan, Strateji, Liderlik, Süreç ve Yenilik) bulgusunu ortaya koymaktadır. Aşağıdaki Çizelge. 3.2’nin ilk sütunu, ilgili modellerde kullanılan tam ifadeleri açısından tüm bireysel boyutları göstermektedir. İkinci sütun, anlam ve kullanım benzerliğine göre bir araya toplandıktan sonra bu boyutların sayısını gösterir. Üçüncü sütun daha sonra benzer bireysel boyutları göz önünde bulundurarak önerilen havuzlanmış boyutu gösterir. Çizelge. 3.2’de gösterildiği gibi, modellerde kullanılan en fazla bireysel boyut sayısı “Teknoloji” ile ilgilidir ve bu nedenle teknolojiyle bağlantılı veya teknolojiyle ilgili 70 boyut, önerilen “Teknoloji” havuzlanmış boyutu altında toplanabilir. Ardından, ikinci en yüksek bireysel boyut sayısı, önerilen havuzlanmış “Kişiler” boyutu altında toplanabilir. Önerilen diğer üç havuzlanmış boyut (Strateji, Liderlik, Süreç), bireysel boyutların sayısı açısından neredeyse eşittir. Bu incelemede bulunan modellerde kullanılan en düşük bireysel boyut sayısı “Yenilik” boyutu ile ilgilidir. Bu nedenle, genel olarak, bu altı ana havuzlanmış boyutun birleştirilmesi, mevcut Endüstri 4.0 hazır olma modellerinde kullanılan bireysel

boyutların doğasını ve ortaklığını gözler önüne sermektedir. En çok kullanılan Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modeli boyutlarının havuzlanması Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge. 3.2. Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modeli boyutlarının havuzlanması

Mevcut Endüstri 4.0 Hazırlık ve Olgunluk Modellerindeki Bireysel Boyutlar	Havuza Alınabilecek Boyut Sayısı	Önerilen Havuzlanmış Boyut
Teknolojik Yetkinlik, Teknolojik Altyapı, Teknolojik Engelleyici Faktörler, Teknoloji, Teknoloji ve Altyapı, Teknoloji Hazırlığı, Teknoloji Kullanımı, Dijital Uygulama Kullanımı, Dijital Yetenekler, Dijital Etkinleştiriciler, Dijital Pazarlama, Dijital Medya Farkındalığı, Dijital Uygulamalar, Dijitalleşme, Çekirdeği Dijitalleştirme, Bilgi, Bilgi ve İletişim Teknolojisi, Bilgi ve İletişim, Bilgi Bağlantı Olgunluğu, Bilgi Altyapısı Donanım ve Yazılım, Bilgi Entegrasyonu, Bilgi Sistemleri, Bilgi Arama Becerileri, Bilgi Paylaşım Davranışı, İnternet ve İletişim Teknolojisi, Araçlar ve Teknolojiler, Yeni Teknolojinin Kabulü ve Uygulanması ve Medya, Yazılım Sistem Teknolojisi, Temel Yetenek Olarak Veri, Veri ve Analitik, Veri Yönetimi, Veri Hazırlığı, Veri Depolama ve Hesaplama, Veriye Dayalı Öngörüler, Veriye Dayalı Hizmetler, BT Entegrasyonu, BT Olgunluğu, BT Hazırlığı, BT Güvenliği, Tamamlayıcı BT Sistemi, BİT Hazırlığı, Kuruluşun Dijitalleşme Düzeyi, Veri Kullanım Yeri, Çalışanlara Taşınabilir Cihazlar, Teknoloji Tabanlı Akıllı Ürünler, Dijital İş Modelleri ve Müşteri Erişimi, Dijital Ürün Geliştirme, Dijital Araç Uygulaması, Dijital İkizler, Ürün Portföyünün Dijitalleştirilmesi, Dijital Etkin Operasyonlar, Dikey ve Yatay Değer Zincirlerinin Dijitalleştirilmesi ve Entegrasyonu, Ürün ve Hizmet Sunumlarının Dijitalleştirilmesi, Değer Zincirinin Yatay ve Dikey Entegrasyonunun Sayısallaştırılması, Otomasyon Üretim Teknolojisi, Yeni Nesil Teknoloji, IoT Teknolojisinin benimsenmesi, Kesitsel Teknoloji Kriterleri, Sensör Teknolojisi, Otomasyon Seviyesi, RFID Sürücüler, RFID Uygulaması, RFID Bilgisi, RFID Kullanımı, Çevik BT Mimarisi, Çevik BT Yapısı, Sistem ve Otomasyon, Bulut Bilişim Hizmetleri, Robotik, Analitik CRM Yazılımı Kullanımı	70	Teknoloji
Endüstri 4.0 ile Çalışan Uyumu, Çalışan Verimliliği, Çalışan İlişkileri, Çalışanlar, Çalışanlar ve İletişim, Çalışanların BT Sistemine Uzaktan Erişimi, İnsan, İnsan ve Kültür, İnsan ve Kültür Yönetimi, İnsan ve Organizasyon, İnsan Makine Arayüzü, İnsan Kaynakları, İnsan Kaynaklarına Hazırlık, Yetkinlikler, Temel Yetkinlikler, Yetenekler, Yetkilendirme, İş Piyasasını Engelleyen Faktörler, Mesleki Yetkinlik, Yeterlilik, Teknik Yetkinlikler, Öğrenme Yetkinliği, Yetkinlik Türü, Algılanan Kişisel Yetkinlik, Organizasyon ve İK, Organizasyon, Çalışanlar ve Dijital Kültür	27	İnsanlar
Stratejik Uyum, Stratejik Düzey, Stratejik Hazırlık, Strateji, Strateji ve Organizasyon, Strateji ve Liderlik, Strateji Geliştirme, Strateji Yeniliği ve Büyüme, Strateji Yönetimi ve Düzenleyici, Kurumsal Strateji, Yönetim ve Strateji, Yönetim Stratejisi ve Organizasyonu, İK Geliştirme Stratejisi, Analiz ve Strateji, Pazar Stratejisi, İş Stratejisi, Dijital Tarafından Yönlendirilen İş Stratejisi, Örgütsel Stratejinin Hazırlığı	18	Strateji
Yönetim, Yönetim ve Liderlik, Yönetim Kontrolü, Yönetim Niyeti ve Taahhüdü, Yönetim Liderliği, Yönetim Düzeyi, Yönetim Uygulamaları, Yönetime Hazırlık, Yönetim Desteği, Değişim Liderliği, Liderlik, Üst Yönetim Yeteneği, Üst Yönetim Taahhüdü, Üst Yönetim Katılımı ve Taahhüdü, İnanç Yönetiminin İyi Niyetleri, Ön Yönetim, Vizyon	17	Liderlik
Süreç, Süreç Yeteneği, Süreç Yönetimi, Süreç Organizasyonu, Süreç Oryantasyonu, Süreç Dönüşümü, Akıllı İş Süreçleri, Akıllı Operasyonlar, Entegrasyon, İç Süreçlerin Entegrasyonu, Operasyonel ve Süreç Düzeyi, Operasyonel Model, Operasyonlar, Dikey ve Yatay Entegrasyon, Dikey Entegrasyon, İş tabanlı Akıllı Operasyonlar, Yatay Entegrasyon	17	Süreç
İnovasyon, İnovasyon Kültürü, İnovasyon Ekosistemi, İnovasyon Uygulama Etkinliği, İnovasyon Değeri, Dijital İnovasyon için Örgütsel Hazırlığın Küresel Ölçütleri, İş Modeli, Yaratıcılık, Fikir Yönetimi	9	Yenilik

3.6. Tartışma

Bu bölüm yukarıda da belirtildiği gibi üç araştırma sorusu temelinde tasarlanmıştır.

3.6.1. Araştırma sorusu 1: Mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelleri nelerdir (akademi/endüstri)?

Danışmanlık firmalarının çoğu, hazırlık ve olgunluk modellerini kendi mülkiyetleri gibi görür, bu da mevcut hazırlık ve olgunluk modellerinin kullanımını ve değerlendirmesini zorlaştırır. Modelleri tanımlamanın başka bir yolu da amaçtır. Hazırlık ve olgunluk modellerinin hedef kullanıcılarını belirlemek her zaman önemli bir bakış açısı olmuştur. İhtiyaca yeterince hizmet etmeyen veya daha fazla geliştirilebilecek mevcut modellerin bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle, çalışmamız, gelecekteki Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Bazı kuruluşlar, Endüstri 4.0 etrafında dönen teknolojik yeniliklerin belirsiz ve karmaşık doğası nedeniyle Endüstri 4.0'a geçiş için çekimser görünmektedir (Erol, Schumacher, ve ark., 2016). Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinden sonra, organizasyonun kendisini dinamik olarak dönüştürmesi amaçlanmaktadır (Lichtblau, 2015).

Felch ve Sucky (2019), Endüstri 4.0 olgunluk modellerini iş uygulamaları açısından analiz ettiler. Yazarlara göre, son birkaç yılda Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin sayısında hızlı bir artış oldu ve bu da bu incelemenin bulgularını tamamlıyor. Bu araçlar, bir işletmenin mevcut konumunu ve atılacak adımları belirlemesine yardımcı olur. Tüm modeller eşit derecede alakalı veya uygulanabilir değildir (Sony ve Naik, 2019). Bazı Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelleri tüm endüstri sektörleri için tasarlanırken diğerlerinin kapsamı dardır. Her iki durumda da Endüstri 4.0 konusuna büyük katkı sağlarlar (Haddara ve Elragal, 2015). Modeller ayrıca organizasyonun mevcut kapasite ve yeteneklerinin yeniden düzenlenmesi, yeniden yapılandırılması ve yenilenmesi için bir yönetim aracı olarak ele alınabilir (Felch ve ark., 2019). Yürütülen sistematik kaynak araştırması, 30 Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelinin incelenmesine yol açmıştır. Çizelge 3.1'de listelenmiştir. Dikkat çekici bir şekilde, bu Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin geliştirilmesindeki iki ana eğilim şunlardır: (a) yıllık gelişim ve (b) akademi-sanayi ayrımı. Modellerin gelişimi açısından, 2016'dan itibaren ilk geliştirilen modeller daha kapsamlı ve daha kullanılışıydı. Daha sonra 2018'de modeller daha dar ve özel olacak şekilde gelişti. Modellere önemli katkılar 2018 yılında gerçekleştirilmiştir. Akademi-sanayi katkıları

açısından, 2016'dan itibaren ortaya çıkan modellerin çoğu sektör odaklı ve sektörel uygulamalıdır. Bunun üzerine, 2018 ve 2019'da modellere akademik katkılar çok yeni olmuştur. Karşılaştırıldığında, akademik modeller kapsamlı güvenilirlik ve geçerlilik açısından teşvik edilirken, endüstri modelleri daha pragmatik oldukları için akademik modellerden daha iyi performans göstermektedir. Daha sonra, boyutlar açısından, akademik modeller çoğunlukla daha az sayıda boyuta sahiptir, ancak endüstri modelleri, Endüstri 4.0 hazırlığının değerlendirilmesinde nispeten daha fazla sayıda boyut kullanır. Sağlamlık açısından, akademik modellerin daha iyi formda olduğu düşünülmektedir. Ancak endüstriyel modellerin daha yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Son olarak, uygulanabilirlik açısından, bazı modeller herhangi bir özelleştirme olmaksızın farklı endüstri sektörlerine uygulanabilecek şekilde geneldir, ancak endüstriden gelen modellerin çoğu, belirli endüstri sektörleri için uzmanlaşmıştır. Özetle, Çizelge 3.2'de mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin durumu ilk araştırma sorusunu tam olarak yanıtlamaktadır.

3.6.2. Araştırma sorusu 2: Mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinde kullanılan ana boyutlar nelerdir?

İlk araştırma sorusunu ele alırken belirtildiği gibi, bu konuda çeşitli öz değerlendirme araçları vardır. Modellerin tematik analizi, her modelin farklı olduğunu göstermektedir. Ancak modellerin temel amacı, başlangıç noktasını belirlemek ve ardından kalkınma planını çizmektir(Schumacker ve Lomax, 2004). Endüstri 4.0'a hazırlık ve olgunluk modellerinin boyutlarının çeşitliliği açısından Brozzi, bazı modellerin geniş olduğunu ve Endüstri 4.0'a hazır olmayı ölçmek için birçok boyuta sahip olduğunu, diğerlerinin ise az sayıda değerlendirme boyutuyla dar olduğunu sınıflandırdı(Brozzi ve ark., 2018). Değerlendirmede daha fazla ve çeşitli boyutlara duyulan ihtiyaç, organizasyonel sistemin Endüstri 4.0 teknolojileriyle yakınsamasının zor olmasıdır (Pérez-Lara ve ark., 2019). Endüstri 4.0, şirketler üzerine üç ana düzeyde çerçevelenebilir. Birincisi, Endüstri 4.0 teknolojik gelişmeleri ile yeniden adaptasyonu ve ürün ve hizmet değeri yaratmada en son araçların dâhil edilmesini gerektiren Operasyonlar seviyesidir. İkincisi, yapısal yenilik ve Endüstri 4.0 ortamıyla ekip sinerjilerinin yeniden düzenlenmesini gerektiren organizasyon seviyesidir. Üçüncüsü, Endüstri 4.0 ile ilgili müşteri talep ve beklentilerinin artması ile değer artışı gerektiren müşteriler seviyesidir. Geçmişteki literatürden yararlanan Basl, belirli mevcut Endüstri 4.0 modellerinden bazı boyutları vurguladı, ancak özellikle sistematik bir inceleme

yoluyla en yaygın olanları belirlemedi (Basl ve Doucek, 2019). Literatürdeki bu boşluklar burada ele alınmıştır.

30 Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modeli analiz edildiğinde, model boyutlarında çeşitlilik vardır. Model boyutlarının heterojenliği, mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin sistematik olarak gözden geçirilmesiyle toplam 158 ayrı boyutun belirlenmesini sağlayacak şekildedir. Çizelge 3.2 mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinden çıkarılan tüm boyutları listeler. Bu boyutlar daha sonra benzerlik açısından bir araya toplandı, ardından altı farklı ana model boyutu ortaya çıktı : (a) Teknoloji, (b) İnsanlar, (c) Strateji, (d) Liderlik, (e) Süreç ve (f) Yenilik. Bu bulgunun önemli yönetsel sonuçları vardır. Birincisi, KOBİ’ler genellikle büyük ölçekli çözümler uygulamak için kaynaklara sahip değildir, bu nedenle Endüstri 4.0’a hazır olmalarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için bu altı ana boyuta sahip modelleri kullanabilirler. İkincisi hem küçük hem de büyük kuruluşlar için gelecekteki modeller üzerine araştırma, en yaygın olan bu altı boyuta genişletilebilir. Üçüncüsü, bu altı ortak boyut üzerinde tasarlanan gelecekteki modeller, uygulama ve pratiklik açısından çeşitli endüstrilerde minimum özelleştirme gerektirecektir, bu da hem yöneticiler için maliyetten hem de zamandan tasarruf sağlayacaktır. Bu sistematik literatür taramasının ikinci araştırma sorusunu yanıtlar.

3.6.3. Araştırma sorusu 3: Mevcut Endüstri 4.0 hazırlık modelleri arasında en önemli boyut hangisidir?

Endüstri 4.0 değişiminin ana tetikleyicisi dijitalleşmedir (Tsohou ve ark., 2014). Üstündağ ve Çevikcan (2018), bir kuruluşun Endüstri 4.0’a hazır olmanın faydalarını elde etmek için dijital olarak dönüştürülmesi gerektiğini öne sürdüler. Ayrıca teknoloji, bir organizasyona planlama ve yol haritası açısından motivasyon yaratır. Kagermann, teknolojiyi Endüstri 4.0 için güçlü bir katkıda bulunan olarak sınıflandırdı, çünkü Endüstri 4.0, teknolojinin dokuz sütununa (Büyük Veri, Bulut, Endüstriyel İnternet, Yatay ve Dikey Entegrasyon, Simülasyon, Artırılmış Gerçeklik, Katmanlı Üretim, Siber Güvenlik ve Otonom Robotlar) dayalı bir kavramdır (Henning, 2014). Ghobakhloo (2018), Endüstri 4.0 için tasarım ilkeleri ve teknoloji trendleriyle birlikte bir çalışma planı sundu. Son dönemde modellerinin sayısında kayda değer bir artış olmuştur, ancak Endüstri 4.0 ile ilgili hazırlık ve olgunluk modellerinin çoğu teknoloji veya dijitalleşmeye odaklanmıştır (Gökcalp ve ark., 2017). Basl ve Doucek (2019) “Teknoloji”nin Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinde en önemli boyut olarak

kabul edilebileceğini belirtmiştir ancak bu iddianın kanıtı yoktur. Bu literatür taraması, Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerindeki en fazla sayıda boyutun teknoloji ile ilgili olduğunu bulgular aracılığıyla doğrulamıştır.

30 Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelinde 70 (%44) teknoloji ile ilgili olmak üzere toplam 158 ayrı boyut vardır. Çizelge 3.2 mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinden çıkarılan tüm boyutları listeler. Bu farklı ancak benzer teknoloji boyutları, teknolojik yeterlilik, teknolojik altyapı, teknoloji hazırlığı, teknoloji kullanımı, dijital uygulamalar, dijital yetenekler, dijital etkinleştiriciler, dijitalleşme ve bilgi ve iletişim teknolojisi gibi boyutları içerir. Bu bulgunun, politika oluşturma ve gelecekteki hazırlık ve olgunluk modelleri üzerine araştırmalar için çok önemli etkileri vardır. Bu bulgu, Endüstri 4.0'a hazırlık ve olgunluk konusunda ilerlemek isteyen ekonomilerin ve ülkelerin teknoloji ilerlemesini temel alan veya boyut olarak da Teknolojiyi dikkate alması gerektiğini gösterdiğinden, hükümetlere politika oluşturmada yardımcı olur. Gelecekteki olgunluk ve hazırlık modelleri araştırmaları açısından, bu kaynak araştırması mevcut modellerde en çok kullanılan boyutun teknoloji boyutu olduğunu vurgulamaktadır.

3.6.4. Sonuçlar

Endüstri 4.0 hazırlığı, yönetim çalışmalarında güncel bir konudur. Bu sistematik literatür taraması, bu tez çalışmanın ilk araştırma sorusu doğrultusunda hem akademiden hem de endüstriden 30 mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modeli incelenmiştir. Ayrıca, bu çalışmanın ikinci ve üçüncü araştırma sorusunu yanıtlayan Endüstri 4.0 hazırlığını ve olgunluğunu değerlendirmek için farklı yazarlar ve firmalar tarafından kullanılan mevcut 158 model boyutu araştırılmıştır. Bu çalışmanın iki özgün katkısı bulunmaktadır. İlk olarak Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerine ilişkin bu sistematik literatür incelemesi, mevcut 30 Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modelinden türetilen 158 ayrı boyuttan bir araya getirilen en yaygın altı boyut biçiminde özgün bir katkı sağlar. Bu altı boyut (Teknoloji, İnsanlar, Strateji, Liderlik, Süreç ve Yenilik), büyüklüklerine ve sektörlerine bakılmaksızın çoğu kuruluş için en önemli boyutlar olarak kabul edilebilir. İkinci olarak Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin çoğu, değerlendirme için teknolojiyle ilgili boyutlara sahiptir.

Bu kaynak araştırması, Endüstri 4.0'daki toplam 158 benzersiz boyuttan 70'inin (%44) yalnızca teknolojinin değerlendirilmesine ilişkin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu, kuruluşların Endüstri 4.0 hazırlıklarını güçlendirmek için teknoloji hazırlıklarını

büyük ölçüde iyileştirmeleri gerektiği anlamına gelir. Ayrıca akademisyenler ve endüstri profesyonelleri arasında Endüstri 4.0'a hazır olma konusunda artan bir ilgi vardır(Ertan, 2018; Hamidi ve ark., 2018; Lokuge ve ark., 2019; Tranfield ve ark., 2003).

Çalışma sınırlamaları açısından, bu bölümde gerçekleştirilen inceleme, belirli bir durumun belirli bir zamanda anlık görüntüsü olan tarihsel verilere dayanmaktadır. Araştırma havuzlarının ve veri tabanlarının sayısı arttıkça ve bunlar sürekli güncellendiğinden, bilgi birikimi sürekli olarak genişlemekte ve bu da hem sınırlamalara hem de gelecekteki araştırmalara katkıda bulunmaktadır. Genel olarak burada vurgulanan mevcut Endüstri 4.0 hazırlık ve olgunluk modellerinin ve boyutlarının sistematik incelemesi, gelecek için bir araştırma gündemi oluşturacak kadar güçlüdür. Bu inceleme belgesinde ana boyutlar olarak önerilen altı havuzlanmış boyutu, yeni ve değerli içgörüler sağlayabilecek yapılandırılmış görüşmeler ve vaka çalışmaları takip edebilir. Ayrıca, nicel araştırma yoluyla ampirik çalışmalar, bu boyutlar arasındaki karşılıklı ilişkileri daha da geliştirebilir. Etkiler açısından, bu kaynak araştırması hükümet politikası, endüstri ve KOBİ'ler için önem taşımaktadır. Politika oluşturma için, bu çalışmanın bulguları, hükümetin Endüstri 4.0'a hazırlık konusundaki boşluk değerlendirmesi yoluyla ekonomilerini iyileştirmesine yardımcı olabilir. Endüstri için işletmeler, Endüstri 4.0 teknolojilerine karşı hazırlıklarını geliştirerek iç ve dış pazardaki rekabet avantajlarını geliştirebilirler. KOBİ'ler için bu kaynak araştırması, tüm KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a hazır olma durumlarını değerlendirirken yararlanabilecekleri altı ana boyut sağlar.

Bu kaynak araştırması tez konusuna çok önemli katkılar sağlamıştır. Özellikle geliştirilen SANOL olgunluk modeli boyutlarını ve alt boyutlarını belirlerken bu kaynak araştırmasından da ilham alınmıştır.

Kaynak araştırmamız, son birkaç yılda Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmaların sayısında önemli bir artış olduğu şeklinde özetlenebilir. Çok fazla olgunluk ve hazırlık modeli analiz edildi ve hiçbirinin kapsam, amaca uygunluk, eksiksizlik, açıklık ve nesnellik kriterlerinin tamamını tam olarak kapsamadığı sonucu ortaya çıktı. Bu nedenle, önceki hiçbir çalışma mevcut tüm kriterleri dikkate almamıştır, bu nedenle tüm kriterleri göz önünde bulundurarak geliştirdiğimiz SANOL olgunluk modeli benzersizdir.

Mevcut Endüstri 4.0 olgunluk modellerindeki tüm boyutların kapsamlı bir analizi yapıldığında, bu modellerde kullanılan en yaygın altı boyutun sırasıyla teknoloji, insan, strateji, liderlik, süreç ve yenilik olduğu görülmektedir. Dolayısıyla geliştirilecek modellerde bu altı ana boyutun tamamının veya bir kısmının kullanılması beklenmektedir. Geliştirdiğimiz SANOL olgunluk modelinde çoğu modelde olmayan

kurumsal kültür, yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutlarının olması modelimize ayrıcalık kazandırmaktadır.

Mevcut modellerde tespit edilen sorunlar incelendiğinde hemen hemen tüm modeller yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutunu içermemektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin ithalatına yönelik destek ve vergi muafiyetleri, Endüstri 4.0'a geçişi olumlu veya olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, Endüstri 4.0'a geçiş için devlet teşvikleri işletmelere cazip gelebilir. Benzer şekilde, işletmelerin Endüstri 4.0'a geçişi için de bazı yasal düzenlemelerin yapılması önemlidir. Bu nedenle yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutları önemlidir. Geliştirdiğimiz SANOL Endüstri 4.0 Olgunluk modeli, yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutlarını içermektedir. Böylece SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli önemli bir sorunu ortadan kaldırmıştır. Bazı modellerde müşteri boyutu bulunurken, tedarikçi boyutunun olmadığı gözlemlenmiştir. Tedarikçiler boyutu yatay entegrasyon için çok önemlidir. Özellikle imalat sanayinde işletme ile tedarikçileri ve müşterileri arasındaki iletişim çok önemlidir. Bazı modeller güvenlik boyutu içermemektedir. Veri güvenliği, Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseyen tüm işletmeler için hayati öneme sahiptir. Literatüre dayalı olarak geliştirilen SANOL olgunluk modeli, tüm imalat işletmeleri için önerilebilir. SANOL olgunluk modeli, imalat işletmeleri için önemli bir sorunu ortadan kaldıracak ve literatürdeki önemli bir boşluğu dolduracaktır. Geliştirilen model, farklı ülkeler ve farklı sektörler için de rahatlıkla kullanılabilir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Sanayideki işletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde bulundukları seviyeleri tespit edebilmeleri ve daha iyi seviyeye geçmeleri için uygulamaları gereken adımları belirleyebilmeleri, süreci izleyebilmeleri için güvenilir ve geçerli bir yol haritasına gereksinimleri vardır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla, Endüstri 4.0 olgunluk modeli çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada da ihtiyaca yönelik model geliştirilmesi, uygulanması ve değerlendirilmesi aşamaları ele alınmaktadır. Çalışmaların hedefinde sanayideki işletmeler vardır. Bazı işletmeler Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojileri çok iyi düzeyde kullanırken bir kısmı da duyarsızdır. Geliştirilen model Endüstri 4.0'a geçmek isteyen ya da geçmiş fakat eksiklikleri olan sanayideki işletmelere rehberlik edecek ve sorunlarının çözümüne katkı sağlayacaktır.

SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli geliştirilirken aşağıdaki adımlardan geçilmiştir.

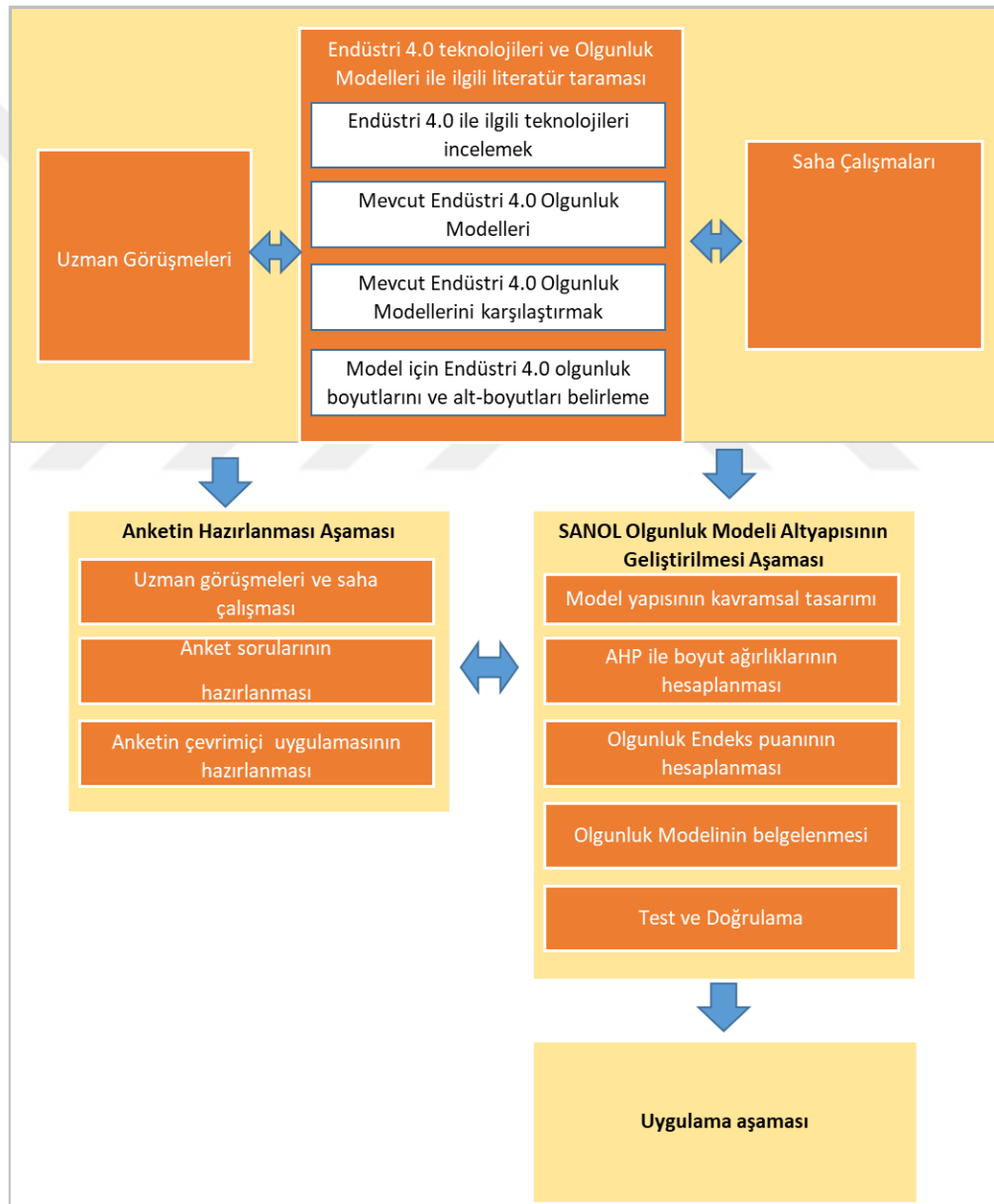
- 1) Endüstri 4.0 Olgunluk Model Boyutlarının ve Alt Boyutların Belirlenmesi
- 2) Endüstri 4.0 Olgunluk Model Boyutlarının ve Alt Boyut Ağırlıklarının Belirlenmesi
- 3) Endüstri 4.0 Olgunluk Modelinin Değerlendirme Seviyelerinin Belirlenmesi
- 4) Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksinin Hesaplanması

Bu çalışmada geliştirilen SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli, mevcut modellerin genişletilmesini amaçlamaktadır. Günümüzde Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmayan işletme hemen hemen yok denecek kadar azdır. Doğal olarak bazı işletmeler bazı teknolojilere daha fazla gereksinim duyarken bazılarını da hiç kullanmamaktadır. Yapılan işin niteliğine göre gerekli olan teknolojiler kullanılmaktadır. Endüstri 4.0'ı oluşturan teknolojilerin kullanımı sektörden sektöre de değişiklik göstermektedir. Bazı işletmeler eklemeli üretimi (3D) yoğun bir biçimde kullanırken bazıları hiç kullanmamaktadır. Endüstri 4.0 ile ilgili tüm teknolojiler için bu geçerlidir. Bu tez çalışmasında geliştirilen bu olgunluk modeli sanayideki işletmelere uygulanarak işletmenin Endüstri 4.0 için 6 boyut için olgunluğu ölçülmektedir. Değerlendirme yöntemi olarak 58 sorudan oluşan geliştirdiğimiz anket uygulanmaktadır. Anket yüz yüze uygulanabildiği gibi çevrimiçi de uygulanabilmektedir. Değerlendirmeden sonra İşletme zayıf ve güçlü yönlerini görerek ona göre Endüstri 4.0 için gerekli adımları atmaktadır. Geliştirilen olgunluk modeli, mevcut modellerde olmayan ve modelimizi farklı kılan yasal düzenlemeler ve teşvikler boyutlarına ve çoğu modellerde bulunmayan kurumsal

kültür alt boyutuna sahiptir. Bu nedenle SANOL olgunluk modeli literatürde önemli bir boşluğu dolduracaktır.

Türkiye’de hemen hemen yok denecek kadar az olgunluk modeli vardır. SANOL olgunluk modeliyle önemli bir açık kapatılmaya çalışılmıştır.

Önerilen model geliştirilirken Endüstri 4.0 konusunda yetkinliği bilinen 23 kişiyle yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Süreç içinde görüşmeler sürerken geri beslemeler ile model sürekli olarak güncellenmiş ve bir sonraki görüşmede de bu değişimlerin doğruluğu test edilmiştir. SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli geliştirme aşamaları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modelinin (OM) geliştirilmesi için çoklu metodolojik araştırma yaklaşımı

4.1. SANOL Endüstri 4.0 Olgunluk Modelindeki Boyutlar ve Alt Boyutlar

Sanayideki işletmelere yönelik geliştirilen SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli boyutlarına bu konuda yetkin uzmanlarla görüşülerek karar verilmiştir. SANOL Türkçe SANayi ve Olgunluk kelimelerinin ilk üç ve iki harfi alınarak oluşturulmuştur. Boyutların belirlenmesi ve her boyutun ağırlığının aynı olmaması da uzman görüşleriyle oluşmuştur. Uzmanlar işletme yönetim kurulu başkanı, bilgi işlem müdürü, AR-GE mühendisi, dijital dönüşüm yöneticisi, üretim müdürü, insan kaynakları müdürü ve akademisyenlerden oluşmaktadır. Boyutlar belirlenirken mevcut literatürdeki olgunluk modelindeki boyutlar da dikkate alınmıştır. Boyutların doğruluğunun test edilmesi için ise konu ile ilgili uzmanlığı bilinen 38 kişi ile görüşmeler yapılmıştır. “yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma” boyutu ve kurumsal kültür alt boyutu sahadaki görüşmelerden sonra eklenmiştir. Yeni teknolojilere geçmek hususunda işletmelerin genel olarak çekimser olduğu gözlemlenmiştir. Bunun için düzenleyici ve denetleyici otoritelerin (hükümetler) teşvik edici tedbirler alması işletmelerin Sanayi 4.0’a geçişini hızlandıracak ve kolaylaştıracaktır. Bu nedenle bu boyutun da gerekliliğine karar verilmiş ve modelimize eklenmiştir.

Sanayide işletmelere yönelik geliştirilen bu modelin geçerliliği sahada çalışmalar yapılarak test edilmiştir. Geliştirilen SANOL olgunluk modeli toplam 6 boyuttan oluşmaktadır. Bu 6 boyuta bağlı toplam 22 alt boyut vardır:

Boyutlar:

Strateji ve Yönetim: İşletmenin Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanması, mevcut iş modellerine uygulanması ve hedefleriyle ilgili yol haritası. Yönetimin Endüstri 4.0’a geçişte verdiği destek ve isteklilik.

Müşteriler ve Tedarikçiler: Müşterilerle ve tedarikçilerle verilerin paylaşılması ve müşteriler ve tedarikçilerin Endüstri 4.0 teknolojilerindeki yetkinlikleri. Yatay ve dikey entegrasyon kullanarak müşteri ve tedarikçilerle hızlı ve güvenilir iletişim.

Çalışanlar ve Kurumsal Kültür (Aidiyet Duygusu): Çalışanların Endüstri 4.0 teknolojilerindeki yetkinlikleri, çalıştıkları kurumu, kuruma ait değerleri, ilkeleri benimsemeleri ve daha ileri bir seviyeye taşıma duyguları. Çalışanın, işletmeyi kendi işyeri olarak görüp ona göre çalışması.

Teknoloji (Ürünler): İşletmenin Endüstri 4.0 teknolojilerine sahip olmaları ve kullanma durumları Endüstri 4.0 teknolojileri için ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Endüstri 4.0 ile ilgili öne çıkan teknolojiler büyük veri (Big Data) ve analitik, otonom

robotlar, benzetim (simülasyon) , yatay ve dikey sistem entegrasyonu, nesnelerin interneti (sensörler dâhil) , siber güvenlik, eklemeli üretim (3D) , artırılmış gerçeklik, bulut bilişim, mobil teknolojiler, yapay zekâ, RFID ve RTLS'dir .

Veri ve Güvenlik: İşletmede verilerin kullanım durumunu, bilgi güvenliği ve siber güvenlik konularını kapsar.

Yasal Düzenlemeler, Teşviklerden Yararlanma: İşletmenin Endüstri 4.0 ile ilgili yasal mevzuatlara uyup uymadığı ve Endüstri 4.0 ile ilgili devlet teşviklerinden yararlanması. Kısacası işletmenin devletin sunduğu maddi ve manevi destekten faydalanmasıdır.

Boyutlar ve alt boyutlar Çizelge. 4.1'de verilmiştir.

Çizelge. 4.1. Boyutlar ve alt boyutlar

Boyutlar	Alt Boyutlar
Strateji ve Yönetim	Strateji
	Yönetim
Müşteriler ve Tedarikçiler	Müşteriler
	Tedarikçiler
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Çalışanlar
	Kurumsal Kültür
Teknoloji	Büyük Veri (Big Data) ve Analitik
	Otonom Robotlar
	Benzetim (Simülasyon)
	Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu
	Nesnelerin İnterneti (Sensörler dâhil)
	Siber Güvenlik
	Eklemeli Üretim (3D)
	Artırılmış Gerçeklik
	Bulut Bilişim
	Mobil Teknolojiler
	Yapay Zekâ
	RFID ve RTLS
Veri ve Güvenlik	Veri
	Güvenlik
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	Yasal Düzenlemeler
	Teşviklerden Yararlanma

4.2. SANOL Olgunluk Modeli İçin Oluşturulan Sorular

Anket soruları uzman görüşleri ve sahadaki yetkin kişilerle yapılan görüşmelerden yola çıkılarak oluşturulmuştur. Her bir boyuta ilişkin soru sayıları Çizelge 4.2'de

verilmiştir. Ayrıca 10 adet genel soru sorulmuştur. Anket toplam 58 sorudan oluşmaktadır.

Çizelge. 4.2. Boyutlara göre soruların dağılımı

Boyut	Soru Sayısı
Strateji ve Yönetim	11
Müşteriler ve Tedarikçiler	3
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	5
Teknoloji (Ürünler)	12
Veri ve Güvenlik	7
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	10

Anket gönüllülük esasına göre doldurulacak, veriler üçüncü kişilerle kesinlikle paylaşılmayacaktır.

Genel soruların yanı sıra 6 boyut için sorular bulunmaktadır. Genel sorular değerlendirmeyi etkilememekte, sınıflandırma için kullanılmaktadır.

Ankette sorulan sorular:

- 1) Açık uçlu
- 2) Var ya da Yok
- 3) Evet ya da Hayır
- 4) Çoktan Seçme
- 5) Çoklu Seçme
- 6) Likert Ölçeği (1 ile 5 arasında beş kutudan biri işaretlenecektir)

10 adet genel soru değerlendirmede ölçüm için kullanılmamaktadır. Sorular belirlenirken sahada çalışmalar yapılmış modelin geçerliliği için çok sayıda işletmeye test uygulanmıştır. İşletmelerle yapılan yüz yüze görüşmeler sonucunda bazı sorular eklenirken bazı sorular da çıkarılmıştır. Soruların bir kısmında ise değişiklikler yapılmıştır. Ayrıca akademisyen, üretim müdürü, bilgi işlem yöneticisi, proje yöneticisi ve AR-GE mühendisi gibi uzman görüşleri alınarak sorular sürekli güncellenmiştir. Sonuçta sahada bu kişilerle yapılan görüşmeler doğrultusunda 58 sorudan oluşan anket oluşturulmuştur. Covid-19 salgınından dolayı anketin çevrimiçi uygulanabilmesi için de form geliştirilmiştir.

(Forma erişim için: <https://form.jotform.com/210383307015040>). Böylece çok sayıda işletmeye çevrimiçi olarak Türkçe anket uygulanmıştır.

Anketin İngilizce uygulamasına erişim için de <https://www.jotform.com/form/213071375248959> bağlantısı kullanılmaktadır.

4.3. AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ile Boyut Ağırlıklarının Geçerliliğini Test Etme

Geliştirilen SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli strateji ve yönetim, müşteriler ve tedarikçiler, çalışanlar ve kurumsal kültür, teknoloji, veri ve güvenlik, yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutlarından oluşmaktadır. Tüm işletmelerde bu boyutlar eşit öneme sahip değildir. Modelin boyut ağırlıklarını etkileyen çeşitli etkenler vardır. Bazı işletmelerde bazı boyutlar çok önemliken bazı boyutlar daha az öneme sahiptir. Örneğin bir işletme için veri ve güvenlik çok önemliken müşteriler ve tedarikçiler daha az öneme sahip olabilmektedir. Model sanayideki işletmelere yönelik geliştirildiği için boyutların ağırlığı belirlenirken bu da dikkate alınmıştır. Aynı biçimde alt boyutların ağırlığı da farklılık gösterebilmektedir. Modelimizde bir boyuta bağlı alt boyutların ağırlığı eşit öneme sahiptir. Boyutların ağırlığı belirlenirken uzman görüşleri alınmış ve karar destek aracı olarak analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanılmıştır.

1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından ortaya konulan çok kriterli karar verme yöntemlerinden analitik hiyerarşi süreci (AHP), matematik ve psikolojiye dayanan karmaşık kararları organize ve analiz etmek için yapılandırılmış bir yöntemdir. Üretim yönetimi problemlerinde sıklıkla kullanılan yöntem, birden fazla kriter söz konusu olduğunda karar vermeyi desteklemek için kullanılan ve hiyerarşiye uygulanabilecek esnek bir araçtır. AHP yönteminde boyutların ağırlıkları ikili karşılaştırmalar esas alınarak belirlenmektedir. Farklı hiyerarşi seviyelerinde ikili karşılaştırmalar, boyutların ve alt boyutların ağırlıklarının tahmin edilmesini sağlamak için kullanılmakta ve bu da karar matrisini ortaya çıkarmaktadır. Karar matrisinin öz vektörünü bulmak için matematiksel yöntemler kullanılmakta ve daha sonra kararların tutarlılığını değerlendirmek için tutarlılık oranına bakılmaktadır. Geliştirdiğimiz SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modelindeki boyut ağırlıklarının geçerliliği için kullanılan AHP'nin nasıl kullanıldığı aşağıda adım adım açıklanmaktadır.

Geliştirilen model için AHP yönteminin uygulanma adımları aşağıdaki gibidir.

1.Adım: Problemin tanımlanması ve hiyerarşik yapının oluşturulması,

Hiyerarşik yapıda boyutların ve alt boyutların doğru belirlenmesi gerekir. Ayrıca karar noktalarını etkileyen faktörler doğru saptanmalıdır. Özellikle sonucu etkileyecek faktörlerin sayısının doğru belirlenmesi ve her bir faktörün ayrıntılı tanımlarının

yapılması, ikili karşılaştırmaların tutarlı ve mantıklı yapılabilmesi açısından önem arz etmektedir.

2.Adım: Her boyut ile diğer boyutlar arasında ikili karşılaştırmalar yapılması,

Faktörler arası karşılaştırma matrisi $n \times n$ boyutlu bir kare matristir. Bu matrisin köşegeni üzerindeki matris elemanları 1 değerini almaktadır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken boyutların diğer boyutlara göre önemini belirleyen önem skalası kullanılmaktadır.

Boyutların ağırlıklandırma işleminde daha önce bahsedildiği üzere uzman görüşlerine başvurulmuştur. Her uzmanın önerdikleri ağırlıkların aritmetik ortalaması alınmıştır. Her bir boyutun diğer boyuta olan üstünlüğü sayısal olarak belirtilmiştir. Boyut sayısı 6 olduğu için 6×6 bir matris kullanılmıştır. Her boyutun kendine üstünlüğü 1 olarak düşünüldüğü için matrisin köşegenindeki değerler 1'dir. Strateji ve yönetim müşteriler ve tedarikçilere göre 3 kat üstünlüğe sahip iken teknoloji boyutuna göre yarı öneme sahiptir. Strateji ve yönetim boyutu veri ve güvenlik boyutuyla aynı öneme sahiptir. Denklem 4.1'deki kurala göre, Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi Matris tüm boyutlar için bu şekilde doldurulmuş ve sütun toplamaları alınmıştır.

Çizelge. 4.3. Faktör karşılaştırma matrisi

Boyutlar	Strateji ve Yönetim	Müşteriler ve Tedarikçiler	Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Teknoloji	Veri ve Güvenlik	Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma
Strateji ve Yönetim	1	3	3	0.500	1	5
Müşteriler ve Tedarikçiler	0.333	1	0.500	0.200	0.250	1
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	0.333	2	1	0.200	0.200	1
Teknoloji	2	5	5	1	1	5
Veri ve Güvenlik	1	4	5	1	1	5
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	0.200	1	1	0.200	0.200	1
TOPLAM	4.866	16.000	15.500	3.100	3.650	18.000

$$a_{ij} > 0, a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, a_{ii} = 1 \quad (4.1)$$

3.Adım: Her bir ögenin diğer öğelere göre önem derecelerinin hesaplanması,

İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasından sonra, Çizelge 4.4'te gösterildiği gibi ilgili matristeki her bir elemanın diğer elemanlara göre önemini gösteren göreceli ağırlık vektörü bulunmaktadır. Her boyut için diğer boyutların ağırlığı bulunmaktadır. Matrisin her elemanı sütun toplamına bölünerek her boyut için ağırlık değerleri bulunur. Satır toplamı alınarak boyutun ağırlığı bulunmaktadır. Boyut ağırlıkları 6 üzerinden verilmektedir. Dolayısıyla tüm boyutların ağırlıkları toplamı 6 olmaktadır. Çizelge 4.3'teki sütun toplamı matrisin elemanına bölünerek Çizelge 4.4'teki matris oluşturulmuştur. Her boyut için satır toplamı alınarak 6 üzerinden boyut ağırlıkları bulunur.

Çizelge. 4.4. Boyutların ağırlıkları

Boyutlar	Strateji ve Yönetim	Müşteriler ve Tedarikçiler	Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Teknoloji	Veri ve Güvenlik	Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	Boyut Ağırlıkları
Strateji ve Yönetim	0.205	0.188	0.194	0.161	0.274	0.278	1.300
Müşteriler ve Tedarikçiler	0.068	0.063	0.032	0.065	0.068	0.056	0.352
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	0.068	0.125	0.065	0.065	0.055	0.056	0.433
Teknoloji	0.411	0.313	0.323	0.323	0.274	0.278	1.920
Veri ve Güvenlik	0.205	0.250	0.323	0.323	0.274	0.278	1.652
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	0.041	0.063	0.065	0.065	0.055	0.056	0.343

4.Adım: Önem derecelerinin doğru hesaplanıp hesaplanmadığını ortaya koyan tutarlık testinin yapılması,

AHP yöntemi, ikili karşılaştırmalardaki tutarlılığın ölçülebilmesi için bir süreç önermektedir. Sonuçta elde edilen tutarlılık oranı (CR) ile bulunan öncelik vektörünün ve dolayısıyla faktörler arasında yapılan birebir karşılaştırmaların tutarlılığının test edilebilmesi olanağını sağlamaktadır.

Her boyut için satır toplamı alınır ve ağırlıklarına bölünür. Her boyut için çıkan değer toplanıp boyut sayısına bölünür. $\lambda_{max} = 6.121$ olarak bulunur.

Çizelge 4.5 oluşturulurken Çizelge 4.4'teki boyut ağırlıkları Çizelge 4.3'teki karşılaştırma matrisindeki elemanın değeri ile çarpılır. Strateji ve Yönetim boyut ağırlığı 1.300 Çizelge 4.3'teki 1 ile çarpılır. Strateji ve yönetim sütunu 2. elemanı 0.333 benzer biçimde 1.300 ile çarpılarak 0.433 değeri bulunur.

Genel olarak Çizelge 4.3'teki a_{ij} Çizelge 4.4'teki b_{j7} ile çarpılarak Çizelge 4.5'teki c_{ij} bulunur.

Çizelge. 4.5. Boyutların ağırlıkları (6 üzerinden)

Boyutlar	Strateji ve Yönetim	Müşteriler ve Tedarikçiler	Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Teknoloji	Veri ve Güvenlik	Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	Toplam
Strateji ve Yönetim	1.300	1.055	1.299	0.960	1.652	1.715	7.981
Müşteriler ve Tedarikçiler	0.433	0.352	0.216	0.384	0.413	0.343	2.142
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	0.433	0.704	0.433	0.384	0.330	0.343	2.627
Teknoloji	2.599	1.759	2.164	1.920	1.652	1.715	11.810
Veri ve Güvenlik	1.300	1.407	2.164	1.920	1.652	1.715	10.159
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	0.260	0.352	0.433	0.384	0.330	0.343	2.102

Çizelge 4.6'da gösterildiği gibi boyut ağırlık toplamından o boyutun ağırlığı çıkarılarak fark bulunur. Farkların ortalaması 6.121 olarak bulunur.

Çizelge. 4.6. Boyutların ağırlık toplamı

Satır Toplamı	Boyut Ağırlığı	Fark
7.981	1.300	6.141
2.142	0.352	6.087
2.627	0.433	6.069
11.810	1.920	6.150
10.159	1.652	6.148
2.102	0.343	6.129

Ortalama 6.121

λ_{max} bulunurken tüm satır toplamaları alınarak 6'ya bölünür. Bir başka deyişle satır toplamalarının aritmetik ortalaması alınır.

$$\lambda_{max} = 6.121$$

n : Kriter Sayısı

Boyut sayısı 6 olduğu için $n=6$ olarak alınmaktadır.

$$\text{Consistency Index(CI)} \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'ye göre tutarlılık indeksi aşağıdaki gibi bulunur.

$$CI = \frac{6.121 - 6}{5} = 0.024$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.3)$$

Boyut sayısı 6 olduğu için *RI* tablodan 1.252 olarak alınır.

Rastgele tutarlılık indeksi (Random Consistency Index(*RI*)) değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.7'de gösterildiği gibi boyut sayısı 6 olduğu için *RI* 1.252 olarak alınır.

Çizelge. 4.7. Rastgele tutarlılık indeksi (*RI*)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484

Denklem 4.3'e göre tutarlılık oranı hesaplanınca 0.019 olarak bulunur

$$CR = \frac{0.024}{1.252} = 0.019$$

CR (Tutarlılık Oranı) 0.019 bulunur. *CR* 0.10'dan büyük çıktığı durumlarda bu ağırlıklarla model tahmini yapılamaz. 0.10'dan düşük çıktığı için modeldeki boyut ağırlıkları geçerlidir. Geliştirilen SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli boyut ağırlıklarının geçerliliği böylece test edilmiştir.

6'lık sistemdeki boyut ağırlıklarını yüzde olarak göstermek için boyutun ağırlığı 6'ya bölünür 100 ile çarpılır. Küsürlü çıkan yüzde boyut ağırlıkları Çizelge 4.8'de gösterildiği gibi yuvarlanmıştır.

Çizelge. 4.8. Boyut ağırlık yüzdeleri

Boyut Ağırlığı	Boyutun Yüzde Olarak Ağırlığı (Kesirli)	Boyutun Yüzde Olarak Ağırlığı (Yuvarlanmış)
1.300	21.659	22
0.352	5.864	6
0.433	7.215	7
1.920	32.006	32
1.652	27.540	28
0.343	5.716	5
Toplam	6	100

4.4. SANOL Olgunluk Modeli Boyut Ağırlıkları

SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli 6 boyuttan oluşmaktadır. Ayrıca bu boyutların altında da alt boyutlar yer almaktadır. Modelin boyutlarının önem düzeylerinin belirlenmesi için boyutları oluştururken görüşlerine başvurulmuş uzmanlara danışılmıştır. Ana boyutlar için AHP uygulaması yapılmıştır. Uzman görüşleri doğrultusunda alt boyutların önem düzeyleri aynı alınmıştır. Bu nedenle alt boyutların önem düzeyleri için AHP kullanılmamıştır. AHP hesaplamaları için EXCEL kullanılmıştır.

SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli 6 boyuttan oluşmaktadır:

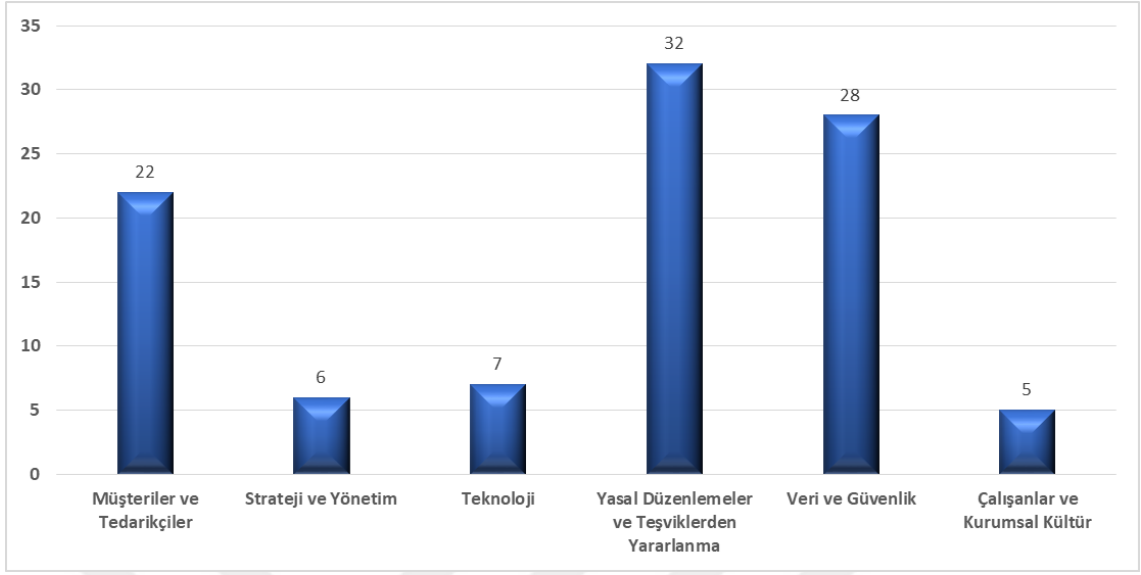
- 1) Strateji ve Yönetim,
- 2) Müşteriler ve Tedarikçiler,
- 3) Çalışanlar ve Kurumsal Kültür (Aidiyet Duygusu),
- 4) Teknoloji (Ürünler),
- 5) Veri ve Güvenlik
- 6) Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma

Daha önce bahsedildiği gibi İşletmeler için bu boyutlar eşit öneme sahip değildir. Boyutların ve alt boyutların ağırlığı belirlenirken uzmanların görüşlerine başvurulmuştur. Uzmanların boyut ağırlıkları için belirledikleri değerlerin aritmetik ortalaması alınarak tahmini boyut ağırlıkları belirlenmiş ve daha sonra boyut ağırlıklarının geçerliliği analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile test edilmiştir. Verilere göre ikili karşılaştırma matrisi üretilmiştir. Tutarlılık oranı (CR) uygun olduğu için boyutların ağırlığı yüzde olarak Çizelge. 4.9’da aşağıdaki biçimde oluşmuştur.

Çizelge. 4.9. Boyutların yüzde olarak ağırlıklarının dağılımı

Boyut	Yüzde Olarak Ağırlık
Strateji ve Yönetim	22
Müşteriler ve Tedarikçiler	6
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür (Aidiyet Duygusu)	7
Teknoloji (Ürünler)	32
Veri ve Güvenlik	28
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	5

Boyutların yüzde ağırlığı ayrıca Şekil 4.2’de sütun grafiği olarak da gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Boyutların yüzde ağırlığı

Burada en önemli boyut “Teknoloji” iken ikinci sırada öneme sahip boyutun “Veri ve Güvenlik” boyutu olduğu görülmektedir. Teknoloji boyutunun en önemli boyut olduğu kaynak araştırmasında da ayrıntılı olarak verilmişti. Bundan sonra ise sırasıyla “Strateji ve Yönetim”, “Çalışanlar ve Kurumsal Kültür”, “Müşteriler ve Tedarikçiler” ve “Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma” boyutları gelmektedir. Ağırlık sırasına göre son üç sırada bulunan boyutların birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

4.5. SANOL Olgunluk Modeli Değerlendirme Seviyelerinin Belirlenmesi

Kaynak araştırması sonucunda mevcut olan modellerde en az 4 en çok 6 değerlendirme seviyesi olduğu görülmektedir. SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli değerlendirme seviyelerini belirlerken de uzman görüşleri alınmıştır. Model için değerlendirmede 6 seviye olmasına karar verilmiştir. Endeks puanı 0 ile 5 arasında olmaktadır. 0 ile 5 arasında 6 seviye belirlenmiştir. (0: Başlamamış, 1: Başlamış, 2: Orta, 3: İleri, 4: Çok ileri, 5: Olgunlaşmış) SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli değerlendirme seviyeleri aşağıda Çizelge 4.10 ’da verilmiştir.

Çizelge. 4.10. EP: Endeks puanı ve açıklamaları

Olgunluk Seviyesi	Açıklama	Endeks Puanı Aralığı
<i>Seviye 0</i>	Başlamamış	EP = 0
SANOL Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli değerlendirme sonucunda işletmenin Endeks Puanı 0(sıfır) ise Endüstri 4.0 ile ilgilenmediğini ve Endüstri 4.0'a geçiş ile ilgili herhangi bir adım atmadığını gösterir. Değerlendirme yöntemi olarak kullandığımız anketin 4.sorusunda "İşletmenin Sanayi 4.0 ile ilgi düzeyi nedir?" diye sorulmaktadır. İşletme "ilgilenmiyor" yanıtını verirse diğer sorulara geçilmemektedir. İşletmenin değerlendirme sonucuna göre Endeks Puanı 0(sıfır) olarak alınmakta ve Olgunluk seviyeside 0(sıfır) olarak değerlendirilmektedir.		
<i>Seviye 1</i>	Başlamış	0 < EP ≤ 1
İşletme Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmalara yeni başlanmıştır ya da çok az teknoloji kullanılmaktadır. Yönetim çok az destek veriyor ve çalışanlar da Endüstri 4.0 teknolojileri hakkında çok az bilgiye sahiptir. Müşteriler ve Tedarikçiler ile iletişim için hemen hemen hiç teknoloji kullanılmamaktadır. Veri güvenliği sağlanmamaktadır. İşletme; Yasal Düzenlemelere çok az dikkat etmekte ve Teşviklerden neredeyse hiç yararlanmamaktadır.		
<i>Seviye 2</i>	Orta	1 < EP ≤ 2
İşletme; Endüstri 4.0 teknolojilerini orta seviyede kullanmaktadır. İşletmenin Endüstri 4.0 ile ilgili stratejisi vardır. Yönetim tarafından Endüstri 4.0'a geçmenin faydalarına inanılmaktadır. Çalışanların da Endüstri 4.0 teknolojilerine yatkınlıkları orta düzeydedir ve Endüstri 4.0'ın faydaları çalışanlar tarafından anlaşılmaktadır. Müşteriler ve Tedarikçiler ile iletişimde Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılmaktadır. Veri güvenliğine önem verilmektedir. Endüstri 4.0 teknolojileri işletmede orta düzeyde kullanılmaktadır. Yasal Düzenlemelere dikkat edilmekte ve Teşviklerden orta seviyede yararlanılmaktadır.		
<i>Seviye 3</i>	İleri	2 < EP ≤ 3
İşletme; Endüstri 4.0 teknolojilerini iyi düzeyde kullanmaktadır. Endüstri 4.0 Teknolojileri kullanmanın yararları yönetim ve çalışanlar tarafından anlaşılmıştır. Yönetim gerekli desteği vermektedir. Çalışanların yetkinlikleri iyi düzeydedir. Müşteriler ve Tedarikçiler de iyi düzeyde teknolojiyi kullanmakta ve Endüstri 4.0 teknolojileri işletmede iyi düzeyde kullanılmaktadır. Verilerin güvenliği iyi düzeyde sağlanmakta ve İşletme Yasal Düzenlemelere uymakta olup teşviklerden iyi düzeyde yararlanmaktadır.		
<i>Seviye 4</i>	Çok İleri	3 < EP ≤ 4
İşletme; Endüstri 4.0 teknolojilerini çok iyi düzeyde kullanmaktadır. Ancak tam olarak olgunlaşmamıştır. Yönetim Endüstri 4.0 ile gerekli tüm desteği vermektedir. Yönetim ve çalışanlar Endüstri 4.0'ı benimsemişler ve bu konuda çok iyi düzeyde yetkinliğe sahiptirler. Endüstri 4.0 teknolojileri çok iyi düzeyde kullanılmakta ve Verilerin güvenliği çok iyi düzeyde sağlanmaktadır. Yasal Düzenlemelere uyulmakta ve teşviklerden ileri düzeyde yararlanılmaktadır.		
<i>Seviye 5</i>	Olgunlaşmış	4 < EP ≤ 5
İşletme Endüstri 4.0 teknolojilerini çok iyi düzeyde kullanmakta ve olgunlaşmış durumdadır. Yönetim tarafından Endüstri 4.0 benimsenmiş ve Endüstri 4.0 ile ilgili her türlü destek verilmektedir. Çalışanlar Endüstri 4.0 teknolojileri konusunda yetkindirler, Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojiler işletmenin tüm bölümlerinde kullanılmaktadır ve Müşteriler ve Tedarikçiler de Endüstri 4.0 teknolojilerinden en iyi düzeyde yararlanmaktadır. Verilerin güvenliğine azami ölçüde dikkat edilmekte, Yasal Düzenlemelere tam uyulmakta ve teşviklerden de azami derecede yararlanılmaktadır. Endüstri 4.0 Olgunluk Değerlendirmesinde İşletme en üst seviyededir. İşletmenin hemen hemen hiç eksik kalmamıştır. Endüstri 4.0'a ilgi duyan tüm işletmelerin hedefi bu seviyede olmalıdır.		

4.6. SANOL Olgunluk Endeksinin Oluşturulması

SANOL olgunluk endeksi oluşturulurken toplam 6 boyut ve bu boyutlara bağlı toplam 48 soru kullanılmaktadır. Anketimizde kullanılan toplam 58 sorunun 10 tanesi değerlendirmede kullanılmamaktadır. Çünkü bu 10 soru e-mail adresi, kuruluş yılı gibi

genel sorulardan oluşan katalog sorular olup değerlendirmeyi etkilememekte ancak sınıflandırmada kullanılabilir. Önce her boyutun puanı ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Boyutların puanları hesaplanırken de ilk olarak ilgili boyuta bağlı alt boyutların puanları hesaplanmaktadır. Alt boyut puanları da sorulara verilen yanıtlardan oluşmaktadır. Alt boyut puanı hesaplanırken soru sayısı birden fazla ise sorulara verilen 1 ile 5 arasındaki değerlerin aritmetik ortalaması alınmaktadır. Bununla ilgili formül Denklem 4.4'te verilmiştir. Alt boyutta tek soru varsa soruya verilen yanıt alt boyut puanını belirlemektedir. Boyut puanları, alt boyut puanları ile alt boyut ağırlıklarının çarpılarak toplanmasından oluşmaktadır. Boyut puanlarının hesaplanması ile ilgili formül de Denklem 4.5'te verilmiştir. Endüstri 4.0 olgunluk modelinde kullanılan boyut ağırlıkları yukarıda Çizelge. 4.9'da verilmiştir. İşletmenin Endüstri 4.0 olgunluk endeks puanı için tüm boyutlar için çıkan puanlar boyut ağırlıklarıyla çarpılarak toplanmaktadır.

E: Endüstri 4.0 olgunluk endeks değeri (1 ile 5 arasında sayısal değer)

B: Boyut olgunluk değeri (1 ile 5 arasında sayısal değer)

A: Alt Boyut olgunluk değeri

P: Soruya verilen puan

k: Alt boyuta ait soru sayısı

n: Boyut sayısı

m: Boyutta bulunan Alt Boyut sayısı

t: Alt Boyutun model içindeki ağırlık değeri

w: Alt Boyutun boyut içindeki ağırlık değeri

g: Boyutun model içindeki ağırlık değeri

$$A_i = \sum_{j=1}^k (P_j) / k \quad (4.4)$$

$$B_i = \sum_{i=1}^m A_i * w_i \quad (4.5)$$

SANOL olgunluk endeks puanı alt boyutları kullanarak Denklem 4.6'daki formülle ya da doğrudan boyutları kullanarak Denklem 4.7'deki formül kullanılarak iki farklı biçimde de hesaplanabilir. .

Alt Boyutları kullanarak

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} * t_{ij} \quad (4.6)$$

Veya

Doğrudan boyutları kullanarak

$$E = \sum_{i=1}^n (B_i * g_i) \quad (4.7)$$

Sonuçlar bölümünde endeks puan hesapları, işletmelere değerlendirme yöntemi olarak uyguladığımız anket sonuçlarına göre ayrıntılı olarak verilmektedir.

4.7. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, basit tanımıyla karar alma süreçleri için geliştirilen veriden öğrenme yöntemidir(Jalil ve ark., 2019). Verilerdeki örüntünün bulunması ve buna bağlı olarakda algoritmanın daha iyi karar vermesi hedeflenmektedir(Serkan ve ÇETİN).

4.7.1. K-fold Çapraz Doğrulama Yöntemi

Literatürde k katmanlı çapraz doğrulama yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Makine öğrenme yöntemlerinin başarı durumlarını değerlendirmekte kullanılır. Uygulamamızda ağaç toplulukları, destek vektör makineleri, gauss süreç regresyonu, lineer regresyon ve regresyon ağaçları modelleri kullanılmıştır.

K-fold çapraz doğrulama yöntemi, verilerin tamamını dönüşümlü olarak hem eğitim hem de test işleminde kullandığından model başarısını değerlendirmek için iyi bir yöntemdir. Özellikle veri sayısı az olduğunda k-fold çapraz doğrulama yöntemi en çok kullanılan yöntemlerdendir. Bununla birlikte bu yöntemde birden çok kez eğitim ve test işlemi yapıldığı için çok fazla hesaplama işlemine gereksinim duyulur.

K-fold çapraz doğrulama yönteminde verilerin tamamı k sayıda katmana bölünür. Katmanlardan bir tanesi test için diğerleri eğitim için kullanılır. En yaygın tercih edilen katman sayısı 5'tir. Katman sayısının çok az veya çok fazla olması yöntemin performansını düşürebilir. Bu çalışmada katman sayısı 5 olarak alınmıştır. 5'e bölünen verilerin ilki test için diğerleri eğitim için kullanılır. Bir sonraki aşamada verilerin ikincisi test diğerleri eğitim için bir sonraki aşamada ise verilerin üçüncüsü test, diğerleri eğitim için kullanılır. Bu şekilde k sayısı kadar bu işlemler tekrarlanır. Tüm eğitim ve testlerden elde edilen sonuçların ortalaması doğrulama ortalaması olarak kullanılır.

Genel bir ifadeyle k -fold çapraz doğrulama yönteminde verilerin tamamı k katmana ayrılır. Bunlardan bir tanesi test için diğer $k-1$ katman ise eğitim için kullanılır. Bu yöntemde veri hem test için hem de eğitim için kullanılmış olur. Oysa sabit oran kullanılarak yapılan doğrulama işlemlerinde veri setinin belirli bir yüzdesi (örneğin yüzde 20'lik bölümü) test işlemleri için, diğer veriler ise eğitim işlemleri için kullanılmaktadır.

K-fold çapraz doğrulama yöntemi ile tüm veriyi kullanarak hem eğitim hem de test işlemi gerçekleştirdiğinden ortalama hata genellikle daha düşük olmaktadır. Ancak çok büyük boyutlu verilerde yöntemin uygulanması çok fazla zaman ve maliyet getirebilmektedir (Korkmaz ve ark., 2022).

Çalışmamızda da veri seti 5 parçaya ayrıldı bir parçası test için geri kalan veriler ise eğitim için kullanılmıştır.

4.7.2. Makine Öğrenme Yöntemleri (Machine Learning Techniques)

Yapay zekânın alt dalı olan makine öğrenimi, sorunların çözümünde problem ile ilgili verileri eğitim, test ve doğrulama amaçlı kullanarak sorunun çözümü ile ilişkili tahminler üreten algoritmalarıdır. Bu işlemler için eğitim modelleri oluşturulur. Çeşitli makine öğrenimi yöntemleri çeşitli oranda veriye gereksinim duysa da çoğunlukla modelleri sürekli olarak en iyi biçimde kullanmak ve algoritmaları kullanarak en iyi tahminleri yapabilmek için devasa miktarlarda veriler kullanılır (Wei ve ark., 2019). Makine öğrenimi ile ilgili çok sayıda algoritmalar ve yöntemler geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılanları: lineer regresyon, ağaç toplulukları, gauss süreç regresyonu, karar ağaçları, destek vektör makineleri, regresyon ağaçları, rastgele orman ve yapay sinir ağları. Makine öğrenimi yöntemleri kümeleme, sınıflandırma, tahmin, örüntü tanıma ve bilgi çıkarımı gibi farklı amaçlarla kullanılabilir (KALAYCI, 2018).

İşlemler ilk önce deney düzeneğinin yapılması ve bu düzenden gerekli verilerin toplanmasıyla başlar. Toplanan verilerdeki ölçüm ve diğer hatalar giderilir. Hatalardan arındırılmış veriler makine öğreniminde kullanılabilecek şekilde normalize edilir. Bu düzenleme sırasında ihtiyaç olan bazı veriler makine öğreniminde kullanılan matematiksel modellere de uygun olacak biçimde sayısal değerlere dönüştürülür. Bu değerlerin makine öğrenimi yöntemlerinde doğru bir biçimde kullanılabilmesi için veriler üzerinde standartlaştırma işlemi gerekebilir. Veriler eğitim verisi ve test verisi olmak üzere iki grup şeklinde kullanılır.

Makine öğrenimi yöntemlerinden beş farklı regresyon yöntemi olan ağaç toplulukları (AT) , destek vektör makineleri (DVM) , gauss süreç regresyonu (GSR) , lineer regresyon (LR) ve regresyon ağaçları (RA) yöntemleriyle eğitim süreci gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerle elde edilen eğitim modelleri kullanılarak test verisi ile tahminler üretilmiştir. Yapılan regresyon analizlerinden elde edilen tahminlerin doğruluğunun bir ölçüsü determinasyon katsayısı R^2 'dir. Bu katsayı ölçülen veri ile tahmin edilen verinin birbiri ile ne kadar uyumlu olduğunun bir kanıtıdır.

4.7.2.1. Lineer regresyon (Linear regression)

Başlıca makine öğrenme modellerinden biridir. Girdi verileri ile çıktı verileri arasında doğrusal bir ilişki olduğunda çoğunlukla bu yöntem kullanılmaktadır. Lineer regresyon (LR) bağımlı bir değişken ile bir veya birden fazla bağımsız değişken arasındaki neden sonuç ilişkisini ortaya koyabilmek amacıyla kullanılan özünde istatistik bilimine dayanan bir yöntemdir. Lineer regresyon modeli, bir fonksiyon vasıtasıyla bağımlı değişkeni bağımsız değişken veya değişkenlerle ilişkilendirir(Luu ve ark., 2021). LR yöntemi Denklem 4.8 ile formüle edilmiştir.

$$y = a_0 + a_1X + \varepsilon \quad (4.8)$$

Denklem 4.8’de, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken ve ε hata terimidir. a_0 sabit terim olup, regresyon doğrusunun düşey eksendeki kesişimini, a_1 ise regresyon doğrusunun eğimini gösteren regresyon katsayısıdır. Burada a_1 bir sabit olup değişimin yönünü ve miktarını verir. a_1 ’in değerinin pozitif olması değişimin arttığı, a_1 ’in değerinin negatif olması ise değişimin azaldığı anlamına gelir(Bayazıt ve OĞUZ, 1994).

LR yönteminde tek bir bağımsız değişken kullanılabileceği gibi daha çok bağımsız değişken de kullanılabilir. Yöntemde birden çok bağımsız değişken kullanılırsa yöntem çoklu lineer regresyon (ÇLR) adını alır(Memnun ve Kalaycı, 2006; Rong ve Bao-Wen, 2018). Çoklu lineer regresyon (ÇLR) yöntemi ile ilgili formül Denklem 4.9’de verilmektedir.

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + \varepsilon \quad (4.9)$$

Denklem 4.9’da birden çok regresyon katsayısı ($a_1, a_2, \dots, a_n$) ve birden çok bağımsız değişken ($X_1, X_2, \dots, X_n$) bulunmaktadır. Çoğunlukla en küçük kareler yaklaşımı kullanılarak tahmindeki olası hata sıfıra yaklaştırılmaya çalışılır(Aslan ve ark., 2011).

4.7.2.2. Destek vektör makineleri (Support vector machines)

Destek vektör makineleri (DVM), vapnik tarafından 1990’lı yılların başında geliştirilmiştir(Cortes ve Vapnik, 1995). DVM algoritması, veriyle ilgili birleşik dağılım fonksiyonu bilgisine gereksinimi olmadığından dağılımdan bağımsız çalışabilen bir makine öğrenmesi algoritmasıdır(Soman ve ark., 2009). Destek vektör makinelerinin amacı sınıfların birbirinden ayrılması için en iyi ayırma hiper düzleminin bulunmasıdır. Bir başka deyişle çeşitli sınıfların destek vektörleri arasındaki uzaklığı en büyükmektir

(Ayhan ve Erdoğan, 2014). Bir destek vektör makinesi, verileri en iyi bir biçimde iki farklı gruba ayıran n-boyutlu bir hiperdüzlem meydana getirir. DVM'ler makine öğrenimi ve istatistik yöntemlerinden sinir ağlarının çeşitli tekniklerini beraber kullanırlar(Haykin, 1999; Tolun, 2008). DVM, yüksek genelleme yeteneğine sahiptir ve yüz tanıma, ses tanıma, el yazısı tanıma ve metin sınıflandırma gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır(Cristianini ve Shawe-Taylor, 2000; Schölkopf ve ark., 1999).

DVM yöntemi ilk başlarda doğrusal verilerin iki sınıfa ayrılması için geliştirilmiş olsa da günümüzde doğrusal olmayan ve çok sınıflı veriler üzerinde tahminler üretmek için de kullanılmaktadır. Doğrusal ayrılabilen veriler için genellikle iki sınıfa ayrılabilen örnek verileri kullanarak yapılan eğitimler neticesinde bulunan karar fonksiyonu sayesinde verilerin birbirinden ayrılması amaçlanır(Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010). Optimum hiperdüzleme ait Denklem 4.10 ve 4.11'de verilmektedir.

$$w \cdot x_i + b \geq +1, y = +1 \quad (4.10)$$

$$w \cdot x_i + b \leq -1, y = -1 \quad (4.11)$$

Bu denklemlerde $x \in \mathbb{R}^N$ N-boyutlu uzayı, $y \in (-1, +1)$ sınıf etiketlerini, b eğilim değerini, w ağırlık vektörünü gösterir(Hearst ve ark., 1998; Huang ve ark., 2018).

Bazı durumlarda verileri doğrusal olarak ayırmak olanaksızdır. Bu durumda doğrusal ayrılamayan verilerin doğru sınıflandırılması için düzenleme parametresi ve yapay değişken kullanılarak optimizasyon sorunu çözülmeye çalışılır(Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010).

4.7.2.3. Gauss süreç regresyonu (Gaussian process regression)

Gauss süreç regresyonu (GSR), bilinmeyen fonksiyonları tanımlamaya, etkin olarak öğrenmeye ve optimize etmeye yönelik bir yöntemdir(Becker ve ark., 2018). Gauss süreç regresyonu (GSR), genellikle doğrusal olmayan regresyon problemlerini çözmek için olasılıklı, parametrik olmayan problemlerde daha fazla kullanılan çok başarılı bir makine öğrenme yöntemidir(Liu ve ark., 2019; Mehmet ve DOĞANSOY, 2022). GSR, çok küçük verilerde dahi çok başarılı sonuçlar üretebilir ve tahminlerde belirsizlik ölçümleri yapabilecek özelliklere sahiptir(Ateş, 2020). GSR ile en doğru seçeneğin belirlenebilmesine olanak sağlayan farklı kovaryans fonksiyonları

kullanılabilir(Heo ve Zavala, 2012). Gauss süreç fonksiyonu $f(x)$ Denklem 4.12’de verilmektedir (Rasmussen ve Williams, 2006).

$$f(x) = GP(m(x), k(x, x')) \quad (4.12)$$

Denklem 4.12’de $m(x)$ ortalama fonksiyonu, $k(x, x')$ de kovaryans fonksiyonudur. Ortalama fonksiyonu Denklem 4.13’de kovaryans fonksiyonu da Denklem 4.14’te verilmektedir.

$$m(x) = E[f(x)] \quad (4.13)$$

$$k(x, x') = E[(f(x) - m(x))(f(x') - m(x')))] \quad (4.14)$$

Gauss sürecinin hiper-parametreleri kovaryans fonksiyonu ve ortalama fonksiyonudur. Ortalama fonksiyonu, x girdisine sahip $f(x)$ fonksiyonunun beklenen değerini gösterir ve çoğunlukla sadeleştirmek için sıfır olarak alınmaktadır. Ortalama fonksiyonu için güven düzeyinin bir ölçüsü kovaryans fonksiyonudur(Boran, 2021).

4.7.2.4. Regresyon ağaçları

Regresyon ağaçları (RA), bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkisini belirlemeyi amaçlayan, topluluk üyelerini homojen alt sınıflara ayıran makine öğrenmesi yöntemidir. Regresyon ağaçları yöntemi parametrik değildir. İlk başta kök düğüm oluşturulur, daha sonra dallara ayırma işlemi uygulanır. Ayırma işlemi düğümdeki bireyler için belirlenen bağımsız değişkenler aynı değeri aldığı anda bitirilir. RA yöntemi, benzerlik gösteren bireylerin aynı ağaç düğümünde toplanması temeline dayanmaktadır. RA yönteminde, ağacın oluşumu, budama ve en uygun ağaç yapısının seçilmesi işlemleri uygulanır(Yücel, 2017). Yüksek hataya sahip olan ve tahminlere düşük katkıda bulunan düğümler veya dalların atılması işlemine budama denir(Mendeş ve Akkartal, 2009).

Regresyon ağaçları(RA) yönteminde tahmin edilen öznitelik değerleri süreklilik gösteren gerçek sayılardan oluşur. Bu yöntemde tahmin değerlerinin karesel ortalama hatasını en aza indirgeyecek bölünmeler hesaplanarak ağacın büyümesi ve dallara ayrılması işlemleri uygulanır. Yapraklarda elde edilen tahminler düğüm için hesaplanan ağırlıklı ortalamalarla ilişkilidir(Maimon ve Rokach, 2005).

Regresyon ağaçlarında üç ayırma kuralı uygulanır. Bunlar; Least Squares (LS), Clark&Pregibon (CP), Least Absolute Deviaton (LAD). Buradaki temel gaye, düğümleri olabildiğince homojen yapıya kavuşturmadır(Temel, 2004).

RA yöntemi, bağımsız değişkenleri aralıklara ayırır ve bundan dolayı sürekli değil kesiklidir. Bundan dolayı belirli aralıklarda istenen tahminlerin sonuçları muhtemelen aynı çıkabilir.

4.7.2.4. Ağaç toplulukları

Ağaç toplulukları, birden çok ağaçtan gelen bilgileri büyüterek toplayan kademeli bir süreçtir. Her bir ağaç daha önce yetiştirilmiş ağaçlardan gelen bilgiler kullanılarak büyütülür. İşleyiş, orijinal verilere bir regresyon ağacı sığdırarak başlar ve önceki modelin artıkları üzerine regresyon ağaçları uydurarak sürekli güncelleme yapar. Bir model verildiğinde, sonuç değişkeni yerine modelin artıklarına bir ağaç yerleştirilir. Eklenen yeni ağaç daha sonra artıkları güncellemek için takılan fonksiyona eklenir. Her bir ağacın yapısı, yetiştirilmiş olan ağaçlara önemli ölçüde bağlıdır(Schiltz ve ark., 2018).

Ağaç toplulukları topluluk sınıflandırıcı sistemi gibi kullanılabilir. Çoklu sınıflandırıcılar makine öğreniminde yaygın şekilde araştırılan ve kullanılan yaklaşım biçimidir. Pek çok çalışma, birçok kararsız sınıflandırıcının tek bir toplu sınıflandırıcıda birleştirilmesinin, tek bir kararsız sınıflandırıcı örneğine göre çok daha iyi bir performans sergilediğini göstermektedir(Opitz ve Maclin, 1999). Karar ağaçları ve sinir ağları, kararsız sınıflandırıcılara örnek olarak gösterilebilir(Breiman, 1996). Bu tip kararsız sınıflandırıcıların tahmin yeteneği, eğitim setindeki çok küçük bir bozulmadan dahi önemli ölçüde etkilenebilir. Bu sebeple farklı stratejilere sahip karar ağaçları ve sinir ağları toplulukları tavsiye edilmiştir(Zhou ve ark., 2004). Rastgele orman bu tür topluluklara çok iyi bir örnek olarak gösterilebilir(Breiman, 2001). Sınıflandırma ve regresyon görevlerinde yüksek performansa sahip torbalama ve rastgele altuzay yöntemleri kullanılarak meydana getirilen karar ağaçlarından oluşan bir komitedir (Katuwal ve ark., 2018).

Ağaç topluluklarında, sınıflandırma performansını iyileştirmek için gradyan artırma ve rastgele orman gibi farklı topluluk yöntemleri yaygın olarak kullanılır. Karar ağaçları, sinir ağı tabanlı sınıflandırıcılar ile mukayese edildiğinde eğitim ve sınıflandırmada çok daha hızlıdır ve ayarlar için çok daha az parametreye gereksinim duyarlar. Basitce paralelleştirilebilirler ve gürültüyü etiketlemek için güçlü bir yöntemdir (Shoaran ve ark., 2018).

4.7.3. Hata Metrikleri

Hata metrikleri tasarlanan modelin geri bildirimidir. Bu metriklere göre tasarlanan modelin başarımı ölçülerek gerekli durumlarda modelde iyileştirmeler yapılır(Özen ve ark., 2021).

4.7.3.1. Determinasyon katsayısı (R^2)

Determinasyon katsayısı 0 ile 1 arasında değerler alabilen modelde tahmin edilen değerlerin performansını gösteren R^2 olarak adlandırılan bir katsayıdır. R^2 , verilerin bir eğriye ne kadar iyi uyduğunu belirler. Denklem 4.15'te R^2 hesaplamasının nasıl yapıldığı gösterilmektedir. Determinasyon Katsayısı 1'e yaklaştıkça başarı oranının arttığını gösterir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.15)$$

y_i : Gerçek değer

$\hat{y}$: Tahmin edilen değer

$\bar{y}$: Ortalama değer

n : Gözlem sayısı

4.7.2.5. Kök ortalama kare hata (RMSE)

Genel bir ifadeyle RMSE, gerçek ve tahmin değerlerinin standart sapmasını verir. Bir makine öğrenmesi modelinin, tahminleyicinin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerleri arasındaki uzaklığın bulunmasında çok tercih edilen, hatanın büyüklüğünü ölçen bir hata metriğidir. Denklem 4.16'da gösterildiği gibi formüle edilmiştir. RMSE, bir başka ifadeyle gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki farkın (tahmin hatalarının) standart sapmasıdır. Kısaca, tahmin hataları, regresyon hattının veri noktalarından ne kadar uzakta olduğunun bir ölçüsüdür. RMSE ise bu kalıntıların ne kadar yayıldığına bir ölçüsüdür. RMSE değeri 0'dan ∞ 'a kadar farklı değerler alabilir. RMSE değerinin sıfır olması modelin hiç hata yapmadığını ifade eder. RMSE'nin üstünlüğü, büyük hataları daha fazla cezalandırmasıdır. Bu nedenle bazı problemler için çok uygun olabilir. RMSE, birçok matematiksel hesaplamada istenmeyen mutlak değerin kullanılmasını engeller(Chai ve Draxler, 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4.16)$$

y_i : Gerçek değer

$\hat{y}$: Tahmin edilen değer

n : Gözlem sayısı

4.7.2.6. Ortalama kare hata (MSE)

Ortalama kare hata (MSE) gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki kare farkının aritmetik ortalamasını verir. Denklem 4.17’de MSE performans metriğinin nasıl hesaplandığı verilmiştir. Denklemde $\hat{y}$ ifadesi tahmin edilen değeri ifade ederken y ifadesi gerçek değeri ve n gözlem sayısını göstermektedir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.17)$$

y_i : Gerçek değer

$\hat{y}$: Tahmin edilen değer

n : Gözlem sayısı

4.7.2.7. Ortalama mutlak hata (MAE)

MAE, gerçek ve tahmin edilen değerler arasında mutlak mesafenin ortalamasını gösterir.

Ortalama mutlak hata (MAE), kolay yorumlanabilir olması nedeniyle regresyon ve zaman serisi problemlerinde çok tercih edilmektedir. Denklem 4.18’de MAE performans metriğinin denklemi verilmiştir. MAE, iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsüdür bir başka ifadeyle gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkların mutlak değerlerinin toplamıdır. MAE değeri 0’dan ∞ ’a kadar değer alabilir (Chai ve Draxler, 2014).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (4.18)$$

y_i : Gerçek değer

$\hat{y}$: Tahmin edilen değer

n : Gözlem sayısı

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Sanol Olgunluk Modelinin Sanayideki İşletmelere Uygulanması

Başkent OSB’de bulunan ve imalat sektöründe olan PAYSA işletmesine uygulanan anket sonucuna göre işletmenin her boyut için puanı Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Müşteri ve Tedarikçiler boyutundan tam puan alan işletmenin bu boyut için olgunlaştığı söylenebilir. Diğer boyut puanlarının ise 3 ile 4 arasında olduğu görülmektedir. Değerlendirme 5 tam puan üzerinden yapılmaktadır.

Çizelge. 5.1. Boyutların değerlendirme endeksindeki puanları

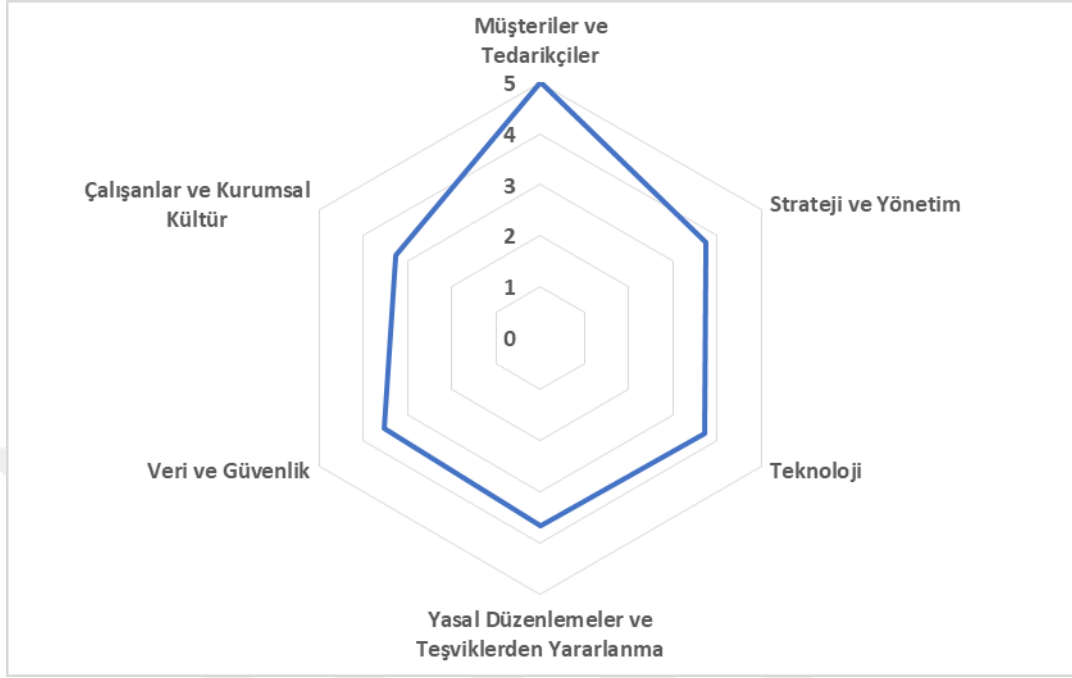
Boyut	Puanı
Strateji ve Yönetim	3.752
Müşteri ve Tedarikçiler	5.000
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür (Aidiyet Duygusu)	3.250
Teknoloji (Ürünler)	3.714
Veri ve Güvenlik	3.533
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	3.666

İşletmenin en yüksek puana sahip olduğu boyuttan en düşük puana doğru sıralaması Çizelge 5.2’de verilmiştir. Sırasıyla müşteri ve tedarikçiler, strateji ve yönetim, teknoloji(ürünler) , yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma, veri ve güvenlik ve son olarak da çalışanlar ve kurumsal kültür (aidiyet duygusu) boyutu gelmektedir. Müşteri ve tedarikçiler boyutu dışındaki tüm boyutlar 4.seviyededir. Müşteri ve tedarikçiler boyutu ise 5. seviyededir. Yani olgunlaşmıştır.

Çizelge. 5.2. Puan Sıralamasına göre boyutların gösterimi

Boyut	Puanı
Müşteri ve Tedarikçiler	5.000
Strateji ve Yönetim	3.752
Teknoloji (Ürünler)	3.714
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	3.666
Veri ve Güvenlik	3.533
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür (Aidiyet Duygusu)	3.250

PAYSA işletmesine ait boyut puanları Şekil 5.1’de radar grafiğiyle gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Boyutların radar grafiği ile gösterimi

İşletmenin olgunluk endeks puanı hesaplanırken Denklem 5.1’de gösterildiği gibi; her boyutun puanı, o boyutun ağırlığı ile çarpılarak, toplanır .

$$E = \sum_{i=1}^n (B_i * g_i) \quad (5.1)$$

Olgunluk endeks puanı =

$$(3.752 * 0.22 + 5 * 0.06 + 3.25 * 0.07 + 3.714 * 0.32 + 3.533 * 0.28 + 3.667 * 0.05)$$

$$\text{Olgunluk Endeks puanı} = 3.714$$

İşletmenin olgunluk endeks puanı yapılan hesaplamalar sonucunda 3.714 olarak bulunmuştur. Olgunluk endeks puanı 3 ile 4 arasında olduğu için İşletmenin olgunluk seviyesi 4 olarak belirlenmektedir. İşletme yüzde 74.28 olgunlaşmıştır.

5.2. SANOL Endüstri 4.0 Olgunluk Modelinin Bir Elektronik ve Enerji Şirketinde Uygulanması

SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli, geçerliliğini doğrulamak için farklı sektörlerle uygulanmıştır. Bu bölümde, Konya’da yerleşik bir elektronik ve enerji şirketi olan Endüstriyel Elektronikten elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Endüstriyel Elektronik 1988 yılından bu yana elektronik ve enerji sektöründe faaliyet göstermekte olup endüstriyel otomasyon konusunda uzmanlaşmıştır. Yerli sermayeli ve 318 çalışanı olan büyük ölçekli bir kuruluştur ve yıllık cirosu 500 milyon Türk lirasının üzerindedir. Anket uygulama sonuçlarına göre bulunan boyut puanları aşağıda Çizelge 5.3’te boyut puan sırasına göre sunulmaktadır. Değerlendirme 5 tam puan üzerinden yapılmaktadır.

Çizelge. 5.3. Endüstriyel elektronik şirketinin değerlendirme sonrası boyut puanlarının sıralı listesi

Boyut	Puanı
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	4.560
Teknoloji (Ürünler)	4.500
Veri ve Güvenlik	4.130
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür (Aidiyet Duygusu)	3.800
Müşteri ve Tedarikçiler	3.600
Strateji ve Yönetim	3.200

İşletmenin olgunluk endeksi puanı Denklem 5.2’de gösterildiği gibi her boyutun puanı ile boyut ağırlığının çarpılarak toplanması sonucu ortaya çıkmaktadır.

$$E = \sum_{i=1}^n (B_i * g_i) \quad (5.2)$$

Olgunluk Endeks Puanı =

$$(3.200*0.22+3.600*0.06+3.800*0.07+4.500*0.32+4.130*0.28+4.560*0.05)$$

$$\text{Olgunluk Endeks Puanı} = 4.010$$

Yapılan değerlendirmeler ve hesaplamalar sonucunda Endüstriyel Elektronik’in en yüksek puanı 4.560 puan ile “teşviklerden ve yasal düzenlemelerden yararlanma” boyutu iken en düşük puanının ise 3.200 ile “strateji ve yönetim” boyutu olduğu görülmektedir. Şirketin olgunluk endeksi puanı 4’ün üzerinde olduğu için seviye 5 olarak kabul edilmektedir. Çizelge 5.3’e göre bu şirketin “olgunlaşmış” olduğu ve genel olarak

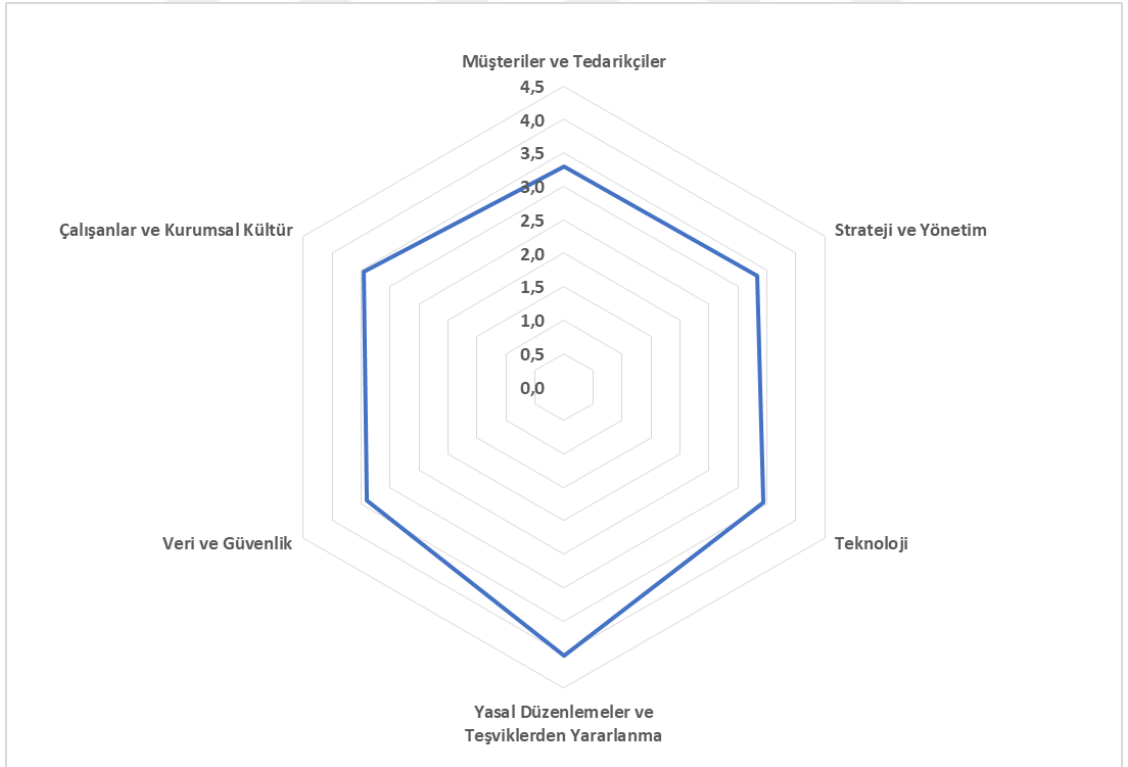
Endüstri 4.0 olgunluğunun en yüksek seviyede olduğu söylenebilir. İşletmenin seviyesi 4,0'dan büyük olduğu için 5.seviyede olup Endüstri 4.0 bakımından olgunlaşmıştır.

Farklı OSB'lerde ve çeşitli sektörlerden 61 işletmeye uygulanan modelin sonuçları her boyut için Çizelge. 5.4'te ayrı ayrı verilmiştir. Değerlendirme 5 tam puan üzerinden yapılmaktadır.

Çizelge. 5.4. Tüm işletmelerin ortalama puanları

Boyutlar ve Puanları	
Strateji ve Yönetim	3.39
Müşteriler ve Tedarikçiler	3.30
Çalışanlar ve Kurumsal Kültür (Aidiyet Duygusu)	3.45
Teknoloji (Ürünler)	3.44
Veri ve Güvenlik	3.40
Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma	4.02

Tüm işletmelerin her boyut için ortalama puanları Şekil 5.2'de radar grafiği ile gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Boyutların radar grafiği ile gösterimi

Denklem 5.3'te gösterildiği gibi tüm işletmeler için olgunluk endeks puanı hesaplanırken her boyutun puanı ile o boyuta ait boyut ağırlığı çarpılarak toplanır.

$$E = \sum_{i=1}^n (B_i * g_i) \quad (5.3)$$

Olgunluk Endeks Puanı =

$$(3.39*0.22+3.30*0.06+3.45*0.07+3.44*0.32+3.40*0.28+4.02*0.05)$$

Olgunluk Endeks puanı = 3.40

Endüstri 4.0 ile ilgilenen ve ankete katılan 61 işletmenin olgunluk endeks puan ortalaması 3.4 bir başka ifadeyle yüzde 68 olgunlaşmıştır.

Farklı sektörlerden değerlendirme anketine katılan 61 işletmenin kuruluş yıllarına göre analizi Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge. 5.5. Katılan işletmelerin yaşı

Yaşı (Yıl)	Sayısı	Yüzdesi	Endeks Puan	Strateji ve Yönetim	Müşteriler ve Tedarikçiler	Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Teknoloji	Veri ve Güvenlik	Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma
10'dan küçük	20	32.79	2.73	2.45	2.55	2.82	2.84	2.71	3.45
10 ile 19 arası	14	22.95	3.35	3.53	3.03	3.13	3.27	3.33	3.96
20 ve fazlası	27	44.26	4.00	4.01	3.99	4.08	3.96	3.94	4.48
Toplam/Ortalama	61	100.0	3.44	3.39	3.30	3.45	3.44	3.40	4.02

İşletmeler kuruluş yıllarına göre değerlendirildiğinde eski işletmelerin her boyut için puanlarının yeni kurulan işletmelere göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir. 20 yıl ve daha önce kurulan işletmelerin puan ortalaması 4.00 iken son 9 yıl içinde kurulan işletmelerin puan ortalaması 2.73'tür.

Değerlendirme anketinin uygulandığı 61 işletme faaliyet alanlarına göre analiz edilerek sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge. 5.6. Katılan işletmelerin faaliyet alanları

Faaliyet Alanı	Sayısı	Yüzdesi	Endeks Puan	Strateji ve Yönetim	Müşteriler ve Tedarikçiler	Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Teknoloji	Veri ve Güvenlik	Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma
Makine	8	13.12	3.40	3.45	2.70	3.36	3.41	3.46	3.64
Hizmet	10	16.39	3.10	2.94	3.38	3.24	3.10	2.97	3.95
Elektronik	13	21.31	3.34	3.12	2.94	3.27	3.46	3.37	4.03
İmalat	13	21.31	3.58	3.53	3.54	3.76	3.54	3.52	4.17
Lojistik	9	14.75	3.58	3.64	3.58	3.43	3.52	3.54	4.19
Diğer	8	13.12	3.66	3.80	3.66	3.62	3.59	3.56	4.07
Toplam/Ortalama	61	100.0	3.44	3.39	3.30	3.45	3.44	3.40	4.02

Faaliyet alanlarına göre işletmeler değerlendirildiğinde hizmet sektöründeki işletmelerin puanları en düşüktür. Lojistik, imalat ve diğer sektördeki firmaların endeks puanları ortalamanın üstündedir.

Değerlendirme anketinin uygulandığı 61 işletme sermaye durumuna göre analiz edilerek sonuçlar Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge. 5.7. Katılan işletmelerin sermayesi

Sermaye	Sayısı	Yüzdesi	Endeks Puan	Strateji ve Yönetim	Müşteriler ve Tedarikçiler	Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Teknoloji	Veri ve Güvenlik	Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma
Yerli	49	80.33	3.50	3.44	3.40	3.52	3.51	3.44	4.05
Yabancı	7	11.47	3.21	3.31	3.07	3.22	2.95	3.27	4.25
Yerli ve Yabancı Birlikte	5	8.20	3.16	2.97	2.57	3.08	3.38	3.14	3.42
Toplam/Ortalama	61	100.0	3.44	3.39	3.30	3.45	3.44	3.40	4.02

İşletmeler kuruluş sermayelerine göre değerlendirildiğinde sermayesi yerli olan işletmelerin her boyut için puanları en yüksek ve ortalama puanları da en yüksektir.

Sermayesi yabancı olan işletmelerin bunu takip ettiğini görüyoruz. Puan ortalaması en düşük olan işletmeler ise yerli ve yabancı sermaye ortaklı işletmelerdir. Yabancı sermayeli işletmelerin ağırlıklı hizmet sektöründe oldukları için Endüstri 4.0 teknolojilerini daha az kullandıkları görülmektedir.

Değerlendirme anketinin uygulandığı 61 işletme çalışan sayısına göre analiz edilerek sonuçlar Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge. 5.8. Katılan işletmelerin çalışan sayıları

Çalışan Sayısı	Sayısı	Yüzdesi	Endeks Puan	Strateji ve Yönetim	Müşteriler ve Tedarikçiler	Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Teknoloji	Veri ve Güvenlik	Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma
1-9	7	11.48	3.38	3.16	3.53	3.45	3.40	3.41	3.85
10-50	13	21.31	3.31	3.27	3.23	3.32	3.28	3.32	3.82
51-250	24	39.34	3.39	3.40	3.23	3.38	3.41	3.25	4.13
251-1000	11	18.03	3.69	3.69	3.36	3.81	3.58	3.83	3.89
1000+	6	9.84	3.49	3.30	3.32	3.36	3.66	3.35	4.50
Toplam/Ortalama	61	100.0	3.44	3.39	3.30	3.45	3.44	3.40	4.02

İşletmeler çalışan sayısına yani büyüklüğüne göre değerlendirildiğinde 251-1000 çalışan sayısına sahip işletmelerin ortalama puanları en yüksek, arkasından 1000+ çalışanlı işletmeler gelmektedir. Müşteriler ve tedarikçiler boyutu 1-9 çalışanlı işletmelerde en yüksek puana sahip, teknoloji ve yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutları 1000+ çalışan sayısına sahip işletmelerde en yüksek puana sahiptir. Büyük işletmelerin seviyelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Değerlendirme anketinin uygulandığı 61 işletme cirolarına göre analiz edilerek sonuçlar Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge. 5.9. Katılan işletmelerin yıllık ciroları

Ciro	Sayısı	Yüzdesi	Endeks Puan	Strateji ve Yönetim	Müşteriler ve Tedarikçiler	Çalışanlar ve Kurumsal Kültür	Teknoloji	Veri ve Güvenlik	Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma
<1 milyon Türk Lirası	2	3.28	2.22	1.95	2.51	3.02	2.31	1.92	3.02
1 – 10 milyon Türk Lirası	3	4.92	3.49	3.08	3.50	3.29	3.65	3.66	3.49
10 – 50 milyon Türk Lirası	8	13.11	3.40	3.29	3.30	3.30	3.32	3.54	3.40
50 -100 milyon Türk Lirası	7	11.48	3.11	3.16	3.18	3.32	3.08	2.90	3.11
100 –250 milyon Türk Lirası	13	21.31	3.57	3.56	3.65	3.56	3.57	3.47	4.14
250–500 milyon Türk Lirası	15	24.59	3.64	3.51	3.45	3.52	3.73	3.58	4.27
>500 milyon Türk Lirası	13	21.31	3.44	3.54	2.91	3.52	3.35	3.45	4.07
Toplam/Ortalama	61	100.0	3.44	3.39	3.30	3.45	3.44	3.40	4.02

Yıllık cirolarına göre 100-250 milyon Türk lirası geliri olan işletmeler strateji ve yönetim, müşteriler ve tedarikçiler ve çalışanlar ve kurumsal kültür boyut puanları en yüksek olan işletmelerdir. 250-500 milyon Türk lirası geliri olan işletmeler teknoloji, veri ve güvenlik, yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyut puanları en yüksek olan işletmelerdir. Ortalama puanı en yüksek olan işletmeler 250-500 milyon Türk lirası geliri olan işletmelerdir. Puan ortalamaları en yüksek 2. sırada olan işletmeler 100-250 milyon gelire sahip işletmelerdir. Yıllık geliri yüksek olan işletmelerin puan ortalamaları daha yüksektir.

5.3. Makine Öğrenmesi Bulguları

Bu çalışma kapsamında sanayi olgunluk endeksi değerlendirmesi yapılabilmesi için sahada anket çalışması yapılmıştır. Ankette toplam 58 soru bulunmaktadır. Anket çalışması yapmak oldukça zor ve zaman aldığından ancak 61 işletmeden istenilen tüm cevaplar alınabilmiş ve SANOL yöntemi ile sanayi olgunluk endeksi genel puanı hesaplanmıştır.

Anket yapmanın zor ve zaman alması, maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle özellikle sanayi bölgelerinde bulunan çok sayıda işletmenin sanayi olgunluk endeksi

değerlendirmelerini daha hızlı, ucuz ve kolay yapabilmek amacıyla bu çalışmada makine öğreniminin başarısı araştırılmıştır. Yapılan çalışmayla, makine öğreniminde kullanılmak üzere girdi olarak işletmenin yaşı, faaliyet alanı, sermaye büyüklüğü, çalışan sayısı ve ciro bilgileri kullanılmış, çıktı olarak genel puan tahmin edilmeye çalışılmıştır. Makine öğreniminden elde edilen sonuçlarla sahada yapılan anket sonuçlarından elde edilen sonuçlar arasındaki uyumluluk ve doğruluk hesaplanmıştır. Girdi verileri az olduğu için doğrulama amacıyla k-fold çapraz doğrulama yöntemi 5'li olarak gerçekleştirilmiştir. Doğrulama sonucunda elde edilen R^2 değerleri; LR yönteminde 0.74, DVM yönteminde 0.75, GSR yönteminde 0.74, RA yönteminde 0.69 ve AT yönteminde 0.70 olarak bulunmuştur. Kök ortalama kare hata (RMSE) değerleri; LR yönteminde 0.33, DVM yönteminde 0.33, GSR yönteminde 0.33, RA yönteminde 0.36 ve AT yönteminde 0.36 olarak bulunmuştur. Ortalama kare hata (MSE) değerleri; LR yönteminde 0.11, DVM yönteminde 0.11, GSR yönteminde 0.11, RA yönteminde 0.13 ve AT yönteminde 0.13 olarak bulunmuştur. Ortalama mutlak hata (MAE) değerleri LR yönteminde 0.28, DVM yönteminde 0.26, GSR yönteminde 0.28, RA yönteminde 0.28 ve AT yönteminde 0.30 olarak bulunmuştur.

Makine öğrenimi yöntemi ile yapılan çalışmaların sahada anket çalışmasıyla elde edilen sanayi olgunluk endeksi genel puanına yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Kullanılan beş farklı makine öğrenimi yönteminden DVM yöntemi en yüksek doğruluk değerine ulaşmış olup, GSR ve LR yöntemleri de DVM yöntemine çok yakın doğruluk değerine ulaşmıştır. Beş farklı makine öğrenimi yöntemiyle yapılan test tahmin sonuçlarına ait doğruluk değerleri Çizelge 5.10'da verilmektedir.

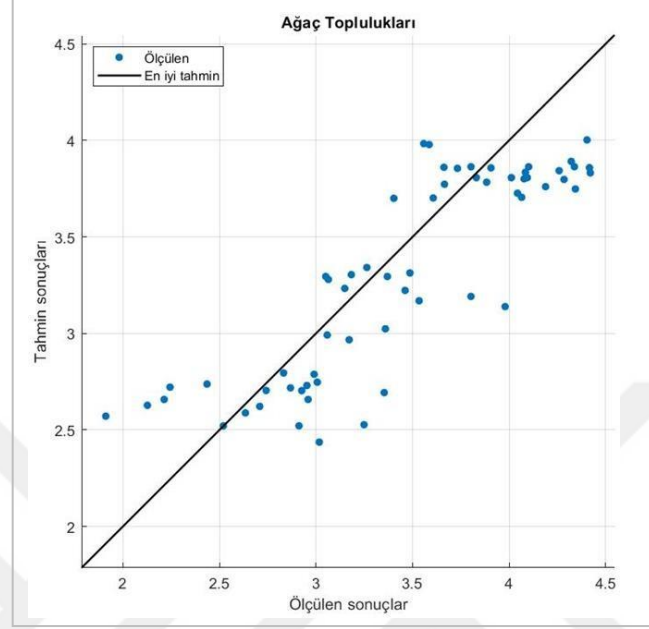
Çizelge. 5.10. Makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak elde edilen test tahmin sonuçlarının doğruluk değerleri (Accuracy values of test prediction results obtained using machine learning methods)

	LR	DVM	GSR	RA	AT
Determinasyon Katsayısı (R^2)	0.74	0.75	0.74	0.69	0.70
Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)	0.33	0.33	0.33	0.36	0.36
Ortalama Kare Hata (MSE)	0.11	0.11	0.11	0.13	0.13
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	0.28	0.26	0.28	0.28	0.30

Çalışmanın sonucu olarak, işletmeler hakkında sanayi olgunluk endeksi genel değerlendirmesi yapılmak istenildiğinde anket çalışmasına gerek olmaksızın işletmeye ait temel bilgiler kullanılarak makine öğrenimi yöntemiyle sonuç alınabileceği

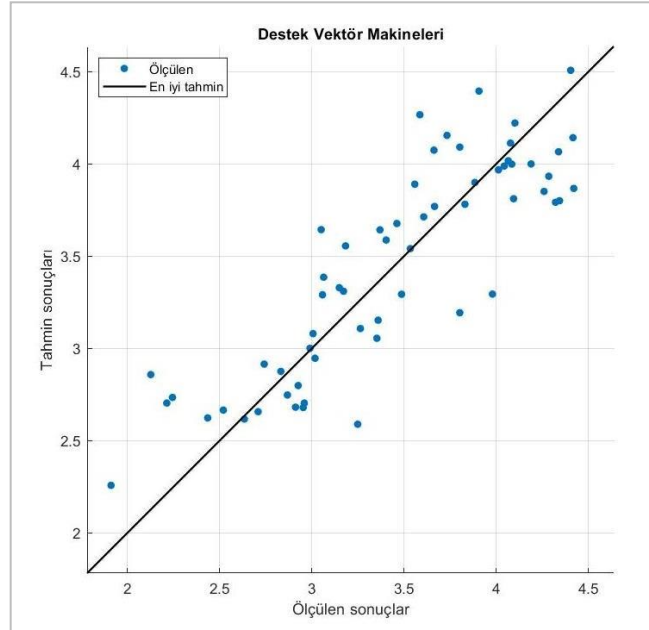
anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar, oldukça zor ve zahmetli olan anket çalışmasına olan bağımlılığın önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir.

Makine öğrenimi yöntemlerinden ağaç toplulukları modeliyle yapılan çalışmalardan elde edilen testlere ait sonuç grafiği Şekil 5.3'te verilmiştir.



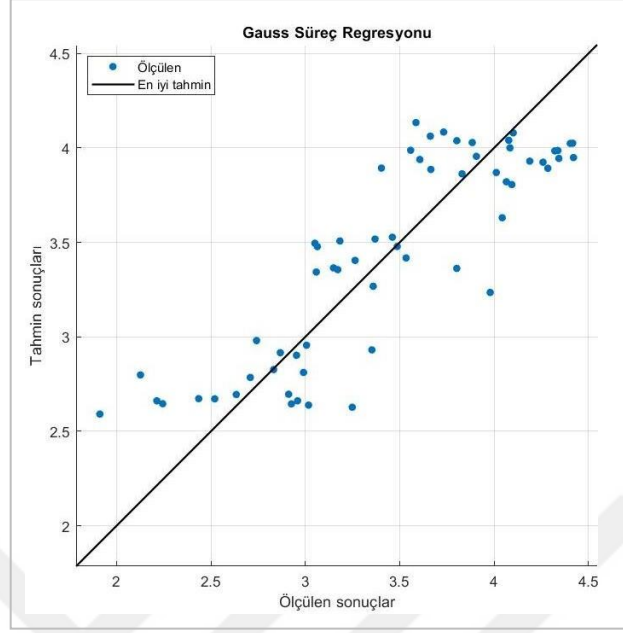
Şekil 5.3. AT yöntemi ile ölçülen ve tahmin edilen endeks puanları

Makine öğrenimi yöntemlerinden destek vektör makineleri modeliyle yapılan çalışmalardan elde edilen testlere ait sonuç grafiği Şekil 5.4'te verilmiştir.



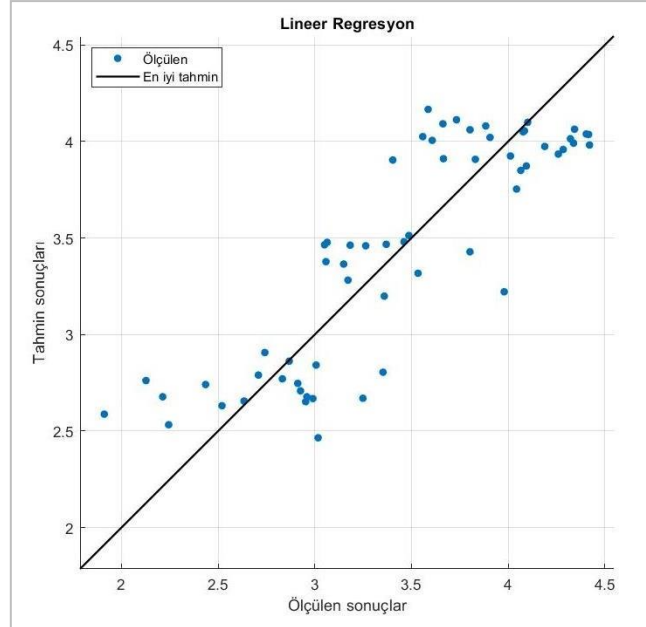
Şekil 5.4. DVM yöntemi ile ölçülen ve tahmin edilen endeks puanları

Makine öğrenimi yöntemlerinden gauss süreç regresyanu modeliyle yapılan çalışmalardan elde edilen testlere ait sonuç grafiği Şekil 5.5'te verilmiştir.



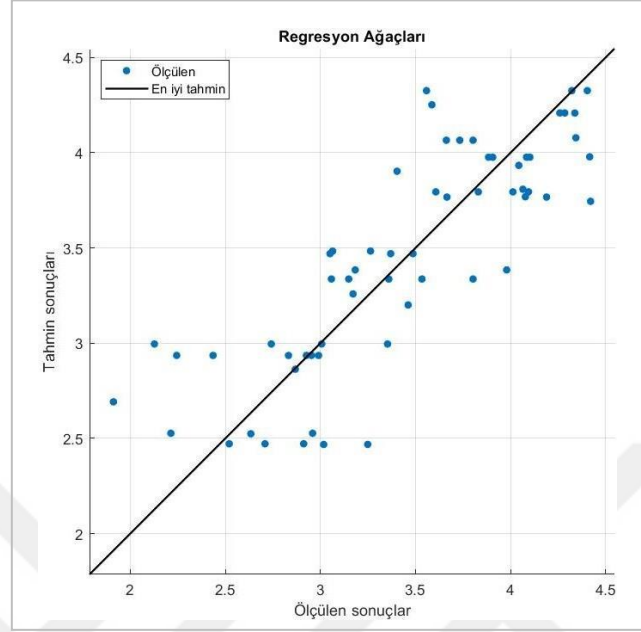
Şekil 5.5. GSR yöntemi ile ölçülen ve tahmin edilen endeks puanları

Makine öğrenimi yöntemlerinden lineer regresyon modeliyle yapılan çalışmalardan elde edilen testlere ait sonuç grafiği Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. LR yöntemi ile ölçülen ve tahmin edilen endeks puanları

Makine öğrenimi yöntemlerinden regresyon ağaçları modeliyle yapılan çalışmalardan elde edilen testlere ait sonuç grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. RA yöntemi ile ölçülen ve tahmin edilen endeks puanları

5.4. Tartışma

SANOL olgunluk modeli anket sonuçlarından elde edilen verilerle makine öğrenimi eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Makine öğrenimi yöntemlerinden ağaç toplulukları, destek vektör makineleri, gauss süreç regresyonu, lineer regresyon ve regresyon ağaçları modelleriyle yapılan çalışmalardan elde edilen testlere ait sonuç grafikleri sırasıyla Şekil 5.3-5.7’de verilmiştir. Uygulanan makine öğrenimi yöntemleri içerisinde en yüksek doğruluğa sahip yöntemin DVM yöntemi olduğu şekillerden, doğruluk ve uyumluluk ölçütlerinden (R^2 , RMSE, MSE, MAE) görülmektedir. Yöntemlerin ürettiği tahmin sonuçlarına ait doğrulukların farklı seviyelerde olması, kullanılan yöntemlerin algoritmasından, veri sayılarından ve uygulanan alandan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Makine öğrenme modellerinde çok karşılaşılan problemlerden biri de modellerin eğitim setindeki veriye fazla uyum sağlamasıdır. Genellikle eğitim setinde performans çok yüksek iken yeni bir girdi verildiğinde modelin performansında kayda değer bir düşüş görülmektedir. Bu sorunun yaşanmaması için bütün modellere 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulanmıştır. Öğrenme seti ve test setindeki performanslar mukayese edilerek

modelde aşırı öğrenme (overfitting) durumunun var olup olmadığı her uygulamada izlenmiştir. Analizlerin tamamı için MATLAB programı kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmayla makine öğrenimi yöntemlerinden ağaç toplulukları (AT), destek vektör makineleri (DVM), gauss süreç regresyonu (GSR), lineer regresyon (LR) ve regresyon ağaçları (RA) yöntemleri kullanılarak yapılan makine öğrenme yöntemlerinden çok yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilebileceği ve yöntemin tüm deneysel çalışmalara uyarlanabileceği tavsiye edilmektedir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dijital çağda başarılı olup gelişecek işletmeler doğru stratejik düşünce biçimini doğru liderlik becerileri ile birleştirilenler olacaktır.

6.1. Geliştirilen SANOL Olgunluk Modelinin Yeni Yönleri

Geliştirilen SANOL olgunluk modeli boyutları ve alt boyutları belirlenirken uzman görüşleri alınmış ve boyut ağırlıkları belirlenirken AHP kullanılmıştır. Modelin geçerliliği için çok sayıda işletme ile yüz yüze görüşmeler yapılarak sorular sürekli güncellenmiştir. Anket çok sayıda işletmeye yüz yüze ve çevrimiçi uygulanmıştır. Geliştirilen SANOL olgunluk modelinin diğer modellerden farkı değerlendirmede yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutu olmasıdır. Çoğu işletme Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojileri kullanmak için çekimser durmaktadır. Hükümet teşvik eder ve özendirirse maddi ve manevi desteklerle işletmeler Endüstri 4.0'a geçişte daha kararlı olmaktadır. Hükümetin aldığı bazı kararlar da Endüstri 4.0'a geçişte etkili olmaktadır. Örneğin robotlardan vergi alınması gibi bazı etkenler Endüstri 4.0'a geçişi olumsuz etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutu değerlendirmede önemlidir ve geliştirdiğimiz SANOL olgunluk modelini var olan olgunluk modellerinden ayrıcalıklı kılmaktadır.

Değerlendirmede kullandığımız sorular mevcut modellere göre çok daha kapsamlıdır. Mevcut modellerde sorular için ağırlıklı likert ölçeği kullanılmıştır. Değerlendirme için kullandığımız anket yüz yüze uygulanabildiği gibi aynı zamanda çevrimiçi de uygulanabilmektedir. Korona virüs salgınından dolayı işletmelere çevrimiçi uygulama yapmak daha çok işletmeye ulaşmayı sağlamaktadır. Aynı zamanda işletmeler olgunluk seviyelerini ve olgunluk indeksi puanlarını çevrimiçi uygulamayla kolayca öğrenilmektedir. Günümüzde bilişim alanındaki hızlı gelişmelerle birlikte işletmelerin bu değişime ne derecede uyum sağladıkları çok önemli bir çalışma alanı olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu bağlamda şekillenmiş olan çalışmada başta Başkent OSB, Anadolu OSB, Ankara Sanayi Odası OSB ve Ülkenin dört bir yanındaki farklı illerdeki OSB'lerde bulunan farklı sektörlerden 61 işletmeye SANOL olgunluk modeli uygulanmıştır. Sonuçlar 6 boyutlu SANOL modeliyle değerlendirilmiş ve değerlendirme sonuçları tartışılmıştır. Ölçüt modelindeki boyutların ağırlıkları için AHP yöntemi kullanılırken

ölçüm için firmanın muhasebe, insan kaynakları ve bilgi işlem çalışanlarına uygulanan anket formları kullanılmıştır.

Beş farklı demografik özelliğe göre anket sonuçları değerlendirilmiştir.

İşletmeler kuruluş yıllarına göre değerlendirildiğinde eski işletmelerin her boyut için puanlarının yeni kurulan işletmelere göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Faaliyet alanlarına göre işletmeler değerlendirildiğinde diğer, imalat ve lojistik sektöründeki işletmelerin puanları en yüksek çıkmıştır.

İşletmeler kuruluş sermayelerine göre değerlendirildiğinde sermayesi yerli olan işletmelerin her boyut için puanları en yüksek ve ortalama puanları da en yüksektir. Sermayesi yabancı olan işletmelerin bunu takip ettiğini görüyoruz. Puan ortalaması en düşük olan işletmeler ise yerli ve yabancı sermaye ortaklı işletmelerdir. Yabancı sermayeli işletmelerin ağırlıklı hizmet sektöründe oldukları için Endüstri 4.0 teknolojilerini daha az kullandıkları görülmektedir.

İşletmeler çalışan sayısına yani büyüklüğüne göre değerlendirildiğinde 251-1000 çalışan sayısına sahip işletmelerin ortalama puanları en yüksek çıkmıştır. Müşteriler ve tedarikçiler boyutu 1-9 çalışanlı işletmelerde en yüksek puana sahip, teknoloji ve yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutları 1000+ çalışan sayısına sahip işletmelerde en yüksek puana sahiptir. Ortalama puana göre baktığımızda 251-1000 çalışan sayısına sahip işletmeler en yüksek puana sahip arkasından 1000+ çalışanlı işletmeler gelmektedir. Büyük işletmelerin seviyelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yıllık cirolarına göre 100-250 milyon Türk lirası geliri olan işletmeler strateji ve yönetim, müşteriler ve tedarikçiler ve çalışanlar ve kurumsal kültür boyut puanları en yüksek olan işletmelerdir. 250-500 milyon Türk lirası geliri olan işletmeler teknoloji, veri ve güvenlik, yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyut puanları en yüksek işletmelerdir. Ortalama puanı en yüksek olan işletmeler 250-500 milyon Türk lirası geliri olan işletmelerdir. Puan ortalamaları en yüksek 2. sırada olan işletmeler 100-250 milyon Türk lirası gelire sahip işletmelerdir. Yıllık geliri yüksek olan işletmelerin puan ortalamaları daha yüksektir.

Tüm sektörler için yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutu benimsenmiştir. Puanı en yüksek boyut da budur.

Türkiye’de literatürden de görüldüğü gibi Akdil ve ark.(2018) ve Gökalp ve ark.(2017) tarafından geliştirilen modeller var. Çok az olan olgunluk modelinin bulunduğu Türkiye’de geliştirdiğimiz SANOL olgunluk modeli ile önemli bir açık

kapatılmaktadır. İşletmeler bu model ile olgunluk seviyelerini görebilmekte ve varsa eksikleri ona göre gerekli adımları atmaktadır. Geliştirilen SANOL modeli yeni modellere ilham olabilir.

Yatırım maliyetinin yüksek olması ve yapılan yatırımların hemen geri dönmemesi gibi nedenler Endüstri 4.0'a geçişin önündeki en büyük engellerdendir.

6.2. Sınırlılıklar

Geliştirilen SANOL olgunluk modeli, Türkiye'deki Ankara Sanayi Odası Organize Sanayi Bölgesi'nde sınırlı bir bölgede uygulanmıştır. Toplam 87 işletmeye anket uygulanmıştır. Bunlardan 26 tanesi geleneksel fabrika olup Endüstri 4.0 ile ilgilenmediklerini belirtmişlerdir. 61 fabrika ise dijital fabrikalara dönüşmüş ya da dönüşmek üzeredir.

Türkiye'deki ve farklı ülkelerdeki organize sanayi bölgelerinde de uygulanabilir. Coğrafi durum ve farklı ülke olgunluk seviyesini değiştirebilir mi? Sorusuna yanıt aranır. Boyut sayısı ve buna bağlı olarak da soru sayısı artırılabilir.

Ankete katılanların ilgi düzeyi ve bilgi eksikliği çalışmanın kısıtları arasındadır.

Ayrıca geliştirilen hazırlık ve olgunluk modelleri ile ilgili bir standart olmayışı önemli bir eksikliklerdir.

6.3. Sonuçlar

SANOL olgunluk modeli boyutları ve alt boyutları uzman görüşü alınarak belirlenmiş ve boyut ağırlıklarının belirlenmesinde AHP kullanılmıştır. Model geçerliliğini sağlamak için çeşitli işletmelerle yüz yüze görüşmeler yapılmış ve anket soruları sürekli revize edilmiştir. Anket, hem yüz yüze hem de çevrimiçi olarak çok sayıda işletmeye uygulanmıştır. SANOL olgunluk modelinde, yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutu olduğu için önceki modellerden farklıdır. Çoğu işletme, Endüstri 4.0 teknolojilerine geçiş konusunda çekimserdir. Maddi ve manevi devlet teşvikleri, işletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş konusundaki isteksizliklerini ortadan kaldıracaktır. Endüstri 4.0'a geçişte de bazı devlet teşvikleri etkili oluyor. Örneğin robotların vergilendirilmesi gibi bazı faktörler Endüstri 4.0'a geçişi olumsuz etkilerken vergi muafiyeti geçişi hızlandırabilmektedir. Dolayısıyla yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyutu, SANOL olgunluk modelini mevcut modellerden ayıran çok önemli bir boyuttur.

Ankette kullanılan sorular mevcut modellere göre daha kapsamlıdır. Anket hem yüz yüze hem de çevrimiçi olarak uygulanabilmektedir. Korona virüs salgını nedeniyle, çevrimiçi anket uygulayarak daha fazla işletmeye ulaşabildik. Ayrıca işletmeler, olgunluk seviyelerini ve olgunluk endeksi puanlarını çevrimiçi olarak kolayca öğrenebilirler.

SANOL Endüstri 4.0 olgunluk modeli farklı sektörlerde faaliyet gösteren 61 işletmeye uygulanmıştır. Bulgular 6 boyutlu SANOL modeline dayalı olarak analiz edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Genellikle anket yönetimin yanı sıra muhasebe, insan kaynakları ve bilgi işlem bölümlerindeki çalışanlar tarafından yanıtlanmıştır.

Anket, beş demografik özellik temel alınarak analiz edilmiştir.

Şirketlerin faaliyet yıllarına göre analizi, eski işletmelerin boyut puanlarının yeni işletmelere göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Firmaların sektör bazında analizi, imalat ve lojistik sektörlerindeki işletmelerin en yüksek puanı aldığını ortaya koydu.

Şirketlerin kuruluş sermayesine göre analizi, en yüksek toplam ve boyut puanına yerli işletmelerin sahip olduğunu, bunu yabancı sermayeli şirketlerin izlediğini göstermiştir. Ortalama puanı en düşük olan şirketler ise yerli ve yabancı ortaklıklardır. Yabancı işletmelerin ağırlıklı olarak hizmet sektöründe olmaları nedeniyle Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımının daha düşük olduğu gözlemlendi.

Şirketler çalışan sayılarına, yani şirket büyüklüğüne göre analiz edildiğinde, 251-1000 arası çalışana sahip işletmelerin olgunluk endeks puan ortalamasının en yüksek olduğu, bunu 1000+ çalışanı olan işletmelerin takip ettiği ortaya çıktı. 1-9 çalışanı olan işletmeler müşteri ve tedarikçiler boyutunda en yüksek puanı alırken, 1000+ çalışanı olan işletmeler teknoloji ve destekler ve teşvikler boyutunda en yüksek puanı aldı. Büyük işletmelerin daha yüksek olgunluk endeks puanına sahip olduğu görüldü.

Strateji ve yönetim, müşteriler ve tedarikçiler, çalışanlar ve kurum kültürü boyutlarında yıllık cirosu 100-250 milyon lira olan işletmeler en yüksek puanı aldı. Teknoloji, veri, güvenlik, yasal düzenlemeler ve teşvik boyutlarında yıllık cirosu 250-500 milyon lira olan işletmeler en yüksek puanı aldı. Yıllık cirosu 250-500 milyon TL olan işletmelerin toplam puanı en yüksek olurken, onu 100-250 milyon TL cirosu olan işletmeler takip etti. Yıllık cirosu yüksek olan işletmelerin puanları daha yüksekti.

Tüm sektörler için yasal düzenlemeler ve teşviklerden yararlanma boyut puanının en yüksek olduğu gözlenmiştir.

Literatür taraması, güçlü bir çerçeveye dayalı uygulanabilir bir olgunluk modeli geliştirmek için mevcut olgunluk modellerine odaklandı. Önceki bölümlerde, Endüstri

4.0'ın faydaları ve bu teknolojileri uygularken işletmelerin karşılaşacağı potansiyel zorluklar dikkate alınarak kapsamlı tartışmalar yapılmıştır.

Literatür incelendiğinde akademi ile işletmeler arasında köprü oluşturan olgunluk modeli çalışmalarının eksik olduğu görülmektedir. Literatürde incelenen olgunluk modellerinin hiçbirisi kapsam, amaca uygunluk, eksiksizlik ve açıklık boyutlarını tam olarak kapsamamaktadır. Literatürdeki boşluğu kapatmak için, tüm boyutları kapsayan bir olgunluk modeli ve çerçevesinin oluşturulması gerçekleştirildi.

Bulgularımıza göre imalat sanayinin önündeki en önemli engelin yetişmiş iş gücü eksikliği olduğu görülmektedir. Ayrıca işletmelerin finansal yetersizlikleri ve yapılan yatırımların geri dönüşünün belirsizliği de Endüstri 4.0'a geçişin önündeki önemli engellerdendir. Literatür taraması, Türkiye'de Akdil ve Gökalp tarafından yayınlananlar gibi sadece birkaç olgunluk modelinin geliştirildiğini ortaya koymuştur(Pessl ve ark., 2017; Valentin, 2017). Basl ve Doucek (2019), mevcut bazı Endüstri 4.0 modellerinden bazı boyutları vurgulamak için geçmiş literatürden yararlandı ancak özellikle sistematik bir inceleme yoluyla en yaygın olanları belirlemedi. Bazı modellerin geniş olduğu ve Endüstri 4.0'a hazır olma durumunu ölçmek için birçok boyuta sahip olduğu, diğerlerinin ise az sayıda değerlendirme boyutuyla dar olduğu görülmektedir(Brozzi ve ark., 2018). Değerlendirmede daha fazla ve çeşitli boyutlara ihtiyaç duyulması, organizasyonel sistemin Endüstri 4.0 teknolojilerine yakınsamasının zor olmasıdır (Pérez-Lara ve ark., 2019). Olgunluk düzeyi, rakip şirketlerin olgunluk aşamasından etkilenir. Yani ankete aynı pazardaki diğer işletmeler dâhil edilirse pazarın olgunluk aşaması değerlendirilir, aksi takdirde dikkate alınmayacaktır(Gökalp ve ark., 2017).

Türkiye'de geliştirilen SANOL olgunluk modeli önemli bir boşluğu doldurmaya çalışmaktadır. Model, işletmelerin olgunluk düzeylerini belirlemelerine ve gerektiğinde gerekli adımları atmalarına olanak tanıyacaktır. Geliştirilen SANOL modeli yeni modellere de ilham verebilir.

Düşük yatırım getirisi gibi nedenler Endüstri 4.0'a geçişin önündeki en önemli engeller arasında yer alıyor.

Dördüncü sanayi devriminin başlangıcı olarak kabul edilen Endüstri 4.0, birçok şirketin mevcut iş süreçlerini ve iş modellerini Endüstri 4.0 doğrultusunda geliştirdiği ve değiştirdiği gerçeğini ortaya koyuyor. Endüstri 4.0 olgunluk modelleri, işletmelerde değişim sürecini başlatarak rekabet avantajı elde edilmesine katkı sağlayabilir.

İmalat işletmelerinde dijital dönüşüm olgusu henüz ortaya çıkma aşamasında olduğundan, işletmelerin Endüstri 4.0'a hazır olma durumunu değerlendirmek için genel

kabul görmüş standart bir olgunluk modeli bulunmamaktadır. Uygulamalı çalışmalarda her araştırmacı tarafından yeni bir model önerildiği tespit edilmiştir. Önerilen bu modeller temel olarak işletmelerin faaliyet gösterdikleri alandaki yeteneklerini değerlendirmek ve literatürdeki Endüstri 4.0 olgunluk modellerini kullanmak için geliştirilmiştir. Ayrıca bu modellerde kullanılan boyutların çoğunlukla birbirine benzediği tespit edilmiştir.

Farklı sektörlerden firmaların Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerini ölçmek ve değerlendirme kriterlerinin önem düzeylerini belirlemek için daha büyük örneklemelerle gelecekteki araştırma alanları gerçekleştirilebilir. Modeller, mevcut modellerde değişiklik yapılarak farklı sektörlerle uyandırılabilir.

Bu çalışma, işletmelerin büyüklük bazında ve genel olgunluk düzeylerini ölçmeyi ve işletmelerin Endüstri 4.0'a geçişinin önündeki engelleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmamızda olgunluk modeli kapsamında test edilen 61 şirketin çoğunluğu hala olgunlaşmamış veya kısmen olgun görünmektedir. Endüstri 4.0 ile ilgili birçok iyileştirmeye ve dönüşüm stratejilerinin yeniden değerlendirilmesine ihtiyaç var. Bulgular ayrıca şirketlerin dönüşüm için çaba göstermeye devam etmesi gerektiğini gösteriyor.

Bulgular, Endüstri 4.0 uygulamasının sektöre ve işletme türüne göre farklılık gösterdiğini göstermektedir. Bunun gelecekteki araştırmalar için umut verici bir yol temsil edeceğini düşünüyoruz. Bulgularımıza dayalı olarak işletmeler için Endüstri 4.0 entegrasyonu için bir yol haritası oluşturulması şiddetle tavsiye edilmektedir. Bu bulgular, uygulayıcılar ve araştırmacılar için kılavuz görevi görebilir.

Bu çalışma, rekabet ortamında firmaların Endüstri 4.0 konusundaki çalışmalarını destekleyecek uygun bir olgunluk modeli arayışına ışık tutmaktadır. Literatürde çeşitli olgunluk modelleri önerilmiştir; ancak yeni fırsatları değerlendiren ve dönüşüm çözümlerini benimseyen şirketler için altı boyut temel hale geldi. Bulgularımız, olgunluk modelimizin imalat işletmelerinde öz değerlendirme yapmak için uygun olduğunu göstermektedir.

Son olarak, sonuçların hem ilgilenen araştırmacılar hem de Endüstri 4.0 yolculuğuna başlayan profesyoneller için Endüstri 4.0 için olgunluk modelleri alanına değerli katkılar sağladığını düşünüyoruz.

6.4. Öneriler

Sanayi 4.0 ile ilgili teknolojilerin kullanımını teşvik etmek için sivil toplum kuruluşları tarafından farkındalık seminerleri düzenlenebilir. Özellikle yüz yüze yapılan anketlerde, bazı işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerinin faydalarının pek farkında olmadığı gözlemlendi. Bazı işletmelerin yatırımlarının geri dönmeyeceği gibi farklı endişeleri vardır. Devlet bu işletmelere yönelik teşvik uygulamaları hakkında bilgilendirme toplantıları yapabilir.

Hükümet, dönüşüm kaçınılmaz olduğu için tüm imalat sanayilerini Endüstri 4.0'ı benimsemeye zorlamalı. Endüstri 4.0 bir teknolojik devrim olduğu için ulusal politikaların eksikliği bir sorun olabilir. İmalat sanayileri, rekabet etme fırsatını yakalamak için küresel gelişmelerden haberdar olmalıdır. Endüstri 4.0'ın potansiyelini eksiksiz gerçekleştirmek ve yatırım kaybı riskini azaltmak için işletme, stratejik planlama sırasında olası tüm zorlukları tüm yönleriyle dikkate almalıdır.

7. KAYNAKLAR

- Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy. In *Industry 4.0: Managing the digital transformation* (pp. 61-94). Springer.
- Aslan, Y., Yavasca, S., & Yasar, C. (2011). Long term electric peak load forecasting of Kutahya using different approaches. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 3(2), 87-91.
- Ataman Yenğın, D. (2016). Sosyal medya ve akıllı mobil teknoloji: akıllı sosyal yaşamlar.
- Ateş, B. (2020). *Gemi yapılarında gerilme yığılması öngörülerinin kaba ağ yapısı ve makine öğrenmesi ile gerçekleştirilmesi* [Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Automation, R. (2014). The connected enterprise maturity model. *Rockwell Automation*, 12, 1-12.
- Ayhan, S., & Erdoğan, Ş. (2014). Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(1), 175-201.
- Back, A., Berghaus, S., & Kaltenrieder, B. (2015). Digital Maturity & Transformation Studie. *Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St. Gallen*, 1, 1-75.
- Basl, J., & Doucek, P. (2019). A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of Industry 4.0. *Information*, 10(3), 89.
- Bayazit, M., & OĞUZ, B. (1994). Mühendisler için istatistik. *Birsan Yayınevi, İstanbul*, 197s.
- Bechtold, J., Kern, A., Lauenstein, C., & Bernhofer, L. (2014). Industry 4.0-the capgemini consulting view. *Capgemini Consulting*, 31, 32-33.
- Becker, B. G., Klein, T., Wachinger, C., & Initiative, A. s. D. N. (2018). Gaussian process uncertainty in age estimation as a measure of brain abnormality. *NeuroImage*, 175, 246-258.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*, 55(2), 155-162.
- 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.

- Bloem, J., Van Doorn, M., Duivesteyn, S., Excoffier, D., Maas, R., & Van Ommeren, E. (2014). The fourth industrial revolution: Things to tighten the link between IT and OT. *Sogeti VINT2014*.
- Boran, P. D. S. (2021). *Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak kısa dönem rüzgar gücü tahmini* Sakarya Üniversitesi].
- Botha, A. P. (2018). Rapidly arriving futures: future readiness for Industry 4.0. *South African journal of industrial engineering*, 29(3), 148-160.
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine learning*, 24(2), 123-140.
- Breiman, L. (2001). Using iterated bagging to debias regressions. *Machine learning*, 45(3), 261-277.
- Brozzi, R., D'Amico, R., Pasetti Monizza, G., Marcher, C., Riedl, M., & Matt, D. (2018). Design of Self-assessment Tools to measure industry 4.0 readiness. A methodological approach for craftsmanship SMEs. IFIP International Conference on Product Lifecycle Management,
- Canetta, L., Barni, A., & Montini, E. (2018). Development of a digitalization maturity model for the manufacturing sector. 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC),
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), 1247-1250.
- Chonsawat, N., & Sopadang, A. (2020). Defining SMEs' 4.0 readiness indicators. *Applied Sciences*, 10(24), 8998.
- Correia, M. A. d. S. (2014). Industrie 4.0 Framework, Challenges and Perspectives.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- Cristianini, N., & Shawe-Taylor, J. (2000). *An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods*. Cambridge university press.
- Çınar, Z. M., Zeeshan, Q., & Korhan, O. (2021). A framework for industry 4.0 readiness and maturity of smart manufacturing enterprises: A case study. *Sustainability*, 13(12), 6659.
- Da Silva, V. L., Kovalski, J. L., Pagani, R. N., Silva, J. D. M., & Corsi, A. (2020). Implementation of Industry 4.0 concept in companies: Empirical evidences. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(4), 325-342.

- De Carolis, A., Macchi, M., Kulvatunyoo, B., Brundage, M. P., & Terzi, S. (2017). Maturity models and tools for enabling smart manufacturing systems: comparison and reflections for future developments. Ifip international conference on product lifecycle management,
- Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020). Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. *Sustainability*, 12(23), 9927.
- DOĞRU, B., & Meçik, O. (2018). Türkiye’de Endüstri 4.0’in İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Beklentileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı), 1581-1606.
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia Cirp*, 54, 13-18.
- Erol, S., Schumacher, A., & Sihn, W. (2016). Strategic guidance towards Industry 4.0—a three-stage process model. International conference on competitive manufacturing,
- Ertan, J. (2018). Digital Readiness of Swedish Organizations. In.
- Facchini, F., Oleśków-Szłapka, J., Ranieri, L., & Urbinati, A. (2019). A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research. *Sustainability*, 12(1), 86.
- 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?
- Finance, A. (2015). Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. *Finance, Audit Tax Consulting Corporate: Zurich, Swiss*, 1-12.
- Ganzarain, J., & Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(5), 1119-1128.
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. In.
- Gerlitz, L. (2016). Design management as a domain of smart and sustainable enterprise: Business modelling for innovation and smart growth in Industry 4.0. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 3(3), 244.
- Gill, M., Vanboskirk, S., Freeman, E. P., Nail, J., Causey, A., & Glazer, L. (2016). The Digital Maturity Model 4. 0, Forrester. In: January.

- Global, M. (2015). The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. McKinsey & Company, New York, NY, USA. In.
- Gökalp, E., Şener, U., & 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,
- Görçün, Ö. (2016). Endüstri 4.0: Dördüncü Endüstri Devrimi. *İstanbul: Beta*.
- Haber, R. E., Juanes, C., del Toro, R., & Beruvides, G. (2015). Artificial cognitive control with self-x capabilities: A case study of a micro-manufacturing process. *Computers in Industry*, 74, 135-150.
- Haber, T. (2019). Çinde Yapay Zeka Yargıç Dönemi. In.
- Haddara, M., & Elragal, A. (2015). The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future. *Procedia computer science*, 64, 721-728.
- 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,
- Hanadi, A., & Aruna, M. (2013). Technology innovation for SME growth: A perception for the emerging economies. *Technology*, 4(3).
- Hanafiah, M., Soomro, M., & Abdullah, N. (2020). Industry 4.0 Readiness Models: A systematic Literature review of model dimension. MDPI,
- Hankel, M., & Rexroth, B. (2015). The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0). *ZVEI*, 2(2), 4-9.
- Haykin, S. (1999). Neural networks: A guided tour. *Soft computing and intelligent systems: theory and applications*, 71.
- Hearst, M. A., Dumais, S. T., Osuna, E., Platt, J., & Scholkopf, B. (1998). Support vector machines. *IEEE Intelligent Systems and their applications*, 13(4), 18-28.
- Henning, K. (2014). Industrie 4.0 und Smart Services. In *Wirtschaftsinformatik in Wissenschaft und Praxis* (pp. 243-248). Springer.
- Heo, Y., & Zavala, V. M. (2012). Gaussian process modeling for measurement and verification of building energy savings. *Energy and Buildings*, 53, 7-18.
- Hobsbawm, E. J., Gülerman, Y., & Ersoy, A. (1987). *Sanayi ve imparatorluk*. Dost.
- Horvat, D., Stahlecker, T., Zenker, A., Lerch, C., & Mladineo, M. (2018). A conceptual approach to analysing manufacturing companies' profiles concerning Industry 4.0 in emerging economies. *Procedia Manufacturing*, 17, 419-426.

- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological forecasting and social change*, 146, 119-132.
- Huang, S., Cai, N., Pacheco, P. P., Narrandes, S., Wang, Y., & Xu, W. (2018). Applications of support vector machine (SVM) learning in cancer genomics. *Cancer genomics & proteomics*, 15(1), 41-51.
- Huelsman, T., Peasley, S., Powers, E., & Robinson, R. (2016). Cyber risk in advanced manufacturing. *Deloitte MAPI*, 53.
- Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829-846.
- Jalil, N. A., Hwang, H. J., & Dawi, N. M. (2019). Machines learning trends, perspectives and prospects in education sector. Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Education and Multimedia Technology,
- Jesus, C. d., & Lima, R. M. (2020). Literature search of key factors for the development of generic and specific maturity models for Industry 4.0. *Applied Sciences*, 10(17), 5825.
- Jodlbauer, H., & Schagerl, M. (2016). Reifegradmodell industrie 4.0-ein vorgehensmodell zur identifikation von industrie 4.0 potentialen. *Informatik 2016*.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion.
- KALAYCI, T. E. (2018). Kimlik hırsız web sitelerinin sınıflandırılması için makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 870-878.
- Kamel Boulos, M. N., & Berry, G. (2012). Real-time locating systems (RTLS) in healthcare: a condensed primer. *International journal of health geographics*, 11(1), 1-8.
- Kannan, S. M., Suri, K., Cadavid, J., Barosan, I., Van Den Brand, M., Alferez, M., & Gerard, S. (2017). Towards industry 4.0: Gap analysis between current automotive MES and industry standards using model-based requirement engineering. 2017 IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW),
- Katuwal, G. J., Baum, S. A., & Michael, A. M. (2018). Early brain imaging can predict autism: Application of machine learning to a clinical imaging archive. *BioRxiv*, 471169.

- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73-82.
- Klötzer, C., & Pflaum, A. (2017). Toward the development of a maturity model for digitalization within the manufacturing industry's supply chain.
- Kohlegger, M., Maier, R., & Thalmann, S. (2009). *Understanding maturity models. Results of a structured content analysis*. na.
- Korkmaz, M., Doğan, A., & Kirmaci, V. (2022). Karşıt Akışlı Ranque–Hilsch Vorteks Tüpünün Lineer Regresyon, Destek Vektör Makineleri ve Gauss Süreç Regresyonu Yöntemi ile Performans Analizi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 361-370.
- Lanza, G., Nyhuis, P., Ansari, S. M., Kuprat, T., & Liebrecht, C. (2016). Befähigungs-und Einführungsstrategien für Industrie 4.0. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111(1-2), 76-79.
- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., & Forstenhäusler, S. (2016). SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. 2016 federated conference on computer science and information systems (fedcsis),
- Lichtblau, K. (2015). *Industrie 4.0-Readiness*. Impuls-Stiftung.
- Lin, J. S. C., & Chang, H. C. (2011). The role of technology readiness in self-service technology acceptance. *Managing Service Quality: An International Journal*, 21(4), 424-444.
- Liu, K., Hu, X., Wei, Z., Li, Y., & Jiang, Y. (2019). Modified Gaussian process regression models for cyclic capacity prediction of lithium-ion batteries. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5(4), 1225-1236.
- Lokuge, S., Sedera, D., Grover, V., & Dongming, X. (2019). Organizational readiness for digital innovation: Development and empirical calibration of a construct. *Information & management*, 56(3), 445-461.
- Lorenz, M., Rüßmann, M., Strack, R., Lueth, K. L., & Bolle, M. (2015). Man and machine in industry 4.0: How will technology transform the industrial workforce through 2025. *The Boston Consulting Group*, 2.
- Luu, Q.-H., Lau, M. F., Ng, S. P., & Chen, T. Y. (2021). Testing multiple linear regression systems with metamorphic testing. *Journal of Systems and Software*, 182, 111062.
- Maimon, O., & Rokach, L. (2005). *Data mining and knowledge discovery handbook*.

- Malaysia's, T. (2018). INDUSTRY 4WRD: NATIONAL POLICY ON INDUSTRY 4.0. In: Kuala Lumpur, Malaysia: Ministry of International Trade and Industry.
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 925-953.
- Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing—The business perspective. *Decision support systems*, 51(1), 176-189.
- Mehmet, A., & DOĞANSOY, G. A. (2022). Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak e-perakende sektörüne yönelik talep tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(3), 1325-1340.
- Memnun, D., & Kalaycı, Ş. (2006). SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Ankara: Asil Yayın Dağıtım. *İlköğretim Online*, 12(1).
- Mendeş, M., & Akkartal, E. (2009). Regression tree analysis for predicting slaughter weight in broilers. *Italian Journal of Animal Science*, 8(4), 615-624.
- Menon, K., Kärkkäinen, H., & Lasrado, L. A. (2016). Towards a Maturity Modeling Approach for the Implementation of Industrial Internet. Pacis,
- Methavitakul, B., & Santiteerakul, S. (2018). Analysis of key dimension and sub-dimension for Supply Chian of Industry to fourth Industry Performance Measurement. 2018 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI),
- Mettler, T. (2009). A design science research perspective on maturity models in information systems.
- Mikko, H., & Nyman, L. (2017). The internet of (vulnerable) things: On hypponen's law, security engineering, and IoT legislation. *Technology Innovation Management Review*.
- Mittal, S., Khan, M. A., Purohit, J. K., Menon, K., Romero, D., & Wuest, T. (2020). A smart manufacturing adoption framework for SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1555-1573.
- 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.
- More, C. (2002). *Understanding the industrial revolution*. Routledge.

- Müller, J. M., & Voigt, K.-I. (2018). The impact of industry 4.0 on supply chains in engineer-to-order industries-an exploratory case study. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 122-127.
- Opitz, D., & Maclin, R. (1999). Popular ensemble methods: An empirical study. *Journal of artificial intelligence research*, 11, 169-198.
- Oyeku, O. M., Oduyoye, O., Asikhia, O., Kabuoh, M., & Elemo, G. (2014). On entrepreneurial success of small and medium enterprises (SMEs): A conceptual and theoretical framework. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 5(16), 14-23.
- Özen, N. S., Saraç, S., & Koyuncu, M. (2021). COVID-19 Vakalarının Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Tahmini: Amerika Birleşik Devletleri Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(22), 134-139.
- Pérez-Lara, M., Saucedo-Martínez, J. A., Marmolejo-Saucedo, J. A., & Salais-Fierro, T. E. (2019). Organizational Systems Convergence with the Industry 4.0 Challenge. In *Best Practices in Manufacturing Processes* (pp. 411-431). Springer.
- Pessl, E., Sorko, S. R., & Mayer, B. (2017). Roadmap Industry 4.0–implementation guideline for enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*, 5(6), 193-202.
- Philbeck, T., & Davis, N. (2018). The fourth industrial revolution. *Journal of International Affairs*, 72(1), 17-22.
- Piccarozzi, M., Aquilani, B., & Gatti, C. (2018). Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. *Sustainability*, 10(10), 3821.
- PİRİM, A. G. H. (2006). Yapay zeka. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 1(1), 81-93.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia Cirp*, 52, 173-178.
- Rahamaddulla, S. R. B., Leman, Z., Baharudin, B. H. T. B., & Ahmad, S. A. (2021). Conceptualizing smart manufacturing readiness-maturity model for small and medium enterprise (sme) in malaysia. *Sustainability*, 13(17), 9793.
- Rahman, N. A., Yaacob, Z., & Radzi, R. M. (2016). An overview of technological innovation on SME survival: a conceptual paper. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 224, 508-515.
- Rasmussen, C. E., & Williams, C. (2006). Gaussian processes for machine learning, vol. 1. In: MIT press Cambridge MA.
- Rauch, E., Dallasega, P., & Unterhofer, M. (2019). Requirements and barriers for introducing smart manufacturing in small and medium-sized enterprises. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 87-94.

- Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm. *Organizacija*, 50(3), 193.
- Rong, S., & Bao-Wen, Z. (2018). The research of regression model in machine learning field. *MATEC Web of Conferences*,
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1), 54-89.
- Saad, S. M., Bahadori, R., & Jafarnejad, H. (2021). The smart SME technology readiness assessment methodology in the context of industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Saatçioğlu, Ö., & Teknolojisi, R. (2006). Fırsatlar, Engeller ve Örnek Uygulamalar. *Ege akademik bakış*, 6(1), 24-35.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(3), 811-833.
- Sarı, E. (2020). Endüstri 4.0 Teknoloji ve üretim Yönetimi. *Nobel Bilimsel Eserler: Ankara, Turkey*.
- Schaupp, E., Abele, E., & Metternich, J. (2017). Potentials of digitalization in tool management. *Procedia CiRp*, 63, 144-149.
- Schiltz, F., Masci, C., Agasisti, T., & Horn, D. (2018). Using regression tree ensembles to model interaction effects: a graphical approach. *Applied Economics*, 50(58), 6341-6354.
- Schölkopf, B., Williamson, R. C., Smola, A., Shawe-Taylor, J., & Platt, J. (1999). Support vector method for novelty detection. *Advances in neural information processing systems*, 12.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). *Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten*. Herbert Utz Verlag.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CiRp*, 52, 161-166.
- Schumacker, R. E., & Lomax, R. G. (2004). A beginner's guide to structural equation modeling. Lawrence Erlbaum Associates. *Mahwah, NJ*.
- Schwab, K. (2016). *Dördüncü sanayi devrimi*. Optimist Yayın Grubu.

- Schwab, K. (2021). The fourth industrial revolution. Encyclopedia Britannica. In.
- Serkan, U., & ÇETİN, E. Farklı Ağırlıklar ile Yapılan Squat Sıçramanın Makine Öğrenme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 5(1), 1-12.
- Sheen, D.-P., & Yang, Y. (2018). Assessment of readiness for smart manufacturing and innovation in Korea. 2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON),
- Shoaran, M., Haghi, B. A., Taghavi, M., Farivar, M., & Emami-Neyestanak, A. (2018). Energy-efficient classification for resource-constrained biomedical applications. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 8(4), 693-707.
- Simpson, J. A. (1989). *Oxford english dictionary: Vol. 16*.
- Singapore, E. (2018). The Singapore smart industry readiness index. *Catalysing the transformation of manufacturing*.
- Soman, K., Loganathan, R., & Ajay, V. (2009). *Machine learning with SVM and other kernel methods*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Sony, M., & Naik, S. (2019). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*.
- Stentoft, J., Jensen, K. W., Philipsen, K., & Haug, A. (2019). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: a SME perspective with empirical evidence. Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences,
- Straub, J. (2015). In search of technology readiness level (TRL) 10. *Aerospace Science and Technology*, 46, 312-320.
- Szostak, R. (1991). *Role of Transportation in the Industrial Revolution: A Comparison of England and France*. McGill-Queen's Press-MQUP.
- Temel, G. O. (2004). Sınıflama ve Regresyon Ağaçları. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bioistatistik Anabilim Dalı, Mersin*, 11, 23-24.
- Thompson, E. G., Du, Y., Malherbe, S. T., Shankar, S., Braun, J., Valvo, J., Ronacher, K., Tromp, G., Tabb, D. L., & Alland, D. (2017). Host blood RNA signatures predict the outcome of tuberculosis treatment. *Tuberculosis*, 107, 48-58.
- Tolun, S. (2008). *Destek vektör makineleri: Banka başarısızlığının tahmini üzerine bir uygulama*. İktisadî Araştırmalar Vakfı.

- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.
- Tsohou, A., Lee, H., & Irani, Z. (2014). Innovative public governance through cloud computing: Information privacy, business models and performance measurement challenges. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 8(2), 251-282.
- Turisova, R., Sinay, J., Pacaiova, H., Kotianova, Z., & Glatz, J. (2020). Application of the EFQM Model to Assess the Readiness and Sustainability of the Implementation of I4. 0 in Slovakian Companies. *Sustainability*, 12(14), 5591.
- Valentin, B. A. (2017). METHODS OF ASSESSMENT AND TRAINING OF A COMPANY TOWARDS THE ENTERPRISE 4.0. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 28.
- Városiné Demeter, K., Losonci, D., Szász, L., & Rácz, B. G. (2018). Assessing Industry 4.0 readiness: a multi-country industry level analysis.
- Vazire, S. (2018). Implications of the credibility revolution for productivity, creativity, and progress. *Perspectives on Psychological Science*, 13(4), 411-417.
- Vuksanović Herceg, I., Kuč, V., Mijušković, V. M., & Herceg, T. (2020). Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation. *Sustainability*, 12(10), 4208.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International journal of distributed sensor networks*, 12(1), 3159805.
- Wank, A., Adolph, S., Anokhin, O., Arndt, A., Anderl, R., & Metternich, J. (2016). Using a learning factory approach to transfer Industrie 4.0 approaches to small-and medium-sized enterprises. *Procedia CiRp*, 54, 89-94.
- Weber, C., Königsberger, J., Kassner, L., & Mitschang, B. (2017). M2DDM—a maturity model for data-driven manufacturing. *Procedia CiRp*, 63, 173-178.
- Wei, J., Chu, X., Sun, X. Y., Xu, K., Deng, H. X., Chen, J., Wei, Z., & Lei, M. (2019). Machine learning in materials science. *InfoMat*, 1(3), 338-358.
- Wiesner, S., Gaiardelli, P., Gritti, N., & Oberti, G. (2018). Maturity models for digitalization in manufacturing-applicability for SMEs. IFIP international conference on advances in production management systems,
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0—innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia engineering*, 182, 763-769.

- Yücel, Y. B. (2017). *Yaşam memnuniyetini etkileyen faktörlerin sınıflama ve regresyon ağacı ile belirlenmesi* Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Zhou, G., Zhang, J., Su, J., Shen, D., & Tan, C. (2004). Recognizing names in biomedical texts: a machine learning approach. *Bioinformatics*, 20(7), 1178-1190.



8. EKLER

EK-1 Anket Formu.

SANAYİ 4.0 OLGUNLUK MODELİ (SANOL)

Bu anket ile Sanayideki bir işletmenin Sanayi 4.0 için Olgunluk indeksi puanı ve seviyesi belirlenmektedir.

Anket gönüllülük esasına göre doldurulacak, veriler üçüncü kişilerle kesinlikle paylaşılmayacaktır.

Genel soruların yanı sıra 6 boyut için sorular bulunmaktadır. Genel sorular değerlendirmeyi etkilememekte, sınıflandırma için kullanılmaktadır.

Her ölçütün puanlamadaki ağırlığı farklıdır. Her ölçüt içindeki soruların da ağırlığı farklı olabilmektedir. Bunun için AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) kullanılacaktır.

Ankette sorulan sorular:

- 1) Açık uçlu
- 2) Var ya da Yok
- 3) Evet ya da Hayır
- 4) Çoktan Seçme
- 5) Çoklu Seçme
- 6) Likert Ölçeği (1 ile 5 arasında beş kutudan biri işaretlenecektir)

Zaman ayırdığınız için çok teşekkür eder, iyi çalışmalar dilerim. Word dosyasını bana mail (cihanunal42@gmail.com) olarak gönderirseniz sevinirim.

Öğr.Gör.Cihan ÜNAL
Hacettepe Üniversitesi
Başkent OSB Teknik Bilimler
Meslek Yüksekokulu

Genel Sorular

1. E-Posta adresinizi yazınız.
2. İşletmenizin kuruluş yılını yazınız.
3. Şirketinizin faaliyet alanı nedir?
☐ Makine Mühendisliği ☐ İmalat.
☐ Hizmet ☐ Lojistik
☐ Elektronik ve Enerji ☐ Diğer (Belirtiniz)
4. İşletmenizin Sanayi 4.0 ile ilgi düzeyi nedir?
☐ 1: İlgilenmiyor ☐ 4. Uygulanıyor
☐ 2: Başlangıç aşamasında ☐ 5. Uzun süredir uygulanıyor
☐ 3: Pilot projeler hazırlıyor ve uyguluyor.
Yanıtınız 1:İlgilenmiyor ise lütfen diğer sorulara geçmeyiniz. İlginiz için teşekkür ederiz.
5. İşletmedeki göreviniz nedir?
☐ Bilgi İşlem Yöneticisi ☐ Üretim Müdürü
☐ Dijital Dönüşüm Uzmanı ☐ Diğer (Belirtiniz)
6. İşletmenizin kurumsal internet sitesi var mı?
☐ Var
☐ Yok
7. Şirketinizin Öz Sermayesi yerli mi yabancı mı?
☐ Yerli ☐ Yabancı ☐ Yerli ve Yabancı birlikte
8. İşletmenizde kaç kişi çalışıyor?
☐ 1. Çok küçük (1-9 arasında) ☐ 4. Büyük (251-1000 arasında)
☐ 2. Küçük (10-50 arasında) ☐ 5. Çok büyük (1001+)
☐ 3. Orta (51-250 arasında)
9. İşletmenizin geçen yılki yıllık cirosu ne kadar?
☐ < 1 milyon TL ☐ 100-250 milyon TL
☐ 1-10 milyon TL ☐ 250-500 milyon TL
☐ 10-50 milyon TL ☐ > 500 milyon
☐ 50-100 milyon TL
10. Sanayi 4.0 Dönüşüm fikri işletmenizde ne zaman ortaya çıktı?
.....

Strateji ve Yönetim

11. Sanayi 4.0 stratejiniz var mı?

() Var () Yok () Hazırlanıyor

Yanıtınız "YOK" ise 14. Soruya geçiniz.

12. Sanayi 4.0 stratejinizin uygulama durumunu nasıl tanımlarsınız?

() Pilot girişimler başladı () Strateji uygulanıyor.
 () Strateji geliştiriliyor () Strateji uygulandı
 () Strateji formüle edildi

13. İşletmenizde Sanayi 4.0 uygulama durumunu izlemek için göstergeler kullanıyor musunuz?

() Evet, göstergemiz var. () Hayır, yok.

14. Üst yönetim gerekli desteği veriyor mu?

(“Hiç vermiyor”dan , “Çok destek veriyor”a doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

15. Sanayi 4.0’ın faydaları ve etkileri hakkında yeterince bilgiye sahip misiniz?

(“Hiçbir bilgiye sahip değiliz”den , “Yeterince bilgiye sahibiz”e doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

16. Sanayi 4.0 ile çalışmak için risk almaya(yatırım yapmaya) hazır mısınız?

(“Hazır değiliz”den , “Hazırız”a doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

17. İşletmenin aşağıdaki bölümlerinde son iki yılda yapılan yatırımlarınız?

	Yok / Hiç	Küçük	Orta	Büyük	Çok büyük
Araştırma Geliştirme	()	()	()	()	()
Üretim / İmalat	()	()	()	()	()
Kalite Kontrol	()	()	()	()	()
Satın alma	()	()	()	()	()
Lojistik	()	()	()	()	()
Satış	()	()	()	()	()
Hizmet	()	()	()	()	()
BT	()	()	()	()	()
İnsan Kaynakları	()	()	()	()	()
Muhasebe	()	()	()	()	()
Yenilenebilir Enerji	()	()	()	()	()
Eğitim	()	()	()	()	()

18. İşletmenin aşağıdaki bölümlerinde gelecek 5 yıldaki planlarınız?

	Yok / Hiç	Küçük	Orta	Büyük	Çok büyük
Araştırma Geliştirme	()	()	()	()	()
Üretim / İmalat	()	()	()	()	()
Kalite Kontrol	()	()	()	()	()
Satın alma	()	()	()	()	()
Lojistik	()	()	()	()	()
Satış	()	()	()	()	()
Hizmet	()	()	()	()	()
BT	()	()	()	()	()
İnsan Kaynakları	()	()	()	()	()
Muhasebe	()	()	()	()	()
Yenilenebilir Enerji	()	()	()	()	()
Eğitim	()	()	()	()	()

19. Sanayi 4.0'ı uygulamak için kaynak ayırmayı düşünüyor musunuz?

(“Hiç düşünmüyoruz”dan , “Düşünüyoruz”a doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

20. Finansal destekler ve kararlı yönetim desteği var mı?

(“Hiç yok”tan, “Yeterince var”a doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

21. Sanayi 4.0'a geçiş nedenleriniz nelerdir?

(Size uygun seçenek(ler)i işaretleyiniz. Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz. Uygun olmayan seçenek(ler)i boş bırakınız)

- ☐ Müşteri ve tedarikçi gereksinimleri
- ☐ Rakipler Sanayi 4.0'ı uyguluyor, o nedenle
- ☐ Maliyetleri düşürmek
- ☐ Pazara sunma süresini iyileştirmek
- ☐ Değişen mevzuatlar ve yasal zorunluluk
- ☐ Kalifiye iş gücü eksikliği
- ☐ Danışmanların tavsiyesi
- ☐ Sanayi 4.0 konusunda bilinçli strateji, yol haritamız var
- ☐ İş gücü giderlerini düşürmek
- ☐ Teşvikler
- ☐ Sanayi 4.0'a geçen işletmelerden ve başarı hikâyelerinden etkilendim

Müşteri ve Tedarikçiler

22. Tedarikçileriniz yerli mi? yabancı mı?

() Yerli () Yabancı () Yerli ve Yabancı birlikte

23. İşletmenizde e-ticaret(online satış) yapıyor mu?

() Evet () Hayır

24. Müşteri İlişkileri Yönetim Sistemi kullanıyor musunuz?

() Evet.....Hangisi ? :

() Hayır

Çalışanlar ve Kurumsal Kültür (Aidiyet Duygusu)

25. Çalışanlar Sanayi 4.0 ile ilgili gerekli bilgiye sahip mi?

(“Hiç bilgiye sahip değiliz”den, “Gerekli tüm bilgiye sahibiz”e doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

26. Çalışanlara İşyerinde Sanayi 4.0 ile ilişkili teknolojilerle ilgili eğitimler veriliyor mu?

(“Hiç eğitim verilmiyor”dan, “Çok sık eğitim veriliyor”a doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

27. Sanayi 4.0 için gelecekteki gereksinimler söz konusu olduğunda, çalışanların şu anki becerilerini nasıl değerlendiriyorsunuz?

(“Çok yetersiz”den , “Çok yeterli”ye doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

	1	2	3	4	5
BT altyapısı	()	()	()	()	()
Otomasyon teknolojisi	()	()	()	()	()
Veri analizi	()	()	()	()	()
Veri güvenliği/iletişim güvenliği	()	()	()	()	()
Yardım sistemlerinin geliştirilmesi veya uygulanması	()	()	()	()	()
İşbirliği yazılımı	()	()	()	()	()
Sistem düşünme ve süreç anlama gibi teknik olmayan beceriler	()	()	()	()	()

28. Çalışanlar Mesleki Beceri kazanmaları için teşvik ediliyor ve maddi olarak destekleniyor mu?

(“Hiç desteklenmiyor”dan, “Çok destekleniyor”a doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

29. İşe alım süreçleri nasıl yapılıyor?

- [] İşletmenin kurumsal web sayfasından ilan ediliyor
- [] Kariyer.net vb sitelerden
- [] Diğer

Teknoloji (Ürünler)

30. Kullandığınız aşağıdaki teknolojileri kullanma durumunuz nedir?

(1 "Az kullanılıyor", 5 "Yüksek derecede kullanılıyor". 1 ile 5 arasında puan veriniz)

	1	2	3	4	5
Büyük Veri (Big Data) ve Analitik	()	()	()	()	()
Otonom Robotlar	()	()	()	()	()
Benzetim (Simülasyon)	()	()	()	()	()
Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu	()	()	()	()	()
Nesnelerin İnterneti (sensörler dâhil)	()	()	()	()	()
Siber Güvenlik	()	()	()	()	()
Eklemeli Üretim (3D)	()	()	()	()	()
Artırılmış Gerçeklik	()	()	()	()	()
Bulut Bilişim	()	()	()	()	()
Mobil Teknolojiler	()	()	()	()	()
Yapay Zekâ	()	()	()	()	()
RFID ve RTLS	()	()	()	()	()

31. Kullanmadığınız aşağıdaki teknolojilerden size uygun olan seçeneği işaretleyiniz.

	Hiç kullanmayı Düşünmüyoruz	2 yıl içinde Kullanılacak	Daha sonra Kullanılacak
Büyük Veri (Big Data) ve Analitik	()	()	()
Otonom Robotlar	()	()	()
Benzetim (Simülasyon)	()	()	()
Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu	()	()	()
Nesnelerin İnterneti (Sensörler dâhil)	()	()	()
Siber Güvenlik	()	()	()
Eklemeli Üretim (3D)	()	()	()
Artırılmış Gerçeklik	()	()	()
Bulut Bilişim	()	()	()
Mobil Teknolojiler	()	()	()
Yapay Zekâ	()	()	()
RFID ve RTLS	()	()	()

32. Aşağıdaki sistemlerden hangisini kullanıyorsunuz?

Üretim yürütme sistemi(MES)	[]
Kurumsal kaynak planlaması(ERP)	[]
Ürün yaşam döngüsü yönetimi	[]
Ürün veri yönetimi	[]
Ürün planlama sistemi(MPS)	[]
Üretim verilerinin alınması	[]
Makine veri toplama	[]
Bilgisayar destekli tasarım(CAD)	[]
Tedarik zincir yönetimi	[]

33. Aşağıdaki sistemlerin ana sistemle bir arayüzü var mı?

	Var	Yok
Üretim yürütme sistemi(MES)	[]	[]
Kurumsal kaynak planlaması(ERP)	[]	[]
Ürün yaşam döngüsü yönetimi	[]	[]
Ürün veri yönetimi	[]	[]
Ürün planlama sistemi(MPS)	[]	[]
Üretim verilerinin alınması	[]	[]
Makine veri toplama	[]	[]
Bilgisayar destekli tasarım(CAD)	[]	[]
Tedarik zincir yönetimi	[]	[]

34. İşletmenizde üretim koşullarındaki değişikliklere gerçek zamanlı olarak otomatik ya da yarı otomatik yanıt veren üretim süreçleri var mı? Durumunuza en uygun olanı işaretleyiniz.

- () Şirketler arası () Test ve pilot aşamasında
() Yalnızca belirli departmanlarda () Yok

35. Bilişim Teknolojiler (BT) organizasyonunuz nasıl düzenlenmiştir?

- () Kurum içi BT departmanı yok
() Merkezi BT departmanı var
() Her departmanda yerel BT var
() Her departmana bağlı BT uzmanları var
() Dışarıdan destek alınıyor

36. BT güvenlik çözümlerinizi hangi aşamada?

	Var	Yok
Dâhili veri depolamada güvenlik	()	()
Bulut Bilişim yoluyla verilerin güvenliği	()	()
Şirket içi veri alışverişi için iletişim güvenliği	()	()
İş ortaklarıyla veri alışverişi için iletişim güvenliği	()	()

37. İşletmenizde Bulut Bilişim Hizmetleri hangi amaçla kullanılmaktadır?

	Evet	Hayır
Veri Depolama için	()	()
Veri Analizi için	()	()
Bulut tabanlı yazılım için	()	()

38. İşletmenizde bilgi ve iletişim teknolojisine dayanan aşağıdaki işlevlerle donatılmış ürünlerden hangileri var?

	Var	Yok
Ürün belleği	()	()
Kendinden raporlama	()	()
Yardım sistemleri	()	()
İzleme	()	()
Nesne bilgisi	()	()
Otomatik tanımlama	()	()

39. Şirket içerisindeki Kurumsal Kaynak Planlaması yazılımı kullanıyor musunuz?

- () Logo
 () Microsoft Dynamics
 () Diğer (Belirtiniz)
 () Kullanmıyoruz

40. Ürün Takip Sistemi kullanıyor musunuz?

- () Evet Hangisi ? :
 () Hayır

41. Ürünün garanti süreçlerini takip ediyor musunuz?

- () Evet
 () Hayır

Veri ve Güvenlik

42. Üretim sırasında makine ve süreç verilerini topluyor musunuz?

(“Hiç toplamıyoruz”dan , “Çok iyi düzeyde topluyoruz”a doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

- () 1 () 2 () 3 () 4 () 5

43. Üretim sırasında makineleriniz, süreçleriniz, ürünleriniz ve arızalar ve nedenleri ile ilgili hangi veriler toplanıyor ve nasıl?

	Yok	Elle	Otomatik
Envanter verileri	()	()	()
Üretim işlem süreleri	()	()	()
Ekipman kapasite kullanımı	()	()	()
Üretim artıkları	()	()	()
Hata kotası	()	()	()
Çalışan kullanımı	()	()	()
Konumlama verileri	()	()	()
Kalan işleme ilişkin veriler	()	()	()
Geçiş süreleri	()	()	()
Genel ekipman verimliliği	()	()	()
Diğer	()	()	()

44. Topladığınız veriler nasıl kullanılıyor?

- [] Öngörücü bakım
 [] Lojistik ve üretim süreçlerinin optimizasyonu
 [] Kalite yönetimi
 [] Gerçek zamanlı verilerin kullanılmasıyla otomatik üretim kontrolü
 [] Kaynak tüketiminin optimizasyonu (malzeme, enerji)
 [] Diğer

45. Kullanım aşamasında topladığınız verileri analiz ediyor musunuz?

- () Evet () Hayır

46. Topladığınız verilerin yaklaşık ne kadarını kullanıyorsunuz?

- () Dörtte birini
 () Yarisını
 () Dörtte üçünü
 () Tamamını

47. Aşağıdaki departmanlarda işletme çapında(dâhili) veri paylaşımı var mı?

	Var	Yok
Araştırma ve Geliştirme	()	()
Üretim / İmalat	()	()
Kalite Kontrol	()	()
Satın Alma	()	()
Lojistik	()	()
Satış	()	()
Finans / Muhasebe	()	()
Hizmet	()	()
BT	()	()
İnsan kaynakları	()	()
Dış Ticaret	()	()

48. Aşağıdaki departmanlarda Müşteri ve Tedarikçiler ile veri paylaşımı var mı?

	Var	Yok
Araştırma ve Geliştirme	()	()
Üretim / İmalat	()	()
Kalite Kontrol	()	()
Satın Alma	()	()
Lojistik	()	()
Satış	()	()
Finans / Muhasebe	()	()
Hizmet	()	()
BT	()	()
İnsan kaynakları	()	()
Dış Ticaret	()	()

Yasal Düzenlemeler ve Teşviklerden Yararlanma

49. Şirketinizde ARGE/TASARIM merkezi var mı?

☐ Var ☐ Yok

50. Şimdiye kadar hiç ARGE/TASARIM projesi yaptınız mı?

☐ Evet ☐ Hayır

51. Üniversite Sanayi iş birliği yapıyor mu?

("Hiç yapılmıyor"dan, "Çok iyi düzeyde yapılıyor"a doğru 1 ile 5 arasında puan veriniz)

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

52. Sanayi 4.0 için Danışman Firma kullanıyor musunuz?

☐ Evet ☐ Hayır

53. TÜBİTAK projesi yapıyor musunuz?

☐ Evet ☐ Hayır

54. Avrupa Birliği projesi yapıyor musunuz?

☐ Evet ☐ Hayır

55. KOSGEB projesi yapıyor musunuz?

☐ Evet ☐ Hayır

56. Bunların dışında yerel ve ulusal farklı Ajanslarla proje yapıyor musunuz?

☐ Evet ☐ Hayır

57. Teşviklerden yararlanıyor musunuz?

☐ Evet ☐ Hayır

58. İşletmenizin ISO27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi belgeniz var mı?

☐ Var

☐ Yok

9. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:	Cihan Ünal
Uyruğu	:	TC
Doğum Yeri ve Tarihi	:	
Telefon	:	
Faks	:	
e-mail	:	

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cumhuriyet Lisesi , Ereğli , Konya	1983
Üniversite	: Hacettepe Üniversitesi	1988
Yüksek Lisans	: Ahmet Yesevi Üniversitesi	2015
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1985	Aselsan	Stajer
1988-2012	Ünal Eğitim Merkezi , Alka Eğitim	Bilgisayar Müh.
2012-	Hacettepe Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI : Veri Yapıları , Algoritmalar ve Siber Güvenlik

YABANCI DİLLER : İngilizce , Fransızca

YAYINLAR

Ünal, C., Sungur, C., & Yildirim, H. (2022). Application of the Maturity Model in Industrial Corporations. *Sustainability*, 14(15), 9478.