



**ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK MODELİ: TÜRKİYE ENDEKSİ VE
DEĞERLENDİRMESİ**

Esra KUMAŞ

**DOKTORA TEZİ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Esra KUMAŞ
15/09/2021

ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK MODELİ: TÜRKİYE ENDEKSİ VE
DEĞERLENDİRMESİ
(Doktora Tezi)

Esra KUMAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ
Eylül 2021

ÖZET

Bu çalışmada firmaların Endüstri 4.0 olgunluğunu ölçmek için bir olgunluk modeli kurulmuş ardından yapısal eşitlik modellemesi ve analitik hiyerarşi prosesi yöntemleri kullanılarak Endüstri 4.0 olgunluk endeksi hesaplanmıştır. Çalışmada üç farklı aşama içeren bir geliştirme prosedürü yürütülmüştür. İlk olarak Endüstri 4.0 alanının tam olarak anlaşılmasını sağlamak için ülkelerin Endüstri 4.0 politika ve tavsiyeleri, sektör çalışmaları ve akademik araştırmaları içeren literatür araştırmasıyla bir başlangıç aşaması oluşturulmuştur. Modelin yapısının tasarlanması ve test edilmesi için gerçekleştirilen geliştirme aşamasının ardından da gerçek hayattaki uygulamada doğrulamak için bir uygulama aşaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öncelikle sistematik bir literatür araştırması ve incelemesi yapılmış, literatürdeki bilgiler ve uzman görüşmeleri ışığında kavramsal modelleme oluşturulmuştur. Kavramsal modelin doğrulanması ve her bir boyutun ölçüm değişkenlerine ait faktör ağırlıklarının belirlenmesi için 149 firmadan elde edilen veriler kullanılarak yapısal eşitlik modellemesinden faydalanılmıştır. Yapısal eşitlik modeli sonucunda ölçüm değişkenleri için elde edilen ağırlıklar kullanılarak Endüstri 4.0 olgunluk endeksi hesaplanmıştır. Endüstri 4.0 olgunluk endeksi ile firmaların mevcut seviyelerinin belirlenmesi ve bir üst seviyeye çıkabilmesi için yol haritası sunulması amaçlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise otomotiv sektöründe üç farklı firmada uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama aşamasında yapısal eşitlik modellemesi ile elde edilen faktör ağırlıklarına ilaveten Endüstri 4.0 olgunluk modelinin boyutlarının da her sektör için farklı ağırlıklara sahip olabileceği öngörülmüştür. Boyutların ağırlıklarının belirlenmesinde otomotiv sektöründen uzman görüşleriyle çok kriterli karar verme tekniği olan analitik hiyerarşi prosesi (AHP) metodu kullanılmıştır.

Bilim Kodu : 114610
Anahtar Kelimeler : Endüstri 4.0 olgunluk modeli, Endüstri 4.0 olgunluk endeksi, yapısal eşitlik modellemesi, analitik hiyerarşi prosesi
Sayfa Adedi : 246
Danışman : Prof. Dr. Serpil EROL

INDUSTRY 4.0 MATURITY MODEL: INDEX AND EVALUATION FOR TURKEY
(Ph. D. Thesis)

Esra KUMAŞ

GAZİ UNIVERSITY
INFORMATICS INSTITUTE
September 2021

ABSTRACT

In this study, Industry 4.0 maturity index was calculated by using the structural equation model and analytical hierarchy process methods. A development procedure including three different stages was carried out in the study. To ensure a full understanding of the Industry 4.0 field, a literature search has been conducted, including countries' Industry 4.0 policies and recommendations, industry studies, and academic research. Then a versatile method was then used, consisting of a development phase to design and test the structure of the model, and finally an implementation phase to verify it in real-life practice. In the study, firstly, a systematic literature search and review was conducted to create a maturity model. Then, conceptual modeling were carried out in the light of the information in the literature and expert interviews. The conceptual model was validated, and factor weights of measurement variables of each dimension were determined. For this, the structural equation model was used in light of the data obtained from 149 firms through surveys. In the last part of the study, the practice was carried out in three different companies in the automotive industry. For this activity, it has been predicted that the dimensions of the industry 4.0 maturity model may have different weights for each sector. The analytical hierarchy process (AHP) method, which is a multi-criteria decision-making technique with expert opinions from the automotive industry, was used in determining the weights of the dimensions.

Science Code : 114610

Key Words : Industry 4.0 maturity model, Industry 4.0 maturity index, structural equation model, analytic hierarchy process

Page Number : 246

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Serpil EROL

TEŞEKKÜR

Çalışmamın hazırlanması ve yürütülmesi aşamasında yönlendirme, yardım ve destekleri için danışmanım Sayın Prof.Dr. Serpil Erol'a, tez sürecinde yönlendirmeleri ve ilgisi için Sayın Prof. Dr. Süleyman Ersöz'e, Sayın Prof. Dr. Erkan Köse'ye, Sayın Doç. Dr. Adnan Aktepe'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, tez sürecinde daima yanımda olan, her türlü yardım, destek ve anlayışları için sevgili eşim Erhan Kumaş'a, canım kızım Azra Duru Kumaş'a ve canım oğlum N. Ömer Kumaş'a teşekkürü borç bilirim. Bu çalışmayı Azra ve Ömer'e ithaf ediyorum.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. SANAYİ DEVRİMLERİNİN YAPISI	7
2.1. Endüstri 1.0	10
2.2. Endüstri 2.0	11
2.3. Endüstri 3.0	13
2.4. Endüstri 4.0	17
2.4.1. Kavramsal yaklaşım	17
2.4.2. Ortaya çıkış.....	20
2.4.3. Amaç	22
2.4.4. Teknolojiler	25
2.4.5. Strateji ve politikalar	39
2.4.6. Zorluklar ve tehditler.....	51
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	57
3.1. Olgunluk Modeli.....	57
3.1.1. Bütünleşik yetenek olgunluk modeli (CMMI).....	62

Sayfa

3.1.2. Geliştirilmiş telekom operasyon haritası (eTOM)	67
3.1.3. Bilgi ve ilgili teknolojiler için kontrol hedefleri (COBIT).....	69
3.2. Endüstri 4.0 Olgunluk Modelleri	72
4. ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ	83
4.1. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli Boyutları	83
4.1.1. Strateji yönetimi boyutu	85
4.1.2. Organizasyon yönetimi boyutu	94
4.1.3. Teknoloji yönetimi boyutu.....	100
4.1.4. Akıllı üretim boyutu	107
4.1.5. Akıllı ürünler boyutu	111
4.1.6. Akıllı süreçler boyutu.....	115
4.2. Olgunluk Seviyelerinin Belirlenmesi	118
5. ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK ENDEKSİ	125
5.1. Yapısal Eşitlik Modeli.....	125
5.1.1. Tanımı ve tarihsel gelişimi	126
5.1.2. Temel kavramlar	127
5.1.3. Yapısal eşitlik modelinin varsayım ve aşamaları.....	132
5.2. Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi Tahmini	142
5.3. Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi İçin Geliştirilen Model	145
5.3.2. Endüstri 4.0 olgunluk endeksi kavramsal modeli	145
5.3.2. Anket tasarımı ve uygulanması	149
5.3.2. Ölçüm modeli ve yapısal modelin oluşturulması.....	149
5.3.4. Endüstri 4.0 olgunluk endeksi hesaplanması	156
5.3.5. Sonuçların yorumlanması	161

Sayfa

5.4. Bütünleşik Yapısal Eşitlik Modeli ve Analitik Hiyerarşi Süreci ile Otomotiv Sektörü Pilot Uygulaması	169
5.4.1. Analitik hiyerarşi prosesi.....	169
5.4.2. Otomotiv sektörü pilot uygulaması.....	174
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	197
KAYNAKLAR	201
EKLER.....	215
EK-1. Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi	216
EK-2. Ölçüm modeli formları LISREL çıktı dosyası	228
EK-3. AHP uzman görüşü uygulama formu.....	242
EK-4. AHP boyut ağırlıkları hesaplama sonuçları	243
ÖZGEÇMİŞ	246

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. CMMI süreç alanlarının olgunluk seviyesine göre listelenmesi	64
Çizelge 3.2. CMMI olgunluk seviyeleri genel özellikler	65
Çizelge 3.3. CobiT çekirdek modeli.....	70
Çizelge 3.4. Endüstri 4.0 olgunluk modelleri karşılaştırmalı tablo	76
Çizelge 4.1. Değerlendirilecek konular ve fonksiyonlar.....	91
Çizelge 4.2. Olgunluk seviyeleri alt ve üst limitler	119
Çizelge 4.3. Olgunluk seviyeleri için gereklilikler.....	119
Çizelge 5.1. LISREL YEM gösterimi.....	136
Çizelge 5.2. Uyum istatistikleri	141
Çizelge 5.3. Ölçüm değişkenleri ve bağlı olduğu gizli değişkenler	146
Çizelge 5.4. Ölçüm modeli değişkenleri.....	150
Çizelge 5.5. Yapısal eşitlik modellemesi uyum istatistikleri değerleri	153
Çizelge 5.6. Strateji yönetimi boyutu olgunluk endeksi	156
Çizelge 5.7. Organizasyon yönetimi boyutu olgunluk endeksi	157
Çizelge 5.8. Teknoloji yönetimi boyutu olgunluk endeksi	158
Çizelge 5.9. Akıllı üretim boyutu olgunluk endeksi	158
Çizelge 5.10. Akıllı ürünler boyutu olgunluk endeksi.....	159
Çizelge 5.11. Akıllı süreç boyutu olgunluk endeksi	159
Çizelge 5.12. Strateji yönetimi boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması	162
Çizelge 5.13. Organizasyon yönetimi boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması	162

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.14. Teknoloji yönetimi boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması	163
Çizelge 5.15. Akıllı üretim boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması	164
Çizelge 5.16. Akıllı ürünler boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması	164
Çizelge 5.17. Akıllı süreç boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması	165
Çizelge 5.18. Gizli değişkenler arasındaki ilişki	166
Çizelge 5.19. Anketlere ilişkin betimsel istatistikler	168
Çizelge 5.20. AHP karşılaştırma ölçeği	171
Çizelge 5.21. Karşılaştırma matrisi.....	171
Çizelge 5.22. Rasgele tutarlılık indeksi (RI).....	174
Çizelge 5.23. Otomotiv sektörü faktör ağırlıkları.....	175
Çizelge 5.24. Endüstri 4.0 olgunluk modelinin üç farklı pilot firma uygulama sonuçları.....	175
Çizelge 5.25. Endüstri 4.0 pilot uygulaması firmalar olgunluk seviyeleri	176
Çizelge 5.26. Firma A pilot uygulama sonuçları	178
Çizelge 5.27. Firma B pilot uygulama sonuçları	183
Çizelge 5.28. Firma C pilot uygulama sonuçları	191

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sektörlere göre endüstri 4.0'dan beklenen maliyet iyileştirmeleri.....	20
Şekil 2.2. Dijital dönüşümde etkinleştirici anahtar teknolojilerin birleşmesi.....	29
Şekil 2.3. Dijital verinin dünya genelinde yıllar itibariyle artışı.....	30
Şekil 2.4. Küresel üretim katma değerinin ülkelere göre payı.....	50
Şekil 2.5. Şirketlerin dijital dönüşümde en önemli engel olarak gördükleri faktörler....	52
Şekil 2.6. BT araçlarının şirket içinde benimsenme ve yayılma hızı.....	54
Şekil 3.1. Olgunluk modeli geliştirme prosedürü	60
Şekil 3.2. CMM mimarisi	63
Şekil 3.3. eTOM mimarisi	68
Şekil 3.4. CobiT yönetim bileşenleri.....	70
Şekil 3.5. CobiT olgunluk seviyeleri	72
Şekil 4.1. Endüstri 4.0 olgunluk modeli	85
Şekil 4.2. Strateji yönetimi boyutu alanları	87
Şekil 4.3. Strateji yönetimi boyutu ve endüstri 4.0 geçiş planlaması	89
Şekil 4.4. Uygulama planı ve yol haritası	90
Şekil 4.5. Organizasyon yönetimi boyutu ve alanları	96
Şekil 4.6. Organizasyon mimarisi ve iş süreçleriyle ilişkili proje risk haritası.....	99
Şekil 4.7. Organizasyon yönetimi boyutu ve detayları	100
Şekil 4.8. Teknoloji yönetimi kurgusu şematik gösterimi	102
Şekil 4.9. Teknoloji yönetimi boyutu ve alanları.....	103
Şekil 4.10. Sektörlere göre verilerin karar vermede önem düzeyi karşılaştırmalı grafik.....	114
Şekil 5.1. Yol diyagramı sembol gösterimi	129

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Temel yol modelleri.....	130
Şekil 5.3. Standart doğrulayıcı faktör analizi gösterimi	132
Şekil 5.4. YEM temel adımlar akış şeması	134
Şekil 5.5. Tipik bir yapısal eşitlik modeli	135
Şekil 5.6. Ölçme modeli.....	137
Şekil 5.7. Yapı modeli	138
Şekil 5.8. Olgunluk modeli doğrulayıcı faktör analizi.....	152
Şekil 5.9. Endüstri 4.0 olgunluk endeksi yapısal modeli.....	154
Şekil 5.10. Tasarlanan olgunluk modelinin yapısal eşitlik modeli	155
Şekil 5.11. Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi radar grafiği.....	161
Şekil 5.12. İşletmelerin faaliyet alanlarına göre endeks değerleri	166
Şekil 5.13. İşletmelerin çalışan sayılarına göre endeks değerleri	167
Şekil 5.14. İşletmelerin faaliyet sürelerine göre endeks değerleri	167
Şekil 5.15. Firma A ile Türkiye karşılaştırması.....	180
Şekil 5.16. Firma B ile Türkiye karşılaştırması	187
Şekil 5.17. Firma C ile Türkiye karşılaştırması	194

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

ξ

η

Açıklamalar

Bağımsız gizli değişken

Bağımlı gizli değişken

Kısaltmalar

AB

ABD

ACATECH

AFA

AHP

BİT

BMBF

BS

BSTB

CPS

DFA

ERA

IoT

NIST

NSF

OECD

RFID

YEM

Açıklamalar

Avrupa Birliği

Amerika Birleşik Devletleri

Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi
(Deutsche akademie der technikwissenschaften)

Açımlayıcı faktör analizi

Analitik hiyerarşi prosesi

Bilgi ve iletişim teknolojileri

Alman Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı
(Bundesministeriums für Bildung und Forschung)

Bilişim sistemleri

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı

Siber fiziksel sistemler (cyber-physical systems)

Doğrulayıcı faktör analizi

Avrupa araştırma alanı (European research area)

Nesnelerin interneti (internet of things)

ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
(National Institute of Standards and Technology)

ABD Ulusal Bilim Vakfı (National Science
Foundation)

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation
for Economic Co-operation and Development)

Radyo frekansı ile tanımlama

Yapısal eşitlik modellemesi

1. GİRİŞ

“Teknolojiyi, ister sosyolog Marcuse ya da romancı Simone de Beauvoir gibi, insanoğlunun esaretinin ve yıkılışının aracı, ister Adam Smith ya da Marx gibi serbestlik sağlayan bir güç olarak görelim; aslında hepimiz teknolojiadaki ilerleme ile iç içeyiz. Ne kadar istersek isteyelim, teknolojinin günlük hayatımız üzerindeki etkisinden, önümüze koyduğu ahlaki, toplumsal ve ekonomik ikilemlerden kaçamayız. Onu lanetleyebilir ya da kutsayabiliriz; ama yok sayamayız.”

Chris Freeman¹

Toffler (1981), tarım devriminin 1000, sanayi devriminin 300 yıl sürmesine karşılık bilgi devriminin 100 yılda tamamlanacağını öngörmüştür (Tonta ve Küçük, 2005). Tarımda madeni araçların kullanılması daha çok ürün elde edilmesini, daha çok ürün bu ürünlere bağlı yan ürünlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. McKeefery, bir teknolojinin etkisinin, o teknolojinin yapacağı işi yapmak için gerekli insan özelliklerini kaç kat artıracığı ile ölçülebileceğini düşünmektedir (Chachra (1992)’dan alıntılan Tonta ve Küçük, 2005). Pulluk insan gücünü 10 kat artırmış ve kimyasal gübre kullanımıyla birlikte tarım devrimine yol açmıştır. Benzer şekilde tarihte insan gücünü artıran bir diğer teknoloji buhar makinesi olmuş ve insan gücünü 1000 kat artırarak sanayi devrimine yol açmıştır. Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler bilginin toplanmasında, işlenmesinde, depolanmasında insan yeteneklerini milyonlarca kat artırmıştır. Ağ teknolojileri ile beraber kullanıldığında ise bilginin ağlar aracılığıyla bir yerden bir yere iletimini milyonlarca kat hızlandırmıştır. Dolayısıyla son yüzyılda bilgi iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler insan yeteneklerini trilyonlarca kat artırmıştır (Tonta ve Küçük, 2005). Bu defa insan özellikleriyle yapılabilecek işlerin buhar makinesi, elektrik, bilgisayar ve internet gibi teknolojiadaki gelişmeler sayesinde trilyonlarca kat artması, yeni bir devrimin başlamasında itici güç haline gelmiştir. Mucitlerine 1956 yılında Nobel Fizik ödülü kazandıracak olan transistörün, 1947 yılında icat edilmesiyle iletişim ve elektronik alanında büyük değişimler yaşanmıştır. Bu tarihten sonra bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler her geçen gün bilgi işlemcilerin hem küçülüp hızlanmasını hem de ucuzlamasını sağlamıştır. Gitgide küçülen, hızlanan ve ucuzlayan bilgi işlemciler de bilgisayar teknolojisinin kullanıldığı ürün sayısını her geçen gün artırmıştır. Intel’in kurucusu Gordon Moore 1965’te yayınladığı makalesinde daha sonra

¹ Bu alıntıyı Chris Freeman’ın Yenilik İktisadı isimli kitabından Aykut Göker alıntılanarak “Teknoloji Sorununa Genel Bir Bakış” isimli seminerinin başlangıcında kullanmıştır.

Moore Yasası olarak da bilinecek bir öngöründe bulunarak bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemenin en az 10 yıl boyunca üstel olarak ilerleyeceği tahmininde bulunmuştur. Moore 1965 yılında kaleme aldığı makalesinde;

“Transistör başına minimum maliyeti oluşturan çip başına düşen transistör sayısı her yıl yaklaşık iki kat artmaktadır. Kısa vadede bu oranın bu şekilde devam etmesi beklenebilir. Uzun vadedeyse artış oranıyla ilgili durum belirsizdir. Ancak en az 10 yıl boyunca sabit kalmayacağını düşündürecek hiçbir neden bulunmamaktadır.”

demektedir (Moore, 1965). Moore’un bu tahmini 50 yıldır geçerliliğini korumakla birlikte günümüzde, çip başına düşen transistör sayısı için süre 18 ay olarak genel kabul görmektedir (Brynjolfsson ve McAfee, 2015). Teknolojide yaşanan bu üstel gelişme endüstri uygulamalarında ciddi bir teknoloji baskısına neden olmuştur. Üstel gelişme sadece teknolojinin kendisinde değil aynı zamanda sürecin hızı, verimliliği, maliyet etkinliği gibi sürecin tümünde aynı üstel etkiye sahiptir. Ayrıca bilgisayar tabanlı teknolojilerin gücü ile fiyat performansındaki bu üstel büyüme yalnızca bilgisayarla sınırlı değildir; temelde tüm bilgi teknolojileri için geçerlidir. Bu hız daha sonra üstel büyümenin ikinci düzeyini doğuracak, başka bir ifadeyle üstel büyümenin hızı da üstel olarak büyüyecektir (Kurzweil, 2016). Brynjolfsson ve McAfee “The Second Machine Age” adlı kitaplarında üstel gelişmenin etkisinin başlarda hissedilememesine karşılık ileriki zamanlarda önceki artışları ezip önemsizleştireceğini vurgulamaktadır. Bu gücün ezici etkisinin başlarda hissedilememesini; fizik profesörü olan Albert A. Barlett’in “İnsanoğlunun en büyük eksikliği, üstel fonksiyonu anlayamamasıdır” sözüne atıfta bulunarak satranç tahtası örneği üzerinden anlatmışlardır. Kurzweil’in 1999 yılında yayınlanan “Ruhsal Makineler Çağı” kitabında aktarılan hikayeye göre;

“Satranç oyunu altıncı yüzyılda Gupta İmparatorluğu tarafından yönetilen Hindistan’da ortaya çıkmıştır. Satrancı icat eden kişi çok zeki bir adammış ve imparator bu zor ve güzel oyunun mucidine; “dile benden ne dilersen” demiş. Mucit “tek istediğim, ailemin karnını doyurmak için biraz pirinç. Tahtadaki ilk kareye tek bir pirinç tanesi koyun. İkinci kareye iki, üçüncü kareye dört diye devam edin. Böylece her karede bir öncekinin iki katı pirinç olsun.

...

32 kare sonra imparator, mucide 4 milyar pirinç tanesi vermiş bulunuyordu. Bu, kabul edilebilir bir miktardır. Yaklaşık olarak bir çeltik tarlasının mahsulüne eşittir. Fakat imparator o noktadan sonra meseleye daha dikkatli bakmaya başladı.”

Satranç tahtasındaki 64 kare sonrasında arka arkaya yapılan 63 kez iki kat artırma işlemi olağanüstü büyük sonuçlar ortaya çıkaracak, satranç tahtasının sonunda 570 milyar ton gerekecek ve bunu elde etmek 1000 yılı bulacaktır (Rooney’den alıntılanan Kurzweil, 1999).

Kurzweil satranç tahtasının ilk yarısı ile ikinci yarısının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğine, ilk yarıda makul ve anlaşılabilir rakamlar yer alırken ikinci yarıdan sonra her bir karede gerçekleşen değişikliğin bir öncekini önemsiz kıldığına dikkat çekmiştir. Moore Yasasının ortaya çıktığı yıl olarak transistörlerin orijinal boyutlarının onda birine indirilmeye başlanıp 30 milyon kadar üretildiği 1957 yılı başlangıç kabul edildiğinde, şirketler satranç tahtasının ikinci yarısına geçmiş bulunmaktadır (Brynjolfsson ve McAfee, 2015).

Teknolojik baskının tek nedeni ucuzlayan ve küçülen transistörlerin girmiş olduğu cihaz sayısındaki artış değildir. Aynı zamanda yeni gelişen uygulamalar da teknolojik baskıya neden olmaktadır. Siber-fiziksel sistemler, bulut teknolojileri, akıllı fabrikalar, nesnelerin interneti, siber güvenlik, öğrenen robotlar, büyük veri, sanal gerçeklik ve 3 boyutlu yazıcı teknolojileri gibi Endüstri 4.0’ın bileşeni olarak kabul edilen (Hermann, Pentek ve Otto, 2015) yeni teknolojiler de şirketlerin iş yapış şekillerini değiştiren diğer baskı unsurlarıdır. Gerek malzeme bilimindeki, gerek elektronik alanında gerekse imalat teknolojileri alanındaki gelişmeler bugün yukarıda bahsi geçen jenerik teknolojilerin işletmeler içerisinde kullanabilecek maliyet düzeylerine ulaşmasını sağlamışlardır.

Bir taraftan teknolojideki bu ilerlemelerin imalat sanayi için sağlayacağı muhtemel faydalar diğer yandan gelişmiş ülkelerin imalat hacimlerindeki düşüş ülkeleri yeni üretim politikaları arayışına itmiştir. Özellikle değer zincirinin en üst noktasında yer alan Çin’deki artan üretim payıyla birlikte başta AB’deki sanayi politikası olmak üzere Türkiye, İngiltere, Japonya, Kore, Çin, Brezilya, ABD, Fransa, İngiltere, Hollanda ve Hindistan da dahil olmak üzere birçok ülkede sanayi politikasına olan ilgi dünya çapında yeniden ateşlenmiştir (OECD, 2017). Bu politikaların bir sonucu olarak Alman Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (Bundesministerium für Bildung und Forschung-BMBF)’nin 2010’da yayınladığı “Yüksek Teknoloji Stratejisi” nin uygulanmasına ilişkin raporunda,

gelecekteki faaliyetler için on alan tanımlamıştır. Endüstri 4.0 - Almandada “*Industrie 4.0*” bu on alandan biri olmuştur (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2010). Endüstri 4.0, imalat sistemleri ve ürünlerin tasarımında, üretiminde, işletilmesinde ve hizmetinde bir grup hızlı dönüşüm için kullanılan bir terimdir. Terim; üretkenlikte kuantum sıçramalarına neden olan ve dünya genelinde insanların yaşamlarını değiştiren daha önceki üç sanayi devriminin devamı olarak dördüncü sanayi devrimini ifade etmektedir. Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak 2011 yılında Alman Devleti Yüksek Teknoloji Stratejisi çerçevesinde Kagermann tarafından dile getirilmiş ve bu kapsamda Endüstri 4.0 projesi hayata geçirilmiştir. Almanya Başbakanı Angela Merkel'in tanımıyla Endüstri 4.0; “dijital teknoloji ve internetin geleneksel endüstri ile birleşmesi yoluyla endüstriyel üretimin tüm alanının kapsamlı bir şekilde dönüştürmesi”ni ifade etmektedir. Kısacası, bir üretim operasyonundaki ve etrafındaki her şey (tedarikçiler, tesis, distribütörler, hatta ürünün kendisi) dijital olarak birbirine bağlıdır ve son derece entegre bir değer zinciri sağlamaktadır (European Parliamentary Research Service, 2015).

Amerika, Japonya, Çin, Avusturya, Fransa, İtalya, İsviçre ve İngiltere gibi diğer ülkeler de dijital üretim için önemli adımlar atmış ve stratejilerini yayınlamışlardır. Amerika Birleşik Devletleri bu süreci; “İleri İmalat Ortaklığı” (Advanced Manufacturing Partnership) ve “İmalatta Yenilikçilik İçin Ulusal Ağ” (National Network for Manufacturing Innovation) girişimleriyle yürütürken, İtalya, “La Fabbrica del Futuro (2012-2018)” projesi ile ürünlerin özelleştirilmesi, yeniden yapılandırılabilir fabrikalar, yüksek performans ve sürdürülebilirlik gibi alanlarda araştırma girişimlerini desteklemiştir. Ayrıca İtalya Endüstri 4.0 için ulusal bir planını (Piano Nazionale Impresa 4.0) yayınlarak endüstrinin dijitalleşmesine yönelik imalat şirketlerine yatırımları teşvik etmiştir (Tolio, Copani ve Terkaj, 2019).

Birleşik Krallık, üretimi daha duyarlı, daha sürdürülebilir, yeni pazarlara daha açık ve kalifiye işçilere daha bağımlı hale getirmek için bir dizi politika başlatmış, 2013’de “İmalatçılığın Geleceği Birleşik Krallık için Yeni bir Fırsat ve Meydan Okuma Çağı” raporunu yayınlamış ve şirketlerin gelişmiş üretim ve süreç yeniliği gibi özel alanlarda araştırma ve uzmanlığa erişmesine yardımcı olan ve 'Katapult merkezleri' olarak adlandırılan yüksek değerli üretim merkezleri kurmayı amaçlamıştır. Fransa ise; “Geleceğin Fabrikası” planını başlatmıştır. Benzer şekilde Asya-Pasifik ülkeleri içerisinde Çin, Kore ve Japonya da akıllı üretim teknolojilerine yönelik planlarını açıklamışlardır.

Çin, yapay zeka ile inşa edilen endüstriyel robotlara yönelik hamlede küresel liderliği ele almakta ve “Made in China 2025” adlı sanayi politikasıyla da büyümesine öncelik vermektedir (Wübbeke, Meissner, Zenglein, Ives ve Conrad, 2016). Kore “Üretim Yeniliği 3.0” stratejisi ile akıllı üretim teknolojilerine yönelik rehberlik ve finansman sağlayan açık ülke politikaları ve stratejilerine sahipken Japonya “Toplum 5.0” stratejisi ile bu süreci yönetmektedir.

Türkiye’de Endüstri 4.0 çalışmaları imalat sanayinin dijital dönüşümü politika ve stratejileri çerçevesinde ilerlemekte ve “Sanayide Dijital Dönüşüm” olarak adlandırılmaktadır. Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu (BTYK), Şubat 2016’da “akıllı üretim sistemlerine yönelik çalışmaların yapılması” kararını almış ve bu karar ile Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB) ve TÜBİTAK görevlendirilmiştir. Karar kapsamında TÜBİTAK tarafından “Akıllı Üretim Sistemlerine Hizmet Eden Kilit ve Öncü Teknolojiler”in belirlenmesi amacıyla Nisan-Kasım 2016 tarihleri arasında yürütülen bir dizi çalışmanın ardından, Aralık 2016’da “Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası” raporu hazırlanmıştır. “Dijitalleşme, Etkileşim ve Geleceğin Fabrikaları” ana başlıkları altında 3 teknoloji grubu oluşturularak kritik teknolojiler, stratejik hedefler ve kritik ürünler tespit edilmiştir (ab.gov.tr; sbb.gov.tr; tubitak.gov.tr).

On Birinci Kalkınma Planı çerçevesinde oluşturulan “Sanayide Dijitalleşme Grubu” tarafından Aralık 2018’de yayınlanan, bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) üretim süreçlerinde kullanımı ile verim artırma, maliyet düşürme ve pazar payının artmasına yönelik yeni yaklaşımının değerlendirildiği raporda; dijital dönüşümün Türkiye’de mutlaka gerçekleştirilmesi gerektiği, aksi takdirde yeni sanayi devriminin de kaçırılacağı, bu yeni devrimin zamanlama ve içerik olarak bir fırsat olduğu şeklindedir. Eğer gerekenler yapılmaz ise Türkiye olarak dünya pazarında tercih edilebilir bir ülke olmaktan uzaklaşılacağı, pazar payının düşeceği ve ekonomik olarak zor bir döneme girileceği ifade edilmiştir (Kalkınma Bakanlığı, 2018). Raporda temel amaç ve politikalara dönük uygulama stratejileri kapsamında önerilen düzenlemelerden biri de; sanayide dijital dönüşüm endeksinin belirlenmesi ve dönüşümle ilgili standart ve normların oluşturulmasıdır.

Bu tez çalışmasında yukarıda bahsi geçen bu strateji ve politikalara yönelik olarak imalat firmalarının Endüstri 4.0 olgunluk endeksi ölçümü için bir metot geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada imalat firmalarına yönelik Endüstri 4.0 olgunluk modeli

geliştirilmiş ve geliştirilen bu model baz alınarak Endüstri 4.0 olgunluk endeksi ölçülmüştür. Çalışmanın birinci bölümü olan giriş bölümünün ardından ikinci bölümde sanayi devrimlerinin yapısı incelenmiş, üçüncü bölümde olgunluk modelleri ve Endüstri 4.0 olgunluk modellerine ilişkin literatür taraması yapılmış ve dördüncü bölümde yapılan literatür çalışması sonucunda olgunluk modeli oluşturulmuştur. Beşinci bölümde tezin yöntemi aktarılmıştır. Literatür araştırması ve uzman görüşleri sonucunda elde edilen ölçüm modeline ilişkin gizli ve gözlenen değişkenlerin elde edilebilmesi için yapılan anket ve sonuçların elde edilmesinde kullanılan yöntem olan yapısal eşitlik modeli (YEM) anlatılmıştır. Linear Structural Relations (LISREL) kullanılarak elde edilen katsayılar sonucunda genel Endüstri 4.0 olgunluk endeksi elde edilmiştir. Bu bölümde son olarak bütünleşik yapısal eşitlik modeli ve analitik hiyerarşi prosesi (AHP) metodu uygulanarak modelin doğrulanması için otomotiv sektöründe faaliyet gösteren üç firmanın sonuçları karşılaştırılmış, altıncı ve son bölümde de elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. SANAYİ DEVRİMLERİNİN YAPISI

“Ne kadar geriye bakarsan o kadar ileriye görebilirsin.”

Winston Churchill

Devrim; “Belli bir alanda hızlı, köklü ve nitelikli değişiklik” olarak tanımlanmaktadır. Devrim aynı zamanda, yerleşik toplumsal düzeni değiştirme ve yeniden biçimlendirme; yavaş bir gelişme olan evrime karşıt olarak, toplumsal yaşayışta ve siyasal durumda birdenbire gerçekleştirilen, köklü ve temelli bir değişimdir (Türk Dil Kurumu). Basalla (1996)’ya göre ise devrim; geçmişle kesin bir kopuşu ifade eder (s. 36). Tarih boyunca yeni teknolojiler ve dünyayı algılama biçimleri ekonomik sistemlerde ve sosyal yapılarda derin bir değişimi tutuşturduğunda hep devrimler gerçekleşmiştir (Schwab, 2017).

Binlerce yıl boyunca insanlık, neredeyse gözle görülemeyecek kadar ağır bir yükselme trendiyle ilerlerken son iki yüzyılda ani ve şiddetli bir şey olmuş ve insanoğlunun nüfus ve sosyal gelişim tarihinin çizgisinde 90 derecelik bir kırılma meydana gelmiştir (Brynjolfsson ve McAfee, 2015:13). On sekizinci yüzyıl ile 19. yüzyıl başı üç çarpıcı değişimle tanımlanmaktadır: aydınlanmanın ve romantizmin kültürel devrimleri, Avrupa ve Amerika’yı saran siyasi devrimler ve İngiltere’den başlayıp Batı Avrupa ve Kuzey Amerika’nın doğusuna yayılan endüstri devrimi (Headrick, 2002:19). Bu değişimlerle birlikte tarım toplumundan sanayi toplumuna geçiş yaşanmıştır.

Headrick’e (2002) göre endüstri devriminin başı ve sonu yoktur. Bu nedenle tamamlandığı zamanı sormak anlamsızdır. Çünkü endüstri devriminin özünde devrimci değişimin artık bir kural haline gelmesi bulunmaktadır.

On dokuzuncu yüzyılın başlarında yaşanan değişimin ‘endüstri devrimi’ ismi ile adlandırılmasında iki yaklaşım mevcuttu. İlki; devrimin ilk önce teknoloji alanında gerçekleştiği onun ardından endüstriye yayıldığı varsayımına dayanırken diğeri, teknoloji aracılığıyla toplumsal yapıda gerçekleştirilen büyük değişiklik olarak tanımlanmaktaydı. İlk yaklaşıma göre teknolojik-endüstriyel değişme devrimciyken ikincisine göre ise toplumsal ve ekonomik değişimler devrimciydi (Basalla, 1996:81). Bu dönemde teknolojik uygulamalar, yeni teknolojik sistemde erişilebilir hale geldiği ülkeler tarafından üretim ve dağıtım süreçlerine dönüştürülmüş, yeni ürünlerin ortaya çıkmış, zenginlik ile iktidarın konumunu belirleyici bir şekilde değişmiştir. Dolayısıyla tüm bu gelişmeler “devrim” niteliğinde olmuştur (Castells, 2005:44).

Endüstri devrimiyle artık mal ve hizmetler sürekli, hızlı ve günümüze kadar uzanan sınırsız ölçüde çoğaltılmış, daha önce hiçbir dönemde, endüstri öncesi bir toplumsal yapının, yetersiz bir bilim ve teknolojinin, dolayısıyla da sürekli çöküş, kıtlık ve ölümlerin üretime koyduğu tavan delinip geçilememiştir. İktisatçılar bu durumu teknik bir terimle “kendi kendini besleyen bir büyümenin kalkış noktası” olarak adlandıracaklardı (Headrick, 2002:57).

Buhar gücüne dayanan ilk devrim ile elektiriğe dayalı ikinci devrim enerji kaynaklıyken üçüncü devrim bilgiye dayalı bir enformasyon devrimiydi (Bell’den alıntılanan Kumar, 2010). Elektrikli telegraf, telefon, gramofon, film, radyo ve televizyon yüz yıldan fazla bir süredir hazırlanmakta olan enformasyon devriminin daha önceki dışavurumları olmuştur. Ancak, Herbert Simon’ın belirttiği gibi, "bilgisayar, enformasyonu manipüle etme ve dönüştürme ve böylelikle daha önceleri yalnızca insan beyni tarafından gerçekleştirilebilir olan işlevleri insan müdahalesine gerek bırakmaksızın otomatik olarak yerine getirme kapasitesi açısından benzersiz" olduğu için bu döneme damgasını vuran gelişme bilgisayar olmuştur (Simon’da alıntılanan Kumar, 2010).

Sanayi devrimi süreçlerinde başka ülkelerden bilim insanları, araştırmacılar ve sanayiciler hem yeni teknolojilerin keşfinde, hem de yayılmasında çok önemli bir rol oynamışlardır. İlk iki devrimde yayılma hızı daha yavaşken üçüncü devrim iletişim araçları sayesinde oldukça hızlı bir şekilde yayılmıştır. Fransa ve Almanya yeteneğin ve uygulamaların gelişmesinde, İngiltere, Fransa, Almanya, İtalya bilimsel keşifler sayesinde elektronik ve biyoloji alanındaki yeni tekniklerin gelişmesinde, Japon şirketleri ise elektronik alanında imalat süreçlerinin gelişiminde, enformasyon teknolojilerinin gündelik hayata girmesinde kritik bir rol oynamıştır. Böylelikle sanayi farklı ülkelerden şirketlerin bir arada çalışabileceği, stratejik ittifakların kurulabileceği ve ağlar oluşturulabileceği yönünde gelişmiştir (Castells, 2005:77). Bu durum şirketlerin iş yapış şekillerini sadece geliştirmekle kalmamış her dönemi baştan aşağı da değiştirmiştir.

20. ve 21. yüzyıllar, imalatın önemli olduğu sanayi çağlarıdır. Sanayi, şimdiye kadar üç devrim geçirmiş, şu an dördüncü bir devrimin içerisinde olduğumuza dair fikir birliği bulunmaktadır ve bundan sonra da yeni devrimlerin gerçekleşmesi kaçınılmazdır. 18. ve 19. yüzyıllar arasında yaşanan Endüstri 1.0 döneminde ürün hacmi endüstriyel ürünlere olan talebin tek boyutuydu. Arzlar taleplerden daha küçüktü ve endüstriyel ürünlerin çıktıkları toplumdan gelen talepleri karşılayamıyordu. Ürün çeşitliliği çok düşüktü ve çoğu

mal tarımsal ürünlerdi, bu nedenle fiyat ayarlaması o zamanlar arz-talep uyumsuzluğunu dengelemek için iyi bir araçtı. Bu dönem üretim süreçlerinin mekanizasyonu ile üretim hacimlerinde yaşanan sorunların üstesinden gelinmiştir. 19. yüzyılın sonundan 1980'lere kadar süren Endüstri 2.0 döneminde talebin iki boyutu vardı; hacim ve çeşitlilik. Ürün hacminin düşük maliyetle artırılması bu dönemin en önemli sorunlarından ve bu sorunun üstesinden seri üretim geldi. Amerikan otomobil pazarının %75'ine sahip olan Ford 1908'de T modelini 850 dolardan satışa sunarken 1924'te montaj hatlarını kullandığı seri üretim sayesinde 250 dolara düşürmeyi başaramıştır. Bu dönem endüstriyel ürünlerin hem hacimlerinin hem de çeşitliliğinin arttığı dönemdi. Elektrik, elektronik ve mekanik cihazlar, arabalar teknolojik yeniliğin görüldüğü başlıca alanlardı. 1980'lerden günümüze kadar süren Endüstri 3.0, analogdan dijitale geçişi sağlayan teknolojik yeniliklerle karakterizedir. Bu dönemde ürünlerin ortalama yaşam sürelerindeki kısalma ürünlere olan talebi üç boyuta çıkarmıştır; hacim, çeşitlilik ve teslimat süresi (Yin, Stecke ve Li, 2018).

Endüstri 4.0 ise son zamanlarda ortaya çıkan, nesnelerin interneti, kablosuz sensör ağları, büyük veri, bulut bilişim, gömülü sistemler, 3 boyutlu yazıcılar, sanal ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojiler ile karakterize edilmektedir. Teknolojideki bu gelişmelerin üretimde kullanılmasıyla elde edilecek yüksek katma değer nedeniyle "Industrie 4.0" adlı stratejik bir girişim önerilmiş ve Alman hükümetinin "Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020 Eylem Planı" kapsamında kabul edilmiştir. ABD'den "Endüstriyel İnternet" , Çin'den "Internet +" gibi isimlerle benzer stratejiler geliştirilmiştir. Bireyselleştirilmesinin artması ve aşırı bireysel ürünlerin elde edilmesi (Lasi, Fettke, Kemper ve Feld, 2014) Ar-Ge, üretim ve dağıtım süreleri ile parti büyüklüklerinin de küçülmesine neden olmuştur. Dolayısıyla gerek teknolojideki öngörülemeyen ilerlemeler gerekse aşırı bireyselleşme sonucu tedarik zincirindeki sıkışmalar sonucunda esnek ve çevik bir yapıya kavuşmak, işletmeler için hayati bir önem kazanmıştır. Tipik olarak, Endüstri 4.0 tartışmalarında işletmeler için iki vaat öne sürülmektedir. Birincisi; işletmelerin üretkenlik, esneklik ve verimlilik açısından önemli ölçüde gelişebilir olması (Acatech, 2013), ikincisi ise siber-fiziksel sistemler sayesinde birden çok yenilikçi uygulamanın ortaya çıkması ve aynı zamanda bir işletmenin iş modelinin yeniliğinin sağlanabilmesidir (Acatech, 2011; Reischauer ve Leitner, 2016). Siber-fiziksel sistemler, cihazlar, binalar, altyapılar ve üretim tesisleri gibi daha büyük sistemlere gömülü teknik sistemleri ifade etmektedir. Siber-fiziksel sistemler, çevreden gelen verileri yakalar, kaydeder, yorumlar ve çevredeki sinyallere tepki verir. Diğer teknolojilerin aksine, siber-fiziksel sistemler hem yerel hem de küresel düzeyde hem insan

aktörlerle hem de diğer cihazlarla iletişim kurabildikleri için kendilerini düzenlerler (Acatech, 2011). Siber-fiziksel sistemler, Endüstri 4.0'ın sıklıkla alıntılanan devrim niteliğindeki kapsamının temelini oluşturmaktadır.

2.1. Endüstri 1.0

Ekonomideki, enerji kaynaklarındaki, teknolojiye, malzemedeki, ulaşımdaki ilerlemeler tarihte bugüne kadar üç endüstri devrimi yaşanmasına neden olmuştur. On sekizinci yüzyılın ikinci yarısından sonra ortaya çıkan ilkinde (1760-1830); buhar makinesinin icadı anahtar güç kaynağı sağlayarak her türlü makinanın gelişimine çok büyük momentum vermiştir. Buhar devrimi, uzun yıllar içinde gerçekleşmiş ancak dünya tarihindeki en büyük ve en hızlı değişimin baş aktörü olmuştur (Morris, 2017:142). Ancak buhar gücünün keşfinden daha da önemlisi; bu gücün yüksek üretim miktarını karşılayabilmek için üretimin geliştirilmesinde ve genişletilmesinde kullanılabilmesiyle olmuştur. Bu sayede el aletlerinin yerini makineler almış üretimde beden gücünden makine gücüne geçilmiştir. Bu dönemin öncesinde ulaşım zayıf ve imalat işçiler tarafından kendi evlerinde yapıyorken 1763'de çok iğli iplik eğirme makinasının, 1771'de su ile çalışan eğirme makinasının ve diğer mekanik aygıtlarının icadı, fabrika sistemini doğurmuş ve mekanik güç ihtiyacını yaratmıştır (Durmuş, 2001). Genişleyen sanayi, kendisini yenileyecek teknolojiyi; kendisini teknolojik açıdan bir üst düzeyde yeniden üretecek hâle gelmiştir (Göker, A., 2001)

İngiltere'de başlayan bu süreç oradan Avrupa'ya ve Amerika'ya yayılmıştır. İngiliz devrimi tarihte ilkti ancak bu hızlı sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin sıfırdan yaşandığı söylenemezdi. Öncesinde de teknoloji ve sanayi konusunda gelişmeler yaşanmış ancak hiçbirisi sürekli teknolojik devrim ve toplumsal dönüşüm aracılığıyla kendini sürdürebilen iktisadi büyümeyi başlatamamıştır (Hobsbawm, 1969). Bu dönemde nüfus, üretim ve ticarete önemli bir artış yaşanmıştır. Üretimdeki köklü değişim hem ekonomik hem de toplumsal yapıyı önemli ölçüde değiştirmiştir. Endüstri 1.0; sosyal, ekonomik, siyasal ve kültürel unsurların yanı sıra mevcut endüstriyel ilişkiler dahil olmak üzere üretim-tüketim-bölüşüm süreçlerini daha önce görülmemiş şekilde değişime uğratmıştır (Görçün, Ö. F., 2016:5).

Birinci endüstri devrimi birçok önemli yönden, kendisinden sonraki diğer sanayi devrimlerinden farklıdır çünkü bu devrim kendinden önceki tekniklerin taklit edilmesi

veya geliştirilmesine, sermaye ithaline ya da sermayeleşmiş bir dünya ekonomisinin katkısına dayanmıyordu (Hobsbawm, 1969). Bu devrim sonraki devrimler gibi teknolojik ilerlemelerdeki baskıdan daha ziyade iktisadi bir dönüşüme ihtiyaç hissettiren sermaye birikiminden ve onun kar elde etme ve büyütme baskısından ortaya çıkmıştır. Sanayileşmenin doğuşuna neden olan 3 ana unsur; iç pazar, dış pazar ve devlet politikaları olmuştur. İç ve dış pazarın talebi içte karayollarını dışta deniz taşımacılığını geliştirerek ulaşımın da gelişmesini sağlamıştır. Bu dönem fabrikaların, ulaşımın ve tedariğin niteliklerine bakıldığında 1.0 düzeyinde temellerinin atıldığını söylemek mümkündür. Bu öğeler günümüze göre oldukça ilkel durumda olsa da dönemin şartlarına göre önemli unsurlar haline gelmiş ve daha sonraki devrimlerle birlikte bu alanlarda da ciddi gelişmeler yaşanmıştır.

2.2. Endüstri 2.0

On dokuzuncu yüzyılın sonlarında üretimde buhar gücünün yerini önce içten yanmalı motorların daha sonra da elektriğin almasıyla gerçekleşen ikinci endüstri devrimi döneminde; elektrik, elektrik ve iş bölümüne dayalı seri üretim, Taylorizm, Fordizm, içten yanmalı motor, bilimi temel alan kimyasalların gelişimi, verimli çelik döküm, telgrafın yayılması ve telefonun keşfedilmesiyle birlikte de iletişim teknolojilerinin yayılması etkili olmuştur. İkinci endüstri devrimini ilkinden ayıran en önemli özellik; 1850 sonrasında teknolojik gelişmenin yerleşmesinde ve yönlendirilmesinde bilimsel bilginin belirleyici bir rol oynamış olmasıdır (Castells, 2005). İkinci endüstri devrimi öncesi dönemde, teknik ve bilim, birbirinden ayrı yollarda seyrediyordu. Teknik bilime dayanmıyordu ve teknolojinin kaynağı ampirik bilgiydi. On sekizinci yüzyılın sonlarına kadar, teknik gelişmeler bilimsel gelişmelerin önünde gidiyordu. Zaten eski Yunanca’da “teknik” kelimesi sanat ve beceri anlamlarına gelirken “teknoloji” kelimesi bilimsel çalışmalarla birlikte giden teknik anlamında “teknik” ve “bilgi” kelimelerinin birleşmesinden oluşuyordu. Bilimsel bir buluşun teknolojik bir ürün olarak sonuçlanması da ilk defa elektrik motorunun imali ile gerçekleşmiştir (Basalla’dan alıntıl原因 Durmuş, G., 2001). Bu yüzden ikinci endüstri devrimi aynı zamanda “teknoloji devrimi” olarak da adlandırılmıştır.

Sanayi devriminin İngiltere’de ortaya çıkmasındaki önemli etken; teknolojik yeniliklerin, ulaşım ve benzeri ekonomik faaliyet alanlarına hızla yayılabilişiydi çünkü daha önce buluşların birçoğu ticari ve iktisadi olarak kullanılabilecek bir yeniliğe yol açmamıştır (Göker, 2015). Bilginin ve enformasyonun bilgi üretimine, bilgi işleme aygıtlarına

uygulanması, yenilik ile yeniliğin kullanımı arasındaki ilişkinin birbirini beslediği bir zincir oluşturması önemli olmuş ve teknik bir buluşun gerçekleşmesiyle uygulama alanına geçme süreleri de gittikçe kısalmıştır (Castells, 2005; Rostow, 2012).

Castells'e göre (2005) sanayi toplumlarının gerisindeki kilit unsur; enerjinin üretimi ve dağıtımı olmuştur. Birinci endüstri devriminde buhar makinelerini çalıştırmak için gerekli enerjinin sağlandığı kömür, hem çevreye yaydığı kirlilik hem de kömürden elde edilen verimin düşüklüğü nedeniyle işletme sahiplerini yeni enerji kaynakları arayışına itmiştir. Bilim adamlarının ve araştırmacıların yüksek verimle çalışacak bir motor üretmek amacıyla çıktıkları yolda Diesel'in içten yanmalı motoru sayesinde buhar makinesi dönemi kapanmıştır. İçten yanmalı motor teknolojisi sayesinde endüstri de yapısal bir değişim ve dönüşüm yaşamıştır. Özellikle ulaşımda kömürün yaşattığı dezavantajlara karşılık içten yanmalı motorlarda petrolün kullanılması ulaşım araçlarının hem gücünü artırmış hem de onları hızlandırmış dolayısıyla tedarik süreçlerinin hızı da artmıştır. Daha çok hammaddenin daha hızlı elde edilmesi de üretim faktörlerinin hızlandırılmasını zorunlu kılmıştır. Gerek karayolu gerekse denizyolu taşımacılığındaki hızın ve taşıma kapasitesinin artışı maliyetlerin azalmasına imkan sağlamıştır. Bu süreçte karayolu taşımacılığı demiryolu taşımacılığının yerini almış, karayollarının bütün dünyada gelişmesi sayesinde tedarik, envanter ve dağıtım süreçleri de büyük ölçüde gelişmiştir (Görçün, Ö. F., 2016).

İkinci endüstri devrimi sürecinde yaşanan 2. Dünya Savaşı sonrasında endüstriyi etkileyen en önemli gelişme enerji kaynağı olarak fosil yakıtların yerini elektriğin alması olmuştur. Bu dönem ulaşımın ilerlemesiyle hem lojistik ve tedarik hem de çok büyük boyutlardaki buhar makinelerinin yerini küçük elektrikli motorların almasıyla fabrika yapısı gelişmiştir. Enerjinin sağlandığı elektrikli motorların küçüklüğü sayesinde fabrika içinin etkinliği ve verimliliği artmış fabrika içinde boşalan yerlere yeni makineler konulabilmiş böylelikle üretim miktarı ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu dönem fabrika alanının artmasıyla birlikte, üretim akış süreçleri, fabrika iç tasarımı, üretim ergonomisi, fabrika yerleşim düzeni konularında çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. Bu kavramlar sayesinde ortaya çıkan etkinlik ve verimlilik artışı da üretim yönetiminde yeni yaklaşımların geliştirilmesine yol açmıştır (Görçün, Ö. F., 2016). Elektrik doğası gereği, üretim hatlarını sistematik ve kontrol edilebilir hale getirmiş ve üretim bantları yarı/tam otomatik bir özellik kazanmıştır. Şirketlerin “üret, depola, sat” mantığıyla hareket ettiği bu dönemde (Tseng ve Jiao, 2001) Ford'un ortaya koyduğu üretim bantları sayesinde kitlesel üretim ve kitlesel dağıtım

karşılanmıştır. Tek tip ürünün çok sayıda üretildiği kitlesel üretimde standartlaşma öne çıkmış, daha çok ürünün daha az maliyetle daha kısa zamanda üretilmesi için sürekli geliştirme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Üretim bantları sayesinde üretimde elde edilen esneklik ve kontrol üstünlüğü tedarik, taşıma, dağıtım, depolama ve lojistik faaliyetlerini daha da kontrol edilebilir hale getirmiştir. Tüm bu alanlarda yaşanan esneklik ve kontrol edilebilirlikle birlikte artık fabrikalar, lojistik, tedarik ve dağıtım süreçleri 2.0 düzeyine ulaşmıştır.

İkinci endüstri devriminin sonlarına doğru malzeme alanında yaşanan ve günümüze değin ulaşan diğer önemli bir gelişme ise, petrol ürünlerinin bir katalizör yardımıyla daha ucuz ve hafif olan çeşitli hammaddelere dönüştürülmesi olmuştur. Elde edilen hammaddeler giyimden, tarıma, gıdadan kişisel bakım ürünlerine kadar her alana girmeyi başarmış böylelikle petrokimya endüstrisi neredeyse tüm endüstrilerin bir bileşeni haline gelmiştir. Bir petrol türevidir plastik endüstrisinde gerçekleştirilen çalışmalar daha sonra yarı iletkenlerin bulunmasını, yarı iletkenler de kontrol edilebilir bir biçimde verinin bir yerden başka bir yere transfer edilebilmesini sağlamıştır. 1950 yılına gelindiğinde ise askeri gereksinimleri karşılamak üzere üretilen ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator) bilgisayarlar kullanılmaya başlanmıştır. ENIAC büyüklüğü ve tükettiği enerji miktarı nedeniyle endüstrilerde veya kişisel olarak kullanılamayacaktır ancak ENIAC'ın bu olumsuz özelliklerinin nedeni olan elektron tüpleri küçüldüğünde bu mümkün olabilecektir. Böylelikle yapılan çalışmalar sonucunda entegre devrelerin bulunuşu ve iletişim alanında yaşanan gelişmeler bir sonraki endüstri çağının habercisi olmuştur (Görçün, Ö. F., 2016).

2.3. Endüstri 3.0

Yirminci yüzyılın ikinci yarısından sonra gerek bilimsel ilerlemelerin sonucu devrim niteliğindeki transistörün icadı ile elektronik ve iletişim teknolojileri alanındaki gerekse ekonomik yapıdaki gelişmeler üçüncü endüstri devriminin gerçekleşmesini sağlamıştır (Schwab, 2017). Bu devrim ana bilgisayarların ardından kişisel bilgisayarların ve daha sonrasında da internetin katalizörlüğünde gerçekleştiği için “dijital devrim” olarak da adlandırılmıştır. Bu dönemde dijital gelişmeler hızla yayılmış ve üretimde artık bilgisayarlar ve iletişim teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır. Buhar gücüyle çalışan makineler ve onu model alan diğer yeniliklerin kas gücünün yerini aldığı gibi bu dönem içinde yaşanan ilerlemeler sayesinde bilgisayarlar ve diğer dijital yenilikler beyin

gücümüzün yani dünyayı anlama ve şekillendirme becerimizin yerini almaya başlamıştır (Brynolfsson ve McAfee, 2015).

İlk mekanik dört işlem hesaplayıcısının yapımı 1671 gibi çok eski tarihlere dayanmakla birlikte gerçek anlamda elektronik bilgisayarların çıkışı 20. yüzyılı bulmuştur. 1937'de programlanabilir bilgisayar yapımını takiben ilk elektronik bilgisayarın çıkışı; 1946 yılında Pensilvanya Üniversitesinde gerçekleştirilen ENIAC adlı ilk elektronik bilgisayardır (Dalgıç, 1982). 150 kwatt gücünde, 50 ton ağırlığında, 167 m² yer kaplayan ENIAC'ın yapımında 18,000 adet elektronik tüp kullanılmıştır. Bir odaya sığabilecek büyüklükte, çok büyük elektriksel güç tüketen ve bellek kapasitesi düşük olan bu ilk elektronik bilgisayar bu haliyle kişisel kullanımdan çok uzaktı. 1950'lerde transistörlerin ortaya çıkmasından sonra elektronik lambaların yerini transistörlerin almasıyla 1954 yılında TRADIC adlı bilgisayar Bell laboratuvarlarında üretilmiştir. Transistör kullanılarak yapılan bilgisayarlar önceki bilgisayarlara göre kapladığı alan, güç tüketimi ve maliyet açısından çok daha avantajlı bilgisayarlardır. 1960'larda tümleşik devrelerin ilk defa ortaya çıkmasından sonra, katı hal ve yarı iletkenler teknolojisinin gelişimiyle, tek bir tümleşik devrenin içine sığdırılabilecek eleman sayısında sürekli ve çok hızlı bir artış görülmüştür. Özellikle son derece pahalı ve elde edilmesi zor olan germanyum yerine transistörlerin maliyetini önemli ölçüde azaltan silikon transistörlerin kullanılabilmesiyle devrim yaşanmıştır. Buna örnek olarak, tek bir çip kapasitesinin ilk çıktığı 10 yıl içindeki artışı gösterilebilir. Bit/çip oranı 1976'da 1966'dakinin 64 katı olmuş ve bu süre içinde bit başına düşen maliyet 100 kat azalmıştır. 1965'lerden itibaren tümleşik devre kullanılarak bilgisayarlar gerçekleştirilmeye başlanmış, 1971'lerden itibaren çok büyük çaplı tümleşik devre kullanan bilgisayarlar gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Dalgıç, 1982). Böylelikle merkezi işlemcinin (CPU) tek bir tümleşik devrenin içine yerleştirme olanağı doğmuş ve yeni bir çağın başlangıcı olmuştur.

Bu dönemde çiplerin gücünün giderek artması, mikro bilgisayarların gücünün de ciddi biçimde artmasına yol açmıştır. Mikrobilgisayarlardaki gelişmelere paralel olarak internetin ortaya çıkışı, bilgisayarların bir ağa dahil olup bilgi işlem gücünü paylaşmasıyla birlikte, hafızayı ve işlem kapasitesini artırma becerisi 1990'larda bilgisayar çağının yönünü merkezi veri depolama ve işlemekten, ağlar oluşturmuş interaktif bilgisayar paylaşımına kaydırmıştır. Yalnızca bütün bir teknolojik sistem değil, toplumsal, örgütsel iletişim de değişmiştir. (Castells, 2005:48).

Bilgisayarların birbiriyle iletişim kurması sayesinde kurulacak ağlarla toplumsal etkileşimin sağlanması üzerine ilk tanımlamalar, J.C.R. Licklider'in 1962'de MIT (Massachusetts Institute of Technology)'de "Galaktik Ağlar" kavramıyla yayınlanan makalelerinde bulunmaktadır (Licklider ve Clark, 1962). İnternet terimi ise ilk kez 1977 yılında Vint Cerf'ün de içinde yer aldığı ağ çalışma grubu tarafından hazırlanan, "İnternet İletim Kontrolü Programı Tarifnamesi" içerisinde ortaya atılmıştır (Haksever, 2018). Sovyetler'in uzaya gönderilen ilk uydu olan Sputnik'i fırlatılışına karşılık ABD'nin teknolojik üstünlük arayışı sonucu ortaya çıkan Araştırma Projeleri Kurumu (Advanced Research Projects Agency-ARPA) ARPA'nın (daha sonra başına "Defense" kelimesinin eklenmesiyle DARPA adını alacaktır), nükleer saldırıdan etkilenmeyecek bir iletişim sistemi tasarlamak amacıyla çıktığı yolda internetin ilk adımları atılmıştır (Abbate, 1999). ARPANET adı verilen ilk internet ağı 1969 yılında California Üniversitesi (Los Angeles ve Santa Barbara), Stanford Araştırma Enstitüsü ve Utah Üniversitesi olmak üzere 4 düğümde bulunan araştırmacıların bilgisayarları arasında kurulmasıyla elde edilmiştir (Castells, 2005). Bu dört düğüm, 5 yıl içinde yüzü bulmuş (Leiner vd., 1997), bugün ise 20 milyarı (Columbus, 2016) geçmiştir. 1972 yılında DARPA bünyesindeki bir araştırma nedeniyle ARPANET ilk defa ABD sınırları dışından da veri almaya başlamış ve Avrupa'nın ARPANET'e bağlanması mümkün kılınmıştır. Ancak internetin kullanıcılar arasında asıl yaygınlaşmasını sağlayan, 1972'de Ray Tomlinson'ın ağdaki kullanıcıların daha kolay iletişim kurmaları amacıyla yazdığı e-posta programı yazması sayesinde olmuştur. E-posta dahil olmak üzere interneti geliştiren bir çok teknik daha önce planlanan teknolojik ve politik bir stratejiden ziyade süreç içinde ortaya çıkan problemleri ve kısıtları aşmak üzere ortaya çıkmıştır (Haksever, 2018). İnternetin sivilleşmesi ise, ARPANET'in artan kullanıcı sayısının askeri projelere kötü amaçlı erişim imkanı doğurabileceği endişesiyle önce ikiye bölünmesiyle ardından da TCP/IP protokolünün yerel ve UNIX ağlarının internete bağlanmaya başlanmasıyla mümkün olmuştur. Ayrıca internetin yaygınlaşmasında ABD Savunma Bilgi Sistemleri 20 milyon dolarlık bir fonun etkisi de büyüktür. Bu fondan yararlanmak isteyen büyük bilgisayar şirketleri, TCP/IP uyumlu bilgisayarları piyasaya sürmesiyle, internet protokolleri gittikçe yaygınlaşan ağ uygulamaları açısından fiili standart haline gelmiştir (Abbate, 1999). 1990 yılına gelindiğinde ise ARPANET resmi olarak sona ermiş ve internet artık tamamen sivilleşmiştir.

İnternetin sivilleşmesinin ardından hızla yaygınlaşmasıyla pazarda yaşanan büyük değişim, mevcut rekabet araçlarını geri döndürülemez şekilde geçmişte bırakmıştır. Tüm bu gelişmelerle birlikte şirketler daha kolay iletişim, daha hızlı ulaşım ve daha geniş müşteri kitlesiyle birlikte daha karmaşık ve kontrol edilmesi zor bir yapıya da kavuşmuşlardır. Değişim sadece üretimde değil toplumsal yapıda da yaşanmıştır. Birinci ve ikinci endüstri devrimlerinde “Sanayi Toplumu” özelliğini taşıyan toplumsal yapı bilişim teknolojilerindeki gelişimle birlikte bu dönem “Bilgi/Enformasyon Toplumu” olarak adlandırılan bir yapıya dönüşmüştür. Sanayi toplumu, standart mal ve hizmetlerin kitlesel olarak üretilip dağıtılmasına dayanırken bilgi toplumunda müşteri artık kişiselleştirilmiş malı ya da hizmeti, istediği fiyata dünyanın neresinden olursa olsun sağlayabilme özelliği kazanmıştır (Tonta ve Küçük, 2005).

Şirketler bu dönem, bilgi iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler sayesinde devasa boyutlara ve küresel ölçeğe ulaşan talebi karşılayacak lojistik, tedarik ve müşteri isteklerinde çok daha hızlı erişim, iletişim ve yanıt verebilme kabiliyetiyle daha önce hiç olmadığı kadar esnek hale gelmişlerdir. Tasarım, üretim ve pazarlama faaliyetlerini çok daha etkin bir biçimde denetleyip yönlendirebilir ve işletme içindeki tüm faaliyetleri bütün olarak yönetebilir özelliğe kavuşmuştur. Bilgisayar destekli imalat sistemleri ve ağ teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, istenilen ürünler istenilen yer ve zamanda, istenilen fiyat ve kalitede üretilebilir hale gelmiştir. İnternetle birlikte dünyanın farklı coğrafyalarındaki çok farklı özelliklerde ve çok daha fazla sayıdaki müşterileri özellikleri nedeniyle şirketler tek tip üretimden vazgeçip daha çok müşteri elde etmek ve ellerinde tutmak için müşteri odaklı kişiselleştirilmiş üretime geçmek zorunda kalmıştır.

Bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmeler pazar yapısını değiştirirken bu koşullara ayak uydurabilecek üretim teknolojilerinin ortaya çıkmasını da sağlamıştır. Bilgisayarla Bütünleşik İmalat teknolojileri ile ürünün tasarımdan müşteriye ulaşana kadar bir bütün olarak yönetilebilmesine imkan tanıyan esneklikler sağlanabilir olmuştur. İletişim araçlarındaki hız talebe ait herhangi bir değişikliğin anında üretim bantlarına aktarılabilmesini sağlarken, tasarım programları üretilen nesnelerin özelliklerinde sık aralıklarla değişiklik yapılabilmesini mümkün kılmıştır. Üretilen ürünün model ve üretim miktarlarının müşteri isteklerine göre ayarlanabilme esnekliğiyle, bir önceki devrimin sembollerinden olan “Fordist Üretim” biçiminin karakteristik özelliği olan tek tip üretimden köklü bir kopuş gerçekleşmiştir (Göker, 2001). Benzer şekilde hızlı iletişim,

daha ucuz ama dayanıklılığı azalan malzemeler nedeniyle ürün yaşam döngüsündeki sürenin kısalması ve e-ticaret platformları tedarik sistemini baskılayarak daha esnek hale getirmiştir. Bu dönem yaşanan gelişmelerin temelini enformasyon teknolojisine dayalı olarak geliştirilen sistemler kadar, sensör ve robotik teknolojilerindeki gelişmeler de etkilemiştir (Göker, 2001).

Şirketler bu dönem hem müşteri ağlarının genişlemesi, hem de işçilik, lojistik ve hammadde maliyetlerini düşürmek için üretimlerini farklı coğrafyalara kaydırmışlardır. “Bilgisayarla Bütünleşik İmalat” teknolojisi ile şirketler üretimin farklı coğrafyalarda yer alan farklı aşamalarını gerçek zamanlı olarak yönetebilme imkanına kavuşmuştur. Üretimden para transferine eş zamanlı iletişim kurabilen sistemler arasındaki mesafeler giderek artmış ve dünyanın her yerinde yaygınlaşmıştır. Tüm bu gelişmelerin sonucunda “telekomünikasyon teknolojisi” de başlı başına bir önem kazanmış ve enformasyon teknolojisiyle birlikte anılarak “IT (Information Telecommunication) Teknolojileri” terimi ortaya çıkmıştır (Göker, 2001).

2.4. Endüstri 4.0

Dördüncü sanayi devrimi anlamına gelen Endüstri 4.0, küresel zorluklarla başa çıkabilmek ve üretimi geliştirebilmek için teknolojiye yaşanan gelişmeleri bir araya getirmeyi hedeflemektedir. Bu bölümde Endüstri 4.0’ın; terim anlamı, ortaya çıkışı, amaçları, ortaya çıkmasına yol açan teknolojiler, ülkelerin Endüstri 4.0’a yönelik strateji ve politikaları, ülkelerin ve şirketlerin Endüstri 4.0 dönüşümünde yaşayacağı zorluklar anlatılmıştır.

2.4.1. Kavramsal yaklaşım

Kagermann, Wahlster ve Helbig (2013), Endüstri 4.0’ı; akıllı fabrikalar, siber-fiziksel sistemler, kendi kendine organizasyon, dağıtım ve tedarikte yeni sistemler, ürün ve hizmetlerin geliştirilmesinde yeni sistemler, insan ihtiyaçlarına ve şirkete uyum, sosyal sorumluluk kavramlarının bir araya gelmesi olarak tanımlamaktadır. İnternet ve destekleyici teknolojiler, akıllı, ağa bağlı ve çevik bir değer zinciri oluşturmak için organizasyon sınırları boyunca fiziksel nesneleri, insan aktörlerini, akıllı makineleri, üretim hatlarını ve süreçleri entegre etmek için bir omurga görevi görmektedir (Ganzarain ve Errasti, 2016). Endüstri 4.0; siber-fiziksel sistemlerin, nesnelerin ve hizmetlerin internetinin ve akıllı fabrikaların bütünleşerek ürünlerin, iş ortaklarının ve işletme çevresinin bütünsel bir çerçevede iletişimini sağlayan dijital bir değer zincirinin

oluşturulmasıyla imalatın otomasyona dayalı olarak dijitalleşmesi şeklinde tanımlanabilir (Kagermann, Wahlster ve Helbig, 2013). Dijitalleşme, entegre olmayan bir teknoloji altyapısına sahip olmaktan ziyade dijitalleşmiş kaynakları, yeni gelir elde etme, büyüme ve şirkete katma değer sağlayacak operasyonel verimliliğe dönüştürme sürecidir. Başka bir ifadeyle dijitalleşme, yeni iş modelleri geliştirmek, bilgiyi, şirket kaynaklarını ve dijital teknolojileri yeni kombinasyonlarla entegre ederek kişiselleştirilmiş müşteri deneyimleri oluşturmak, yeni ürün ve hizmetler geliştirme ve şirket kaynaklarını daha etkin kullanmak için teknolojik inovasyonu bu kaynaklara uygulamak anlamına gelir (Accenture, 2016).

Endüstri 4.0 platformu Endüstri 4.0 terimini; “Dördüncü endüstri devrimi çerçevesinde, ürün yaşam döngüsü boyunca bütün değer zinciri içerisinde yer alan tüm aşamaların, işlemlerin, süreçlerin, nesnelerin optimum değerde ve değer zincirinin tamamında gerçek zamanlı takip edilebildiği bir bilgi paylaşım altyapısı temeline dayanmaktadır. İnsanlar, nesneler ve sistemler arasındaki bu bağlantı; dinamik, gerçek zamanlı optimize edilmiş, kendi kendine organize olmuş, çapraz-kurumsal katma değerli ağ üzerinde çalışabilen ve maliyet, kaynak kısıtı ve erişilebilirlik gibi kriterler bağlamında optimize edilmiş bir temel inşa etmelidir” olarak tanımlamıştır (Plattform Industrie 4.0, 2015). Alman Makine Mühendisleri Derneği VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) tarafından yayınlanan raporda da (Lichtblau vd., 2015) bu tanım kullanılmıştır.

Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) Acatech’in (2017) yayınladığı rapora göre ise Endüstri 4.0; "siber-fiziksel sistemler ve insanlar arasındaki gerçek zamanlı, yüksek veri hacimli, çok taraflı iletişim ve birbirine bağlantılılık" olarak tanımlanmaktadır.

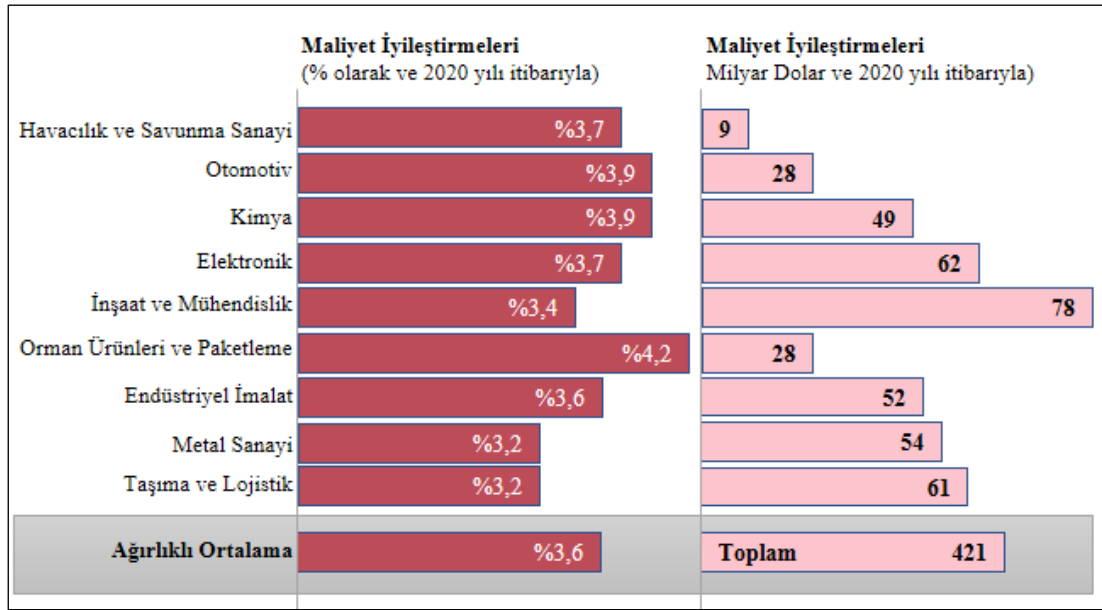
PricewaterhouseCoopers (2016) tarafından yayınlanan raporda "Endüstri 4.0" teriminin, dördüncü sanayi devrimi anlamına geldiği ifade edilmiştir. "endüstriyel internet" veya "dijital fabrika" terimleri benzer anlamlar içerse de ikisinin de tam bir bakış açısı sağlamadığı belirtilmiştir. Endüstri 3.0, tek makinelerin ve süreçlerin otomasyonuna odaklanırken, Endüstri 4.0’ın tüm fiziksel varlıkların uçtan uca dijitalleştirilmesine ve değer zinciri ortaklarıyla dijital ekosistemlere entegrasyonuna odaklandığı belirtilmiştir. Sorunsuz bir şekilde veri oluşturmak, analiz etmek ve iletmek ve veriden değer yaratmak için çok çeşitli yeni teknolojilerin bir araya getirilmesi Endüstri 4.0’ın en önemli kazanımı olarak görülmüştür.

Endüstri 4.0, endüstriyel üretimdeki yeni fenomeni tanımlayan tek terim değildir. Mevcut durumda Endüstri 4.0 ile ilgili çok fazla kavram ve teknoloji bulunmaktadır. Bu kavramlardan bazıları Endüstri 4.0 ismiyle eş anlamlı olarak kullanılırken bazıları da siber-fiziksel sistemler, akıllı fabrika veya nesnelerin interneti olarak kullanılmaktadır.

Endüstri 4.0; şu anda bir gerçeklikten çok endüstrinin geleceğini tanımlayan bir vizyondur. Spesifik potansiyeli; yukarıda bahsi geçen yüksek esneklik, yüksek verimlilik, kaynak etkin üretim sağlayabilen ve üretimi hayli ekonomik ve kişiselleştirmeye müsait hale getiren bir yaklaşımdır. Mühendislik, üretim, lojistik, hizmet ve pazarlama aktivitelerinin tamamı birbirleriyle bir ağ üzerinde haberleşebilen, dinamik, gerçek zamanlı ve optimize edilmiş, katma değerli çapraz kurumsal ağ üzerinde çalışabilmeyi hedeflemektedir. Endüstri 4.0'ı gerçeğe dönüştürme, dinamik dijital ekosistemler oluşturma ve gerekli anahtar teknolojilerden yararlanma sürecinde, oluşturulan sadece mevcut üretim yöntemlerini ve süreçlerini optimize etme potansiyeli değildir. Bununla birlikte, yeni değer teklifi biçimleri, gelir veya ciro oluşturma ve değer yaratma mimarisi ile karakterize edilen yenilikçi, veriye dayalı ve platform tabanlı iş modellerinin tasarımı ve uygulanması için fırsatlar açılacaktır (Buhr, 2015). Yeni dijital teknolojilerin potansiyel ekonomik faydaları büyüktür. Mevcut tahminler, IoT'nin önümüzdeki 20 yıl içinde küresel gayri safi yurtiçi hasılaya (GSYİH) 10 ile 15 trilyon ABD doları arasında katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Evans ve Annunziata, 2012).

Dijitalleşme, üretim üzerinde daha fazla kontrol, üretim ölçeği ve kapsamında daha fazla esneklik ve azaltılmış işletme maliyetleri vaat etmektedir. Veri aynı zamanda ürünlerin verimliliğini izlemek ve analiz etmek için de kullanılmakta, mevcut ve potansiyel tedarikçiler ve müşteriler için yeni hizmetlerin bir parçası olarak giderek daha fazla ticarileşmektedir. Bunlarla birlikte sanayinin dijital dönüşümünün ekonomik etkisine ilişkin nicel veriler sınırlıdır. PricewaterhouseCoopers (2015) tarafından 9 sektör, 26 ülke ve 2000 kişinin katılımıyla gerçekleştirilen “Küresel Endüstri 4.0” raporuna göre; dijital dönüşüm sonucunda her yıl %2,9 gelir artışı ve bununla birlikte maliyetlerde %3,6 azalmanın gerçekleşmesi beklenmektedir. Şekil 2.1’de raporda incelenen 9 sektörün herbiri için öngörülen maliyet iyileştirmeleri görülmektedir. Japonya'dan gelen tahminler ise Japon üreticilerin bazı bölümlerinde büyük veri ve analitik kullanımının bakım maliyetlerini neredeyse 5 trilyon JPY kadar düşürebileceğini (2010'daki satışların %15'inden fazlasına karşılık gelmektedir), elektrik tasarrufunda da 50 milyar JPY'den fazla kazanılabileceğini göstermektedir. Almanya için de endüstride gelişmiş BİT kullanımının

üretkenliği %5 ile %8 artırabileceği tahmin edilmekte ve otomotiv şirketlerinin en büyük verimlilik iyileştirmelerini elde etmeleri beklenmektedir (Rüßmann vd., 2015). "Endüstri 4.0" ın Almanya'nın mekanik, elektrik, otomotiv, kimya, tarım ve BİT sektörlerinde katma değeri 2025 yılına kadar 78 milyar Euro (veya %15) artırabileceği öngörülmektedir (Bauer, Schlund, Marrenbach ve Ganschar, 2014). Bir başka çalışmada ise Endüstri 4.0 teknolojilerinin Alman imalat sektörüne 23 milyar Euro ek potansiyel katma değer getireceğini ve 2025'e kadar yıllık %2,1'lik büyümeye yaratacağı öngörülmektedir (Bitkom / Fraunhofer IAO, 2014).



Şekil 2.1. Sektörlere göre endüstri 4.0'dan beklenen maliyet iyileştirmeleri

2.4.2. Ortaya çıkış

İmalat endüstrisi, doğal kaynakların azalması, artan enerji fiyatları, işgücü yaş ortalamasındaki artış ve piyasaların küreselleşmesi gibi artan toplumsal ve teknolojik gelişme hızından dolayı ekonomik zorluklarla karşı karşıyadır. Diğer yandan müşteriler her geçen gün daha bireyselleştirilmiş ürün, daha çok iyileştirilmiş ürün-hizmet yeniliği, daha çok ürün çeşitliliği, daha iyi kalite standartları, daha iyi destek hizmetleri ve memnuniyeti talebinde bulunmaktadır. Bu zorluklar, tüm değer zincirlerini hızlı ve çevik bir şekilde yönetebilen endüstriyel şirketlere, şirketler de inovasyondan üretime ve dağıtıma kadar tüm yaşam döngüsü boyunca yakın iş birliğine ve hızlı adaptasyona izin veren sanal ve fiziksel yapılara ihtiyaç duymaktadır (Walters ve Rainbird, 2007). Endüstri 4.0 Alman hükümetinin 2006 yılında başlattığı Yüksek Teknoloji Stratejisine kadar dayanmaktadır (Bledowski, 2015). Endüstri 4.0'ın bazı özellikleri, 2010'da Almanya'nın sanayi politikasında

belirlenmiş ve 2012'de hükümet Endüstri 4.0'ı “Yüksek Teknoloji Stratejisi”nin bir parçası olarak gelecekteki 10 projeden biri olarak duyurmuştur (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2010). Alman Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından endüstri, akademisyenler ve bilim temsilcilerinden oluşan bir çalışma grubu kurularak 2013 yılında Endüstri 4.0 stratejisinin standardizasyon ve referans mimari, karmaşık sistemlerin yönetimi, geniş bant altyapısı, güvenlik, iş organizasyonu, sürekli öğrenme, düzenlemeler ve kaynak verimliliğinden oluşan 8 önceliğini özetleyen bir nihai rapor yayınlamıştır. Ekonomi Bakanlığı, “rekabet öncesi aşamada” araştırma ve yeniliği teşvik etme, bilimsel bulguların pazarlanabilir teknolojilerin gelişimine aktarılması sürecini hızlandırma hedefini açıklamış ve Endüstri 4.0 için yetkinlik merkezleri oluşturarak girişimcilerin ve KOBİ'lerin inovasyon gücünü artırmaya yönelik hedefleriyle bunun sadece büyük şirketleri ilgilendirmedeğini göstermiştir. Alman hükümeti ardından Ekonomi ve Araştırma Bakanlıklarının liderliğinde iş, bilim ve sendikaların temsilcilerini bir araya getiren bir platform oluşturarak Endüstri 4.0 stratejisini kurumsallaştırarak platformun ana odak alanlarını beş farklı çalışma grubuna ayırmıştır; referans mimari, standardizasyon, araştırma ve yenilik, ağı bağlı sistem güvenliği, yasal ortam ve eğitim (European Parliament's Committee on Industry, Research and Energy, 2016).

Endüstri 4.0 kavramını geliştiren çalışma grubu, onu üretimde ve endüstriyel süreçlerde sıçramalara yol açacak ve verimliliği önemli ölçüde artıracak bir dizi yıkıcı yenilik olarak görmektedir (Acatech, 2013). Yenilik teorisini ortaya koyan Schumpeter'a göre; sürekli yeniliklerin ortaya çıkması kapitalist sürecin karşılaşacağı bunalımların aşılmasını ve toplumsal evrimin kesintiye uğramadan sürmesini mümkün kılmaktadır. Buna göre üretimde kullanılan faktör miktarının yerine sadece üretim biçiminin değiştirilmesiyle maliyette elde edilen düşüş bir yeniliktir (Acar ve Demir, 2005:432). Bu yeniliğin, yeni firmaların eski firmaları, yeni ürünlerin eski ürünleri, yeni teknolojilerin eski teknolojileri piyasadan kovmasıyla da yaratıcı yıkım gerçekleşmiş olur (Acar ve Demir, 2005, s. 439). Daha önce sanayi devrimiyle sonuçlanan yıkımların ardından tekrar böyle bir yıkımın yaşandığı düşünülmektedir;

1. 1700'lerin sonlarında buhar gücünün mekanik üretimle birleşerek üretimin sanayileşmesine yol açtığı ilk sanayi devrimi,
2. 1800'lerin ortalarından itibaren elektrik ve montaj hatlarının seri üretime yol açtığı ikinci sanayi devrimi,

3. Elektronik ve BİT'nin küreselleşme ile birleşerek sanayiye büyük ölçüde hızlandıran üçüncü sanayi devrimi.

Dördüncü sanayi devrimi ise nesnelerin interneti ile üretimin her aşamasının gerçek zamanlı takip edilmesi ve üretimde tam otomasyonun sağlanmasıyla akıllı fabrikaların elde edilmesidir. Nesnelerin ve hizmetlerin internetinin üretim ortamına girişi ile gelecekte işletmelerin, siber-fiziksel sistemler (CPS) aracılığıyla makine, depolama sistemleri ve üretim tesislerini birleştiren küresel ağlar kurması beklenmektedir. Siber-fiziksel sistemler üretim ortamında bilgileri otonom olarak değiştirebilen, eylemleri tetikleyebilen ve birbirini bağımsız olarak kontrol edebilen akıllı makineler, depolama sistemleri ve üretim tesislerinden oluşmaktadır. Bu, üretim, mühendislik, malzeme kullanımı ve tedarik zinciri ve yaşam döngüsü yönetimi ile ilgili endüstriyel süreçlerde temel iyileştirmeleri kolaylaştırır. Zaten ortaya çıkmaya başlayan akıllı fabrikalar, üretime tamamen yeni bir yaklaşım getirmekte, üretilecek akıllı ürünler benzersiz şekilde tanımlanabilmekte, her zaman konumlandırılabilen ve kendi geçmişlerini, mevcut durumlarını ve hedef durumlarına ulaşmak için alternatif yolları bilmektedir (Acatech, 2013). Schwab'a göre artan bant genişliği, bulut hizmetlerinin yaygınlaşması, grafik işleme tekniklerinin artan hız ve gücü, teknolojilere ekran ötesine geçip endüstriyel üretime, ulaşım altyapısına ve interaktif aygıtlara girme imkanı sağlamıştır. Schwab, ikinci sanayi devriminde elektriğin dijital teknolojilerin gelişimine temel sağladığı gibi elde edilen bu dijital altyapının, hem yaşadığımız çevredeki malzemeleri hem de endüstriyel ve sosyal alanlarda etkileşime gireceğimiz malzemeleri sağlayan teknolojiler için temel sağlayacağı görüşündedir (Schwab, 2017).

Ancak yanıtlanması gereken iki kilit soru; bunun artırımsal bir yenilikten ziyade Schumpeter'in bahsettiği gibi oyunun kurallarını değiştiren ve üretkenlikte bir sıçramaya yol açan "yıkıcı" bir teknoloji kapsamında olup olmadığı ve eğer öyleyse, bu tür bir değişikliğin devletlerin ekonomilerini ve hangi sektörleri nasıl ve ne ölçüde etkileyeceğidir (European Parliament's Committee on Industry, Research and Energy, 2016).

2.4.3. Amaç

Endüstri 4.0'ın ana fikri başta IoT olmak üzere yeni teknolojileri kullanarak iş ve mühendislik süreçlerinin derinlemesine entegre olduğu, üretimin yüksek kalite ve düşük maliyetle esnek, verimli ve ekolojik bir şekilde çalışmasını sağlamaktır.

Endüstri 4.0'ın temel özellikleri şunlardır:

Birlikte çalışabilirlik: Siber-fiziksel sistemler sayesinde insanların ve akıllı fabrikaların birbirine bağlanması ve birbiriyle iletişim kurması,

Sanallaştırma: Sensör verilerinin sanal tesis modelleri ve simülasyon modelleriyle ilişkilendirilmesiyle akıllı fabrikanın sanal bir kopyasının elde edilebilmesi,

Desantralizasyon: Siber-fiziksel sistemler ile makinelerin kendi kararlarını verebilmesi ve gerektiğinde 3D baskı gibi teknolojiler sayesinde yerel olarak üretebilme yeteneği,

Gerçek Zamanlı Yetenek: Verilerin gerçek zamanlı toplanması ve analizi ile içgörülerini anında sağlama yeteneği,

Modülerlik: Bireysel modülleri değiştirerek veya genişleterek akıllı fabrikaların değişen gereksinimlere esnek şekilde uyarlanması.

Endüstri 4.0 vizyonu üretimde bu dönüşümü sağlamak için aşağıdaki 3 temel amaca ulaşmayı hedeflemektedir;

- Ağlar aracılığıyla yatay entegrasyon; ağlar siparişin verildiği andan giden lojistiğe kadar gerçek zamanlı olarak yönetilebilmeli. İnsan, makine ve kaynaklar dijital olarak akıllı fabrikalarda modellenilebilmeli ve birbirleri arasında siber-fiziksel sistemler aracılığıyla gerçek zamanlı iletişim kurabilmelidir,
- Dikey entegrasyon; akıllı fabrikalar yeni durumlara (sipariş hacmi veya malzeme erişilebilirliği) tamamıyla adapte ve üretim süreçlerini otomatik olarak optimize edebilmeyi becerebilen bir altyapıda olmalı ve bu adaptasyonu tedarikçiden müşteriye kadar olan değer zincirinin tamamında yapabilmelidir.
- Uçtan uca mühendislik; gelen lojistikten üretime, pazarlamaya, giden lojistiğe ve hizmetten satış sonrası hizmete kadar değer zincirinin tamamında sensör, kontrol, üretim, imalat, yürütme ve kurumsal planlama seviyelerindeki BİT sistemlerinin birlikte çalıştığı, üretim, üretim süreçleri ve otomasyonun sanal olarak tek bir entegre süreçte ve işbirliği ile tasarlanıp devreye alınacağı mühendisliğin uçtan uca dijital entegrasyonu ile kendilerinin üretim süreçlerinden ve son ürün haline gelene kadar ki tüm aktivitelerine dair bilgi sahibi olunabilecek akıllı ürünler elde edilebilecektir. Böylelikle; akıllı fabrikalar veriye dayalı hizmetleri müşterilerine sunabilecek ve kullanım sürecine kadar dijital modellerle desteklenebilecektir.

Yatay ve dikey entegrasyon sayesinde Endüstri 4.0'ın en önemli ekonomik potansiyeli şirketlerin karar verme ve adaptasyon süreçlerini hızlandırma yeteneğidir (Acatech, 2017). Bahsi geçen bu potansiyel katma değere; optimize edilmiş ağ teknolojisi, iş süreçlerindeki verimlilik artışı, inovatif ürünler, yeni hizmet ve iş modelleriyle ulaşabilmek mümkündür. Ancak şirketlerin bu katma değere rağmen Endüstri 4.0'a geçişle ilgili yaşadığı bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu zorlukların başında Endüstri 4.0 dönüşümünü hayata geçirmek amacıyla açık ve aşamalı bir geçiş planı oluşturmak için, şirketlerin stratejik yönetim beceri ve kapasitelerinin olmaması, aynı zamanda konu ile ilgili uygulama yöntemi eksikliği gelmektedir (Acatech, 2013).

Üretimde artan dijitalleşme, geleneksel iş modelleri üzerinde baskı oluşturacak ve yeni modellerin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Deloitte (2014), siber-fiziksel sistemleri sosyal ağlara benzer şekilde organize edilmiş çevrimiçi sosyal makine ağları olarak tanımlamaktadır. BİT'ni birbirleriyle iletişim kuran mekanik ve elektronik bileşenlere bağlarlar. Siber-fiziksel sistemin erken bir yeniliği ve örneği, 1999'dan beri kullanılmakta olan radyo frekansı tanımlama (RFID) teknolojisidir. İnternet protokolü IPv6'nın geliştirilmesi sayesinde makineler (henüz elektronik bileşenlerle donatılmamış olanlar bile); stok seviyeleri, problemler, hatalar ve siparişler veya talep seviyelerindeki değişiklikler hakkında bilgi alışverişinde bulunabilir. Süreçleri ve son teslim tarihlerini koordine ederek verimliliği artırmada önemli bir rol oynayabilirler. Bu tür akıllı ağlar, kendi içinde Endüstri 4.0'ın temel ilkelerinden biri olan akıllı fabrika fikrinin merkezi bir konseptidir. Verilerin giderek daha çok ve daha yaygın hale gelmesiyle birlikte büyük güvenlik ve etik sorunların oluşması beklenmektedir. Bu sınırsız veriye kim erişebilir ve onu kullanabilirse, her şeyden önce esneklik ve verimlilikten büyük ölçüde faydalanacaktır. Bununla birlikte Endüstri 4.0 gelişmelerinden fayda görmesi muhtemel ilk sektörlerin başında BİT gelecektir. Büyük veri analizi, ağ oluşturma ve dijitalleştirme için kullanılabilen yazılım geliştiricileri ve sağlayıcıları için de genişleme fırsatlarının olacağı açıktır. Buhr'un analizine göre ayrıca makine ve tesis mühendisliği, elektrikli ekipman üreticileri, kimya endüstrisi, otomotiv üreticileri ve tedarikçileri, lojistik endüstrisi ve tarım gibi birçok başka endüstri de çok yakında Endüstri 4.0 gelişmelerinden etkilenecektir. Bununla birlikte, bazı sektörlerdeki büyüme, diğerlerinde düşüş anlamına gelebilir. Aynı zamanda ortaya çıkacak "yaratıcı yeniliğin" beraberinde "yıkıcı" etkilere de sahip olmasıyla eski endüstriyel liderlerin, geleneksel iş modelleriyle rekabet edebilecek

durumda kalamazlarsa, tedarikçilerin rolüne düşme riski taşımaları söz konusu olabilecektir (OECD, 2017).

2.4.4. Teknolojiler

İnsan aklı üretim sürecinin hep belirleyici bir unsuru olmuş ancak şimdiye kadar doğrudan bir üretim gücü olmamıştır. Sadece fiziksel ürünler değil hizmetler, sağlık-eğitim gibi alanlarda ortaya çıkan entelektüel ürünler de sayısallaştırılmıştır. Zihinler ile makineler arasında giderek artan kaynaşma; doğma, yaşama, öğrenme, çalışma, üretme, tüketme, hayal etme, kavga etme ya da ölme biçimlerimizi hızla değiştirmektedir (Castells, 2005:41).

Ekonomik ve sosyal faaliyetler uzun zamandır verilerden yararlanırken, verilerin ekonomik olarak kullanılmasını sağlayan bilgi ve iletişim teknolojilerinin ölçeği ve etkisi olağanüstü bir hızla artmaktadır. Veri değer zinciri boyunca azalan maliyetler, artan veri üretimi ve kullanımının yanı sıra, e-hizmetlerin giderek daha katılımcı bir şekilde yaygın olarak benimsenmesi de sosyoekonomik faaliyetlerin internete hızlı geçişinin önemli bir itici gücü olmuştur (OECD, 2013a). Bu noktada paradigma değişmiş; ucuz enerji girdilerini temel alan bir teknolojiye mikro elektronik ve telekomünikasyon teknolojisindeki gelişmeler sayesinde ucuz enformasyon girdilerini temel alan bir teknolojiye geçiş yaşanmıştır (C. Freeman'den alıntılan Castells, 2005:89). Castells'e (2005) göre bu yeni paradigmanın hammaddesi enformasyondur ve yeni teknolojilerin yayılımı bireysel ve kolektif bütün etkinliklerimizi teknolojik araçlarla şekillendirmiştir. Ayrıca bu yeni enformasyon teknolojilerini kullanan sistemler ağ kurma mantığıyla hareket etmektedir ki bu ağ; bir taraftan gitgide karmaşılaşan ama diğer taraftan etkileşimin yaratıcı gücünden öngörülemez gelişmelerin doğmasını sağlamıştır. Bir diğer özelliği ise, teknolojik paradigmanın esnekliğidir ki böylece organizasyonların yeniden düzenlenmesini sağlamış ve sürekli değişmeye yol açmıştır. Son özellik ise, belli teknolojilerin giderek birbirinden ayrılamaz şekilde bütünleşmesidir (yakınsama). Böylece mikroelettronik, telekomünikasyon, opto-elettronik ve bilgisayarlar artık enformasyon sistemlerinde bütünleşmiştir.

Dijital teknolojilerin kullanımı genellikle yerleşik işletmelerin, pazarların ve değer ağlarının "yaratıcı yıkımına" neden olmaktadır. Yıkıcı inovasyon, organizasyonel yapılarda, iş süreçlerinde ve iş modellerinde önemli değişiklikler gerektirmektedir. "Endüstri 4.0" terimi ile kapsanan üretim dönüşümünde yıkıcı bir potansiyele sahip olduğu

iddia edilen dinamik; RFID ve aktüatörler marifetiyle üretim zincirinin ayrı olan unsurlarını gerçek zamanlı birbirine bağlamanın artık ilk kez mümkün olmasıdır. Bu, her ürünün üretim hattı boyunca hareket ederken radyo sinyalleri aracılığıyla paylaşılabilen içine gömülü dijital bilgilere sahip olabileceği ve bu ürünlerin daha sonra insan müdahalesinden bağımsız olarak birbirleriyle iletişim kurabileceği anlamına gelmektedir. Bu şekilde üretilen bilgiler, üretim içerisinde makine bozulması, parça aşınması gibi görünmez sorunların tespit edilmesini ve onarılmasını mümkün kılmak için büyük veri ve bulut bilişim süreçleriyle analiz edilebilmektedir. Bu otomatik olarak yapıldığı ölçüde, akıllı cihazlar bitmemiş bir ürünün belirli özelliklerini algıladıklarında kendi parametrelerini ayarlayarak üretim işlemlerini yönetebilmekte ve bunları bağımsız olarak optimize edebilmektedir. Dahası, bu teknolojik gelişmeler, ürünleri tek bir birime özelleştirmeyi mümkün kılarak tüketiciyi bir "kitlesel özelleştirme" biçiminde üretim sürecine çekmektedir. Bu da üreticilerin değişen müşteri taleplerine ve pazar koşullarına hızlı bir şekilde yanıt verilmesine imkan sağlamaktadır.

Yeni sanayi devriminin; nesnelerin interneti, 3 boyutlu yazıcılar, robotik gibi yeni dijital teknolojiler ile biyo ve/veya nano tabanlı yeni malzemeler ve veriye dayalı üretim, yapay zeka gibi yeni süreçlerin biraraya gelmesiyle ortaya çıkacağına dair yaygın bir görüş birliği bulunmaktadır (Lichtblau vd., 2015; Acatech, 2017; ITRE, 2016; OECD, 2017). Bu teknolojilerin üretimi dönüştürdükçe, verimlilik, istihdam, beceriler, gelir dağılımı, ticaret, refah ve çevre için de geniş kapsamlı sonuçları olacağı düşünülmektedir. Endüstri 4.0'ın gerçekleşmesini sağlayan yeni teknolojiler yeni devrimin gerçekleşmesi için baskı unsurları olmuştur. Bu teknolojiler birbirinden bağımsız alanlarda ve bağımsız bir şekilde gelişip farklı uygulama alanlarına sahip olmuş olsa da bir arada kullanıldıklarında ortaya çıkan sinerji ile üretim, geleneksel yapıdan akıllı üretim seviyesine taşınmıştır (Kumaş ve Erol, 2021). Sadece yıkıcı teknolojilerin ortaya çıkışı değil aynı zamanda çevre koşulları ve bazı hammaddelerin artan kıtlığı da malzemeler, su ve enerji açısından verimli üretim için baskıyı artırmaktadır. Yeni teknolojik gelişmelerin kaçınılmaz olarak bugünkü yapıyı yıkarak rekabet kurallarını değiştireceği ve bu değişimin hızı bilinmemekle birlikte işgücünün niteliğine ve politikalara etki edeceği tahmin edilmektedir (OECD, 2017). Teknolojilerin yayılması yalnızca donanımı değil, aynı zamanda becerilerden yeni iş organizasyonu biçimlerine kadar teknolojilerden tam olarak yararlanmak için gereken tamamlayıcı soyut yatırımları ve teknik bilgiyi de değiştirecektir. Hızlı teknolojik değişim, beceri ve eğitim sistemlerinin yeterliliğini zorlayacak, bazı yeni üretim teknolojileri,

disiplinler arası eğitim ve araştırmanın önemini artıracaktır. Dolayısıyla endüstri ile eğitim ve öğretim kurumları arasında daha fazla etkileşime ihtiyaç duyulacak ve üretimin bilgi içeriği arttıkça bu ihtiyaç da büyüyecektir.

Yeni teknolojiler arasındaki sinerji sayesinde üretimin teknolojik olanakları sürekli olarak genişlemekte ve bunların önümüzdeki 10 ila 15 yıl içinde üretimi etkilemesi muhtemel gözükmemektedir. Bugün akıllı telefonlar yeni çıktığında düşünmesi çok zor olan metronomdan büyüteçlere birçok ürün mobil uygulamalar sayesinde akıllı telefonların içine girmiş durumdadır. Potansiyel olarak yıkıcı birçok üretim teknolojisi ufukta görünmekte ancak yıkımın kapsamı belirsizdir. Gelişen üretim teknolojileri, üretkenliği birçok yoldan etkileyebilecektir. Örneğin; yeni sensörlerin, kontrol cihazlarının, veri analizinin, bulut bilişimin ve IoT'nin kombinasyonu, giderek daha akıllı ve otonom makine ve sistemleri mümkün kılmaktadır (OECD, 2017).

Fakat yeni teknolojilerin üretkenlik kazanımlarının gerçekleşmesi önemli bir zaman alabilir. Bir tahmine göre "Endüstri 4.0'a tam geçiş 20 yıl sürebilir" (Lorenz, Rüßmann, Strack, Lueth ve Bolle, 2015). Bir teknolojinin mevcut olması, onun kabulü ve başarılı kullanımı için yeterli değildir. Transistörlerin boyutlarının her geçen gün küçülmesi ve maliyetlerinin azalmasının üçüncü sanayi devriminin arkasındaki genel amaçlı teknoloji olan bilgi işlem olanaklarının genişlemesine neden olduğu gibi bugün bilgiyi işlemek, depolamak, kullanmak ve bilgiyle etkileşime girmek için kullandığımız malzeme, düzenek ve mimarilerde gerçekleştirilen inovasyonlar da dördüncü sanayi devrimini mümkün kılmaktadır (Schwab, 2017). Maliyetlerin yüksekliği nedeniyle başlangıçta hemen gelişme imkanı bulamayan IoT kavramı radyo frekans tanımlama çiplerinin maliyetlerinin her geçen gün azalarak endüstriyel süreçlerde kullanılabilir olmasıyla kısa zamanda yeni bir devrimin tetikleyicisi olma şansını yakalamıştır. Bugün özellikle dijital teknolojileri üretim için kullanılabilir kılan iki ana neden; işletmeler tarafından kullanılabilir seviyelere çekilen maliyetler ile teknolojilerin kombinasyonu ve özellikle gömülü yazılım ve IoT sayesinde diğer teknolojilerle yakınsamasıdır.

Siber-fiziksel sistemler, büyük veri, IoT, endüstriyel biyoteknoloji ve nanoteknoloji gibi başlıca teknolojiler, önümüzdeki on yıllarda küresel üretim sistemlerini radikal bir şekilde yeniden şekillendirme potansiyeline sahiptir (OECD, 2017). Bir sonraki üretim devrimini yönlendirmesi muhtemel olan, bu farklı teknolojiler ve bunlara dayalı sistemler arasındaki yakınsamadır. Ulusal imalat araştırma ve yenilik politikaları ve stratejilerinde, yakınsamanın rolü giderek artan bir ilgi görmektedir (OECD, 2017). ABD Ulusal Bilim

Vakfı (NSF) ve ABD Ticaret Bakanlığı tarafından 2002 yılında “İnsan Performansını İyileştirmek için Yakınsak Teknolojiler; Nanoteknoloji, Biyoteknoloji, Bilgi Teknolojisi ve Bilişsel Bilim” stratejisiyle bahsi geçen farklı disiplinlerin bir arada kullanılmasına yönelik uygulamaların geliştirilmesi üzerine yakınsak teknolojiler, Avrupa Birliği’nin de gündemine girmiştir. Avrupa’yı lider bilgi toplumu yapmak için endüstriyel gelişmeleri desteklemek üzere kurulmuş Avrupa Araştırma Alanı (ERA) tarafından “Avrupa Bilgi Toplumu İçin Yakınsak Teknolojiler (CTEKS)” araştırmasıyla yakınsama desteklenmesi gereken teknoloji politikası olarak kabul görmüştür (Nordmann, 2009). Schwab dördüncü sanayi devriminin kalbinde bu fiziksel, dijital ve biyolojik dünyaların yakınsayarak kaynak kullanımında ve verimlilikte mazzam kazanımlar elde etme fırsatı sunmasının olduğu görüşündedir (Schwab, 2017).

Son yıllarda özellikle nanoteknoloji, biyoteknoloji, gelişmiş malzemeler ve bilgi teknolojileri gibi etkinleştirici anahtar teknolojilerin yakınsaması, yeni işlevler ve yeni uygulamalar sunan teknolojilerle cihaz düzeyinde entegrasyona yol açmıştır (European Commission, 2015). Yakınsama sadece disiplinlerarası düzeyde olmamış sistemler de yakınsayarak özellikle endüstriyel ve altyapısal sistemlerin, bilgi ve iletişim teknolojilerinin birleşmesi ile yeni ağ oluşturma ve entegrasyon mümkün hale gelmiştir. Bu entegrasyon sayesinde dördüncü sanayi devriminde aşağıdaki yakınsama temaları artan öneme sahip hale gelmiştir (OECD, 2017);

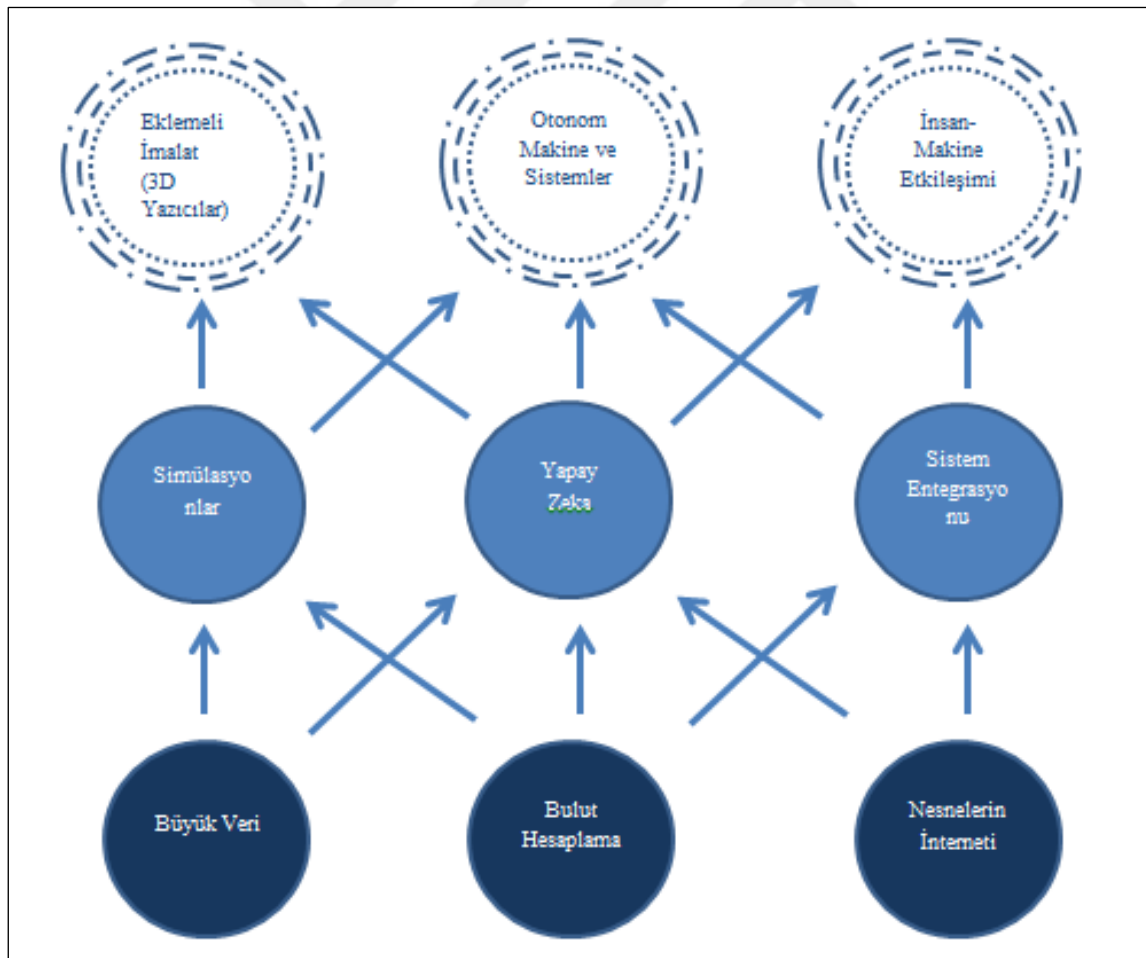
- Etkinleştirici Anahtar Teknolojilerin² yakınsaması; gelecekteki birçok yüksek değerli ürün ve üretim sistemi, çeşitli teknolojilere bağlı olacaktır. Bu teknolojilerin birleşimi ve entegrasyonu, bir dizi yeni uygulamaları ve yeni pazarları mümkün kılma potansiyeline sahiptir.
- Üretim teknolojilerinin yakınsaması; yüksek ücretli ekonomilerde yüksek değerli üretimi destekleme potansiyeline sahiptir. Özellikle, birden fazla işlem adımını birleştiren veya farklı üretim teknolojilerini uygulayan gelişmiş sistemler, kapsam ve planlama ekonomileri elde ederek hem niş yüksek değerli pazarlar hem de kitle

² Etkinleştirici Anahtar Teknolojiler (Key Enabling Technologies-KET), Avrupa sanayiine rekabet gücü kazandıracak yeni pazarlar yaratılmasına olanak sağlayacak yatırımlar ve teknolojiler olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda Mikro ve Nano Elektronik ile Fotonik araştırma alanları Avrupa Birliği tarafından Etkinleştirici Anahtar Teknolojiler olarak tanımlanan stratejik araştırma alanları arasında yer almaktadır (Ufuk2020).

pazarları için ürünler üretmede kullanılabilir. Bu tür hibrit sistemler, değer zincirlerini kısaltabilir, birkaç üretim adımını tek hibrit işlemlerle değiştirebilir ve tek bir üretim süreci kullanarak organizasyonel çabayı azaltabilecektir.

- Üretim sistemlerinin yakınsaması; üretim sistemlerini, tedarikçileri ve müşterileri daha etkin bir şekilde entegre etme ve birbirine bağlama potansiyeli sunmaktadır. Böyle bir yakınsama, yeni ve genellikle "daha akıllı" ürünlerin, daha verimli lojistiğin ve daha özelleştirilmiş ürün ve hizmetlerin geliştirilmesini sağlayacaktır. Böylelikle gelişmiş teknolojiler işletme faaliyetlerinin üç boyutta entegrasyonunu ve yakınsamasını sağlar:

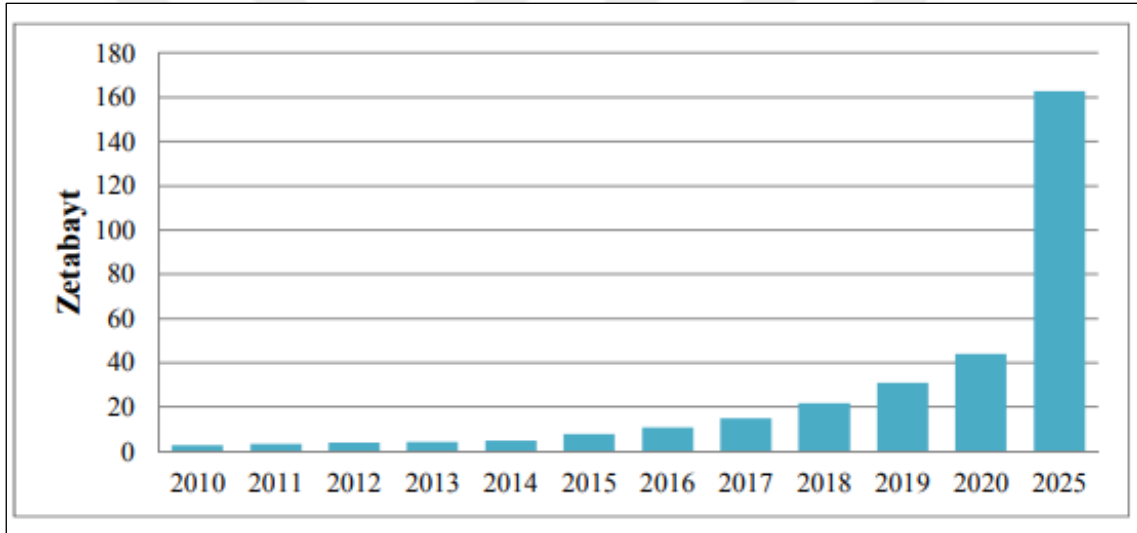
- dikey entegrasyon,
- yatay entegrasyon,
- uçtan uca mühendislik.



Şekil 2.2. Dijital dönüşümde etkinleştirici anahtar teknolojilerin birleşmesi (OECD, 2017)

Büyük Veri:

Sosyal ve ekonomik faaliyetlerin giderek internete taşınması ve veri toplama, taşıma, depolama ve analitik maliyetlerindeki düşüş de dahil olmak üzere çeşitli teknolojik ve sosyoekonomik eğilimlerin bir araya gelmesi, büyük miktarda veri üretilmesine yol açmaktadır. Dünya genelinde üretilen dijital veri her iki yılda bir ikiye katlanmakta, şu anda 10 yıl önce depolanabilen tüm dijital verinin 32 katı, 20 yıl öncekinin 1024 katı veri depolanabilmektedir (Akıncı, 2019). Söz konusu verinin 2020 yılında 45 zetabayt, 2025 yılında ise 163 zetabayt olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 2.3). Büyük veri terimi miktar olarak verilerin büyüklüğünün yanında genellikle yeni endüstrileri, süreçleri ve ürünleri elde etmek için yararlanılabilmesi nedeniyle de kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Dijital verinin dünya genelinde yıllar itibariyle artışı (International Data Corporation-IDC, 2017)

Ekonomik ve sosyal faaliyetler uzun zamandır verilere dayanmaktadır. Ancak bugün, ekonomide kullanılan artan veri hacmi, hızı ve çeşitliliği ve daha da önemlisi sosyal ve ekonomik değerleri, veri odaklı bir sosyoekonomik modele doğru bir kaymaya işaret etmektedir. Bu modelde veriler, önemli bir rekabet avantajı yaratabilen ve yeniliği, sürdürülebilir büyümeyi ve kalkınmayı teşvik edebilen temel bir varlıktır (OECD, 2013a). Tüm bu özelliklere sahip olan yeni paradigma sayesinde her geçen gün daha fazla ve daha hızlı şekilde verilere ulaşmak mümkün olmaktadır. Büyük veri terimi, hacimleri, hızları (üretildikleri, erişildikleri, işlendikleri ve analiz edildikleri hız) ve çeşitliliği (yapılandırılmamış ve yapılandırılmış veriler gibi) ile karakterize edilen, ilişkili bir

sistemin çalışması sonucunda BT sistemleri tarafından üretilen ve biriken çok büyük miktarda veri anlamına gelir. Bu devasa miktarda veri, kalıpları tanımlamak ve ilgili sistemin işleyişi hakkında bilgi edinmek için analiz edilebilir. Analiz genellikle istatistiksel tekniklerin uygulanmasını gerektirecek büyüklükte ve karmaşık yapıdadır. Yapılandırılmış veri; belirli bir hiyerarşide tanımlı, biçimsel birimler halinde örgütlenmiş, dolayısıyla erişimi ve çözümlemesi geleneksel yöntemlerle en kolay ve hızlı biçimde gerçekleştirilebilen veriyi ifade ederken, yapılandırılmamış veri; belirli bir biçimsel kurala bağlı olmayan, işlenip çözümlenebilmesi için gelişmiş metin işleme, doğal dil işleme ve yapay zekâ gibi yeni yöntemlerin kullanılması gereken veri türünü ifade etmektedir (Akıncı, 2019). Yapısal veriler, müşteri verileri, satış verileri ve stok kayıtları gibi satırlara ve sütunlara sığabilecek organize verilerken, video kayıtları, röntgenler gibi yapılandırılmamış verilerin organize edilmesi veya bir araya getirilmesi zordur (Rayes ve Salam, 2019).

Büyük veri terimi ilk kez 1997'de Michael Cox ve David Ellsworth tarafından bir IEEE konferansında sunulan bir makalede verilerin görselleştirilmesini ve bilgisayar sistemleri için ortaya çıkardığı zorlukları açıklamak için kullanılmıştır (Cox ve Ellsworth, 1997). 1990'ların sonunda, hızlı BT yenilikleri ve teknolojik gelişmeler, büyük miktarda verinin üretilmesini sağlarken bu veriler içerisinde kullanılabilir düzeyde çok az bilgi olmuştur. İş bilgilerinin toplanması, entegrasyonu, analizi ve yorumlanmasının önemini vurgulamak için oluşturulan iş zekası (Business Intelligence-BI) kavramları işletmelerin daha uygun kararlar almasına ve piyasa davranışları ve eğilimlerini daha iyi anlamasına yardımcı olmayı sağlamıştır. 2001-2008 dönemi, büyük veri geliştirmenin evrimsel aşamasıdır (Wang, Kung ve Byrd, 2018). IDC büyük veriyi; "yüksek hızda elde etme, ortaya çıkarma ve/veya analiz etmeyi mümkün kılarak, çok geniş çeşitlilikteki verinin çok büyük hacimlerinden ekonomik olarak değer elde etmek için tasarlanmış yeni nesil teknolojiler ve mimariler" olarak tanımlamıştır (NIST, 2017). McAfee ve Brynjolfsson (2012) ise büyük veriyi; özellikle insan davranışları ve etkileşimleriyle ilgili modelleri, eğilimleri ve ilişkileri ortaya çıkarmak için sayısal olarak analiz edilebilen son derece büyük veri kümeleri olarak tanımlamışlardır. Hacim, hız ve çeşitlilik büyük verinin üç ana özelliği olarak kabul edilmektedir ve genellikle 3V olarak adlandırılmaktadır (Gartner). İlk tanım META Group (daha sonra Gartner tarafından satın alınan) analisti Doug Laney tarafından yapılmıştır. Laney, veri büyümesinin zorlukları ve fırsatlarını üç boyutlu, yani artan hacim (veri miktarı), hız ve çeşitlilik (veri türleri ve kaynakları aralığı) olarak tanımlamıştır.

Gartner ve endüstrinin çoğu, büyük veriyi tanımlamak için bu "3V" modelini kullanmaya devam etmektedir. Laney'e göre; "Büyük veri, karar verme yeteneklerini geliştirmek, içgörü ve süreç optimizasyonu sağlamak için yeni işleme biçimleri gerektiren yüksek hacimli, yüksek hızlı ve/veya çok çeşitli bilgi varlıklarıdır" (2001). Loukides, büyük veriyi "verinin boyutunun sorunun bir parçası haline gelmesi ve verilerle çalışma için geleneksel tekniklerin işe yaramaması" olarak tanımlamaktadır (Loukides, 2010'dan aktaran Curry). Büyük verinin yönetimi ile ilgili yaşanan zorlukların belirlenmesinde hacim, hız ve çeşitlilik konusundaki tanımlar önemli bir yer bulmuştur (Curry, 2016);

- Hacim (veri miktarı): Veri işleme içerisindeki büyük ölçekli verilerle ilgilenir (küresel tedarik zincirleri, küresel finansal analiz, büyük hadron çarpıştırıcısı verileri gibi).
- Hız (veri hızı): Yüksek frekanslı gelen gerçek zamanlı veri akışlarıyla ilgilenir (sensörler, yaygın bilişim, e-ticaret, nesnelerin interneti verileri gibi).
- Çeşitlilik (veri türleri/kaynakları aralığı): Farklı sözdizimsel biçimleri (elektronik tablolar, XML verileri gibi), şemalar ve anlamlar (kurumsal veri entegrasyonu verileri gibi) kullanılan verilerle ilgilenir.

Büyük verinin hacim, hız ve çeşitlilik açısından tanımlanmasının ardından artan verinin kullanımı için gereken ihtiyaçları karşılayacak daha karmaşık yazılımlar geliştirmek mümkün hale gelmiştir. Extensible Markup Language (XML) Web hizmetleri, veritabanı yönetim sistemleri ve Hadoop gibi yazılım ve uygulama geliştirmeleri, son kullanıcılar için kullanılabilirliği artırmaya odaklanan çekirdek modüllere analitik modülleri ve işlevler ekleyerek kuruluşların iş birliği içinde ve gerçek zamanlı olarak büyük miktarda veriyi işlemesini sağlamıştır.

Bununla birlikte, bunlar veri depolama ve işleme teknolojilerinin evrimine bağlı olan teknik özelliklerdir. Değer, büyük verinin kullanımından elde edilecek artan sosyoekonomik değerle ilgili olan dördüncü bir V (value)'dir. Nihayetinde verilerin biriktirilmesini, işlenmesini ve kullanılmasını motive eden potansiyel ekonomik ve sosyal değerdir. Son olarak da doğruluk (veracity) büyük verinin özelliğini yansıtan 5V'si olarak kabul edilmiştir (NIST, 2017).

2009'un başında, büyük veri analizi devrimci aşamaya girmiş büyük veri bilişim yalnızca iş zekası için çığır açan bir yenilik haline gelmekle kalmamış büyük veri analitiği bilişim, bankalar ve e-ticaret gibi öncü endüstriler, iş süreçlerini ve iş gücü verimliliğini iyileştirme,

işletme maliyetlerini düşürme ve yeni müşterileri çekme konusunda bir etkiye sahip olmaya başlamıştır. International Data Corporation'ın raporuna göre büyük veri ve iş analitiği pazarında dünya çapındaki gelirlerin 2016'da 130,1 milyar dolardan 2020'de 203 milyar doların üzerine çıkacağını ve yıllık bileşik büyüme oranının %11,7 olacağını öngörmektedir (Press, 2017). Bu nedenle, büyük verinin sosyoekonomik boyutuna “yeni bir üretim faktörü” olarak bakmak için hacim, hız ve çeşitliliğin tamamen teknik yönlerinin ötesine geçmek gerekmektedir. Curry'e göre (2016) büyük veri, yenilikçi teknolojinin mevcut bilginin tsunamisinden değer elde etmek için yeni yollar sunduğu yeni bir alandır. Büyük verilerin kullanımı, veriye dayalı inovasyon sayesinde ürünleri, süreçleri, organizasyonel yöntemleri ve pazarları önemli ölçüde iyileştirmeyi vaat etmektedir. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmaya göre veriye dayalı karar alan işletmelerin kârlarını yüzde 5-6 civarlarında artırdıkları ifade edilmektedir (McAfee ve Brynjolfsson, 2012). İmalatta, sensörler aracılığıyla elde edilen veriler, makinelerin operasyonlarını optimize etmek ve önleyici bakım, satış sonrası hizmetleri sağlamak gibi verimliliğini izlemek ve analiz etmek için kullanılmaktadır. Günümüzde en başarılı şirketlerin iş modelleri, süreçlerin yazılım yoluyla biçimlendirilmesi ve kodlanmasının ötesine geçmekte ve büyük veri akışlarının toplanmasını ve analizini içermektedir (OECD, 2015b). Bu firmalar, iş süreçlerinin açık formülasyonuna ve kodlamasına güvenmek yerine, insan müdahalesi olmadan daha karmaşık iş süreçlerini gerçekleştirecek yapay zeka algoritmalarını geliştirmek amacıyla büyük verileri kullanmaktadır. Yapay zeka tarafından sağlanan bu yenilik, artık ekonomi genelinde iş süreçlerini dönüştürmek için kullanılmaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin, özellikle yazılımın araçlara gömülme derecesi giderek artmaktadır. Milyonlarca satır bilgisayar koduna dayanan yüksek kaliteli araçlarla, yeni araç geliştirme maliyetine giderek daha çok yazılım hakim olmaktadır. Ancak otonom makineler ve sistemler ve karmaşık simülasyon gibi birçok yüksek potansiyelli endüstriyel uygulama, hesaplama açısından süper bilgisayarlar gerektirmektedir. Süper bilgisayarların işlem güçlerinin artırılması amacıyla yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında Japonya, Çin ve ABD başı çekmekte ve her yıl milyarlarca avroluk dev bütçeler ayırmaktadır. Bu ülkelerin yanı sıra Avrupa Birliği, veri ekosistemi oluşturmak amacı da taşıyan “Dijital Tek Pazar Stratesi” kapsamında elde edilecek yüksek miktardaki verilerin analizi için 10 noktaya yerleştirilecek olan “Yüksek Performanslı Bilgi İşlem” merkezleri Avrupa Geleceğin Fabrikaları çalışma grubu tarafından yürütülmekte ve kamu-özel ortaklıklarla desteklenmektedir (European Parliamentary Research Service, 2015).

Bulut Bilişim

Bulut Bilişim, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology-NIST) tarafından; “minimum yönetim çabası ve hizmet sağlayıcısı desteği ile yayımlanabilecek ortak havuzlara ve yapılandırılabilir kaynaklara (örneğin ağlar, sunucular, veri depoları, uygulamalar ve hizmetler) hızlı bir şekilde erişim sağlayan model” olarak tanımlanmıştır (NIST, 2011). TSE’ye göre ise bulut bilişim; “İşlemci gücü ve depolama alanı gibi bilişim kaynaklarının ihtiyaç duyulan anda, ihtiyaç duyulduğu kadar kullanılması esasına dayanan, uygulamalar ile altyapının birbirinden bağımsız olduğu ve veriye izin verilen her yerden kontrollü erişimin mümkün olduğu, gerektiğinde kapasitenin hızlı bir şekilde artırılıp azaltılabildiği, kaynakların kullanımının kolaylıkla kontrol altında tutulabildiği ve raporlanabildiği bir bilişim türüdür” (Türk Standardları Enstitüsü-TSE, 2014).

Bulut bilişim, özellikle yeni başlayanlar ve KOBİ'ler için yüksek düzeyde ölçeklenebilir bilgi işlem kaynaklarının kullanılabilirliğini ve kapasitesini artırmada ve maliyetini düşürmede önemli bir rol oynamaktadır. Bunun nedeni, bulut bilişim hizmetlerinin kolayca ölçeklendirilebilmesi veya küçültülebilmesi, talep üzerine kullanılabilmesi ve kullanıcı başına veya kullanılan kapasite bazında ödenebilmesidir. Yakın zamana kadar işletmeler kendi bilgi işlem altyapılarını kullanırken artan dijitalleşme nedeniyle bilgi işlem altyapılarını yönetmekte zorlanmaya başladılar. 2008'de piyasaya sürülen bulut bilişim, işletmelerin bilgi işlem altyapılarını tamamen veya dış kaynak kullanmasına olanak tanımıştır. 2000 yılında ağ bilgi işlem ve depolama altyapısı maliyetinin başlangıç için ortalama 5 milyon dolar olduğunu göstermiştir. 2016 yılında bu maliyet 5 bin dolara düşmüştür. Maliyetteki bu %99'luk büyük düşüş bulut bilişim ile mümkün olmuştur. İşletmeler yalnızca tükettikleri CPU miktarı, depolama veya bant genişliği için ödeme yapmakta ayrıca alt işletmelerine veya kullanıcılarına bilgi işlem hizmetleri sunma seçeneğine sahip olmaktadır. Böylelikle BT departmanlarına yönetim, kontrol ve güvenliği korurken esneklik ve rahatlık sunmaktadır. Bulut bilişim üç ana hizmet kategorisinde sınıflandırılmıştır; Yazılım Hizmeti (SaaS), Platform Hizmeti (PaaS) ve Altyapı Hizmeti (IaaS) (Rayes and Salam, 2019).

- Yazılım Hizmeti (Software-as-a-Service): Yazılım geliştirme, bakım, yönetim ve donanım ücretlerinin düşürülmesi amacıyla ihtiyaç duyulan uygulamaların temin edilmesini sağlar.

- Platform Hizmeti (Platform-as-a-Service): Firma için gerekli donanım ve yazılım bileşenlerini satın alma ve barındırma zahmetini ve fiyatını düşürmek amacıyla ihtiyaç duyulan platformların temin edildiği modeldir.
- Altyapı Hizmeti (Infrastructure-as-a-Service): Firma içerisinde gerekli olan temel yazılım ve donanımı satın almak yerine bir hizmet arayüzü ile kontrol edilebilmesi amacıyla ihtiyaç duyulan sunucu, yazılım ve ağ ekipmanlarından oluşan temel bilişim altyapısının sağlandığı modeldir (TSE, 2014).

İşletmeler, iş çevikliğini artırmak ve BİT yatırım maliyetlerini düşürmek için çoğunlukla bulut bilişimi benimsemektedir. Buna ek olarak, bulut bilişimin her yerde bulunması sayesinde şirket sınırları arasında veri paylaşımı için ideal bir platform haline gelmiş ve kuruluşlar içinde (dikey entegrasyon) ve kuruluşlar arasında (yatay entegrasyon) sistem entegrasyonunu mümkün kılmıştır. Bu, yalnızca fiziksel nesneleri internet ile entegre etmek için bir platform olarak IoT'nin ortaya çıkan önemini değil, aynı zamanda bulutun hizmet entegrasyonu için bir platform olarak önemini de vurgulamaktadır. Ancak kullanıcılar için gizlilik ve güvenlik kaygıları, uygun standartların eksikliği bulut bilişimin benimsenmesinin önündeki en büyük engellerdir (OECD, 2015a).

Nesnelerin İnterneti

1926 yılında Nicola Tesla, Colliers dergisine verdiği demecinde; “Kablosuz iletişim mükemmel bir şekilde uygulandığında, tüm dünyayı devasa bir beyne dönüştürecek ki bu aslında her şeyin gerçek ve ritmik bir bütünü parçacıkları olmasıdır. Mesafeden bağımsız olarak birbirimizle anında iletişim kurabileceğiz. Sadece bu değil arada binlerce millik mesafeler olmasına rağmen, birbirimizi yüz yüze gibi mükemmel bir şekilde göreceğiz ve duyacağız ve bunu yapabileceğimiz aletler mevcut telefonumuzla karşılaştırıldığında inanılmaz derecede basit olacak. Bir erkek yelek cebinde taşıyabilecek” diyerek gelecek vizyonunu ortaya koyarken, Mark Weiser 1991’de kaleme aldığı “21. Yüzyıl için Bilgisayar” isimli makalesinde “En etkili teknolojiler gözden kaybolanlardır. Onlar kendilerini günlük yaşamın dokusuna ekleyerek en sonunda ayırt edilemez hale gelirler” diyerek “her yerde her zaman bilgisayarların olduğu bir dünyanın var olacağını öngörmekteydi. Weiser’in gözden kaybolan bilgisayar düşüncesinde bilgisayarların insanların dikkatini çekmeyecek, onların enerji ve zamanını almayacak biçimde çevrelere yerleştiği ve arka planda çalışan fark edilemeyen makineler tasavvuru vardır. Büyük çapta bilgisayarları sorunsuz bir şekilde dünyaya entegre etme fikrinin birçok

eğilime aykırı olduğunu ve "her yerde bilgi işlem" in sadece plaja, ormana veya havaalanına taşınabilen bilgisayarlar anlamına gelmediğini, dünya çapında bir bilgi ağına erişimi olan en güçlü dizüstü bilgisayarın bile dikkati hala tek bir kutuya odakladığını düşünmekteydi. Oysa ki, Weiser bilgisayarların arka planda nasıl yok olabileceği üzerine düşünüyordu ve bunu elektrikli motorlar ya da elektrik kabloları gibi görüyordu. Nasıl ki bu teknolojiler birçok ürünün içine girip onları harekete geçirebilirken insanların ayrıca dikkat etmesini gerektirmiyordu benzer şekilde etrafımızdaki herşeyin içine de bilgisayarlar yerleştirilerek nesneler sayısallaştırılabilir ve insanların ayrıca zihinsel efor sarf etmesine gerek kalmazdı. Her yerde bilgi işlem dediği bu vizyonu sanal gerçekliğin zıddı olarak tanımlıyordu ve sanal gerçeklikte insanların bilgisayarlar tarafından üretilen dünyanın içine konulurken her yerde bilgi işlemin bilgisayarları insanların dünyasına yerleştirmekle gerçekleşeceğini düşünüyordu. 1999 yılına gelindiğinde Massachute Teknoloji Enstitüsü (MIT) Auto-ID Center Genel Müdürü Kevin Ashton tüm bu gelecek vizyonlarının gerçekleşmesini sağlayan bir terimden bahsediyordu; Nesnelerin İnterneti (IoT). Ashton'a göre nesnelerin interneti tıpkı internet gibi dünyayı değiştirme potansiyeline sahipti. Nesnelerin interneti 2001 yılında MIT Auto-ID merkezinin IoT vizyonunu açıklamasının ardından 2005 yılında Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) İnternet Raporunda terim resmen yer aldı ve 2006 yılından itibaren Avrupa Komisyonu, özellikle yönetim, gizlilik ve esneklik/güvenlik gibi kritik politika konularında, RFID ve nesnelerin interneti konularında geniş çapta tartışmalar başlatmıştır. Aynı dönemde ABD Hükümeti, nesnelerin internetinin ABD'nin ekonomik gücü için stratejik önemini vurgulayan bir dizi çalışma başlatmış ve Nisan 2008'de ABD Ulusal İstihbarat Konseyi "Yıkıcı Sivil Teknolojiler- ABD'nin 2025'e Çıkarları Üzerinde Potansiyel Etkileri Olan Altı Teknoloji" konulu bir rapor yayınlamıştır. Bu teknolojiler arasında nesnelerin interneti ve robotik yer almıştır. SRI Consulting Business Intelligence tarafından hazırlanan NIC raporunda nesnelerin interneti ile ilgili olarak, "2025 yılına kadar internet düğümlerinin günlük nesnelerde (gıda paketleri, mobilya, kağıt belgeler ve daha fazlası) yer alabileceğini vurgulayarak sıradan nesnelerin yaygın olarak etiketlenmesi ve ağa bağlanması ile ilgili; "Bu tür öğeler, RFID, sensör ağları, küçük gömülü sunucular ve enerji toplayıcıları dahil olmak üzere bol miktarda, düşük maliyetli ve yüksek güçlü bilgi işlem kullanarak yeni nesil internet üzerinden bağlanan etkinleştirme teknolojileriyle bulunacak, tanımlanacak, izlenecek ve uzaktan kontrol edilecek (...). Bu teknolojiler, bir dizi gelişmiş verimliliği radikal bir şekilde hızlandırabilir ve bu da kapalı toplumların neredeyse her yerin bilgi çağına ve

güvenlik izlemesine entegre edilmesine yol açabilir” denilmiştir. 2009 yılının ikinci yarısında ise Çin'de nesnelerin interneti hakkında gerçekleştirilen bir dizi toplantı sonucunda Çin Başbakanı Wen Jiabao, nesnelerin internetini Çin için ulusal bir zorunluluk olarak gördüğünü açıklamıştır (Santucci, 2010).

International Telecommunication Union (ITU) 2005 raporunda nesnelerin internetini; “herhangi bir yerden herhangi bir zamanda her türlü nesnenin birbirine bağlanabileceği bir teknoloji” olarak tanımlamıştır (ITU, 2005). Aslında, nesnelerin interneti dördüncü sanayi devrimi ve iş ve toplumun dijital dönüşümünün temelini oluşturmaktadır (Lee, Kao ve Yang, 2014). İlk sanayi devrimi buhar motoruna dayanırken ikinci devrim seri üretim makinelerine, üçüncü devrim gömülü bilgisayarlara sahip makineler ve dördüncü devrim ise küresel olarak birbirine bağlı makineler ve nesnelere dayanmaktadır. Nesnelerin interneti BİT alanında yeni bir paradigma değişimidir. Nesnelerin interneti kavramında geçen internet; dünya çapında milyarlarca kullanıcıya hizmet vermek için standart internet protokol paketini kullanan birbirine bağlı bilgisayar ağları sistemini ifade ederken nesneler ise; yalnızca karşılaştığımız ve kullandığımız elektronik cihazlar ve aletler gibi teknolojik olarak gelişmiş ürünler değil, aynı zamanda gıda, giyim, mobilya, malzeme, parça, ekipman, tarihi yapılar, hayvanlar, bitkiler gibi düşünmediğimiz maddi dünyada gerçek “nesneler”i tanımlamaktadır. Cisco, nesnelerin internetini dört temel bileşene sahip IoE (her şeyin interneti) olarak adlandırmaktadır: insanlar, süreç, veri ve nesneler. IoE bu dört bileşeni aşağıdaki amaçlar için birbirine bağlamaktadır:

- İnsanlar: İnsanları daha alakalı şekillerde birbirine bağlamak.
- Veri: Daha iyi kararlar almak için verileri istihbarata dönüştürmek.
- Süreç: Doğru bilgiyi doğru kişiye veya makineye doğru zamanda ulaştırmak.
- Nesneler: Akıllı karar verme için internete ve birbirine bağlı fiziksel cihazlar ve nesneler.

Nesnelerin interneti, bilgi işlem ve iletişimin geleceğini temsil eden teknolojik bir devrimdir ve gelişimi, kablosuz sensörlerden nanoteknolojiye kadar bir dizi önemli alanda dinamik teknik yeniliğe bağlıdır (Madakam, Ramaswamy ve Triphati, 2015). "Nesnelerin İnterneti" ifadesi geleceğin makinelerinin bir vizyonuna işaret etmektedir; on dokuzuncu yüzyılda makineler yapmayı, yirminci yüzyılda düşünmeyi ve yirmi birinci yüzyılda algılamayı yani hissetmeyi ve tepki vermeyi öğrenmektedir (Santucci, 2010).

IoT'nin ana fikri, izleme ve/veya kontrol işlevselliği için internet üzerinden nesneleri ve süreçleri fiziksel olarak bağlamaktır. Bağlantılar yalnızca bilgi siteleriyle sınırlı olmayıp, kullanıcıların “nesnelere” ulaşmalarını ve gerektiğinde kontrolü ele almalarını sağlayan gerçek ve fiziksel bağlantılardır. Bu nedenle, nesneleri bir araya getirmek kendi başına bir amaç değildir, ancak ürün ve hizmetleri zenginleştirmek için bu nesnelerden veri toplamaktır.

Birbirine bağlı nesneler arasında IoT, büyük veri analizi ve bulut bilişim ile birlikte otonom makineleri ve akıllı sistemleri mümkün kılan sensörler ve aktüatörler de içerir. IoT, büyük veri ve bulut bilişim ile birlikte yapay zeka (AI) uygulamalarında da hızlı gelişmenin ana tetikleyicilerindendir. IoT, fiziksel nesneleri bilgi akışlarına yerleştirmekte ve böylece onları "daha akıllı" hale getirmektedir. Bir fabrikadaki tüm cihazlar ve makineler bilgi sağlayabildiğinde, birçok yeni robotik uygulaması mümkün hale gelir.

Rayers ve Salam’a göre IoT un kullanımını bugün mümkün kılan nedenler arasında;

- Bilgi teknolojileri ile işletim teknolojisinin birbirine yakınsaması,
- Uçta hesaplama (Edge Coumputing),
- RFID teknolojisindeki ilerlemeler,
- Bulut bilişim,
- Dijital dönüşüm,
- Kullanıcı arayüzlerinin gelişmesi,
- Mobil uygulamalar
- IoT teknolojisinin benimsenme hızı (elektirik ve telefonda 5 kat daha hızlı benimsenmiştir)
- Moore yasasının kesintisiz sürmesi yer almaktadır.

İnternete bağlı IoT cihazlarının sayısının belirlenmesi zor olmakla birlikte Shodan (dünyanın internet bağlantılı cihazlar için ilk arama motoru) çevrimiçi olan 363 milyon cihaz bulmuştur. Bunlardan 84 milyonu Çin’e ve 78 milyonu Amerika Birleşik Devletleri’ne, 18 milyonu Kore’ye sonrasında da 8-10 milyon bağlantıyla Brezilya, Almanya, Japonya, İspanya, Birleşik Krallık ve Meksika’ya kayıtlı görülmektedir (OECD, 2017). Mevcut tahminler, IoT'nin önümüzdeki 20 yıl içinde küresel GSYİH'ya 10 trilyon ABD Doları tutarında katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Evans ve Annunziata, 2012). Vodafone'a (2018) göre, IoT'nin benimseme oranı 2013'te %12 iken 2017'de %29'a

yükseldi. Şirketler, maliyet tasarruflarının yanı sıra süreç verimliliği, karar verme hızı ve çevikliği, pazarlar arasında teslimat tutarlılığı, maliyetlerin şeffaflığı/öngörülebilirliği ve yeni pazarlardaki performans alanlarında da iyileştirmeler sağladıklarını ifade etmektedir. Benimseyen şirketlerin %55'i verimliliği artırmak için kullandıklarını, %46'sı kurumsal kaynak planlaması gibi temel sistemlere ve iş süreçlerine entegre ettiklerini, % 79'u, beş yıl içinde iş süreçlerinin %50'den fazlasının IoT algılama kontrol sistemlerini içereceğini belirtmişlerdir (Vodafone Business, 2018).

2.4.5. Strateji ve politikalar

Dünya Bankası (1993) sanayi politikasını “üretkenliğe dayalı büyümeyi teşvik etmek için endüstriyel yapıyı değiştirmeye yönelik ülke çabaları” olarak değerlendirmektedir. Sanayi politikasını tanımlayan birçok tanım olmasına rağmen (OECD, 2013b) ortak görüş sanayi politikalarının ekonominin yapısını değiştirmeye yönelik olduğudur. Warwick bu tanımlardan yola çıkarak sanayileşme politikasını; ekonomide imalat sektörünün büyümesini teşvik ederek gelişmekte olan bir ekonomiyi ekonomik kalkınmanın bir sonraki aşamasına taşımak için özel olarak tasarlanmış bir dizi politikaya sahip bir endüstriyel strateji biçimi olarak ifade etmiştir (OECD, 2013b).

2008 ekonomik krizinden sonra birçok ülke yeni ekonomik büyüme ve istihdam alanı yaratmak için yeni kaynak arayışına girmişlerdir. Bazı ülkeler, ekonomik büyümede önemli bir yer edinen sektörlerle bu büyümede payı çok azalmış olan sektörler arasındaki dengesizlikten endişelenirken bazı ülkeler üretimin çok düştüğü ve yaşlanan işgücü ile ilgili endişelere kapılmaktadır. Bu endişe nedeniyle yeni ekonomik büyüme kaynaklarını teşvik edecek ileri üretim teknolojileri, bilgi yoğun iş hizmetleri, yeşil üretim alanlarına yönelik politikalar geliştirmeye başlamıştır. Küresel değer zincirlerinin daha karmaşık hale gelmesiyle gelişmiş ülkelerin temel yetenekleri olarak kabul edilen faaliyet alanlarında ve pazarlarda bile gelişmekte olan ülkelerle olan rekabetin artmış olmasıyla, sanayi politikalarına olan ilgi son dönemde atılmıştır. Bazıları ekonomik krizle başa çıkabilmek için bazıları ise daha uzun vadeli olmak üzere Fransa, Japonya, Güney Kore, Türkiye, İtalya, İngiltere, Amerika, Brezilya, Çin, Hindistan, Holanda, Almanya gibi birçok ülke son dönemde yeni sanayi politikalarını ortaya koymuşlardır. OECD tarafından hazırlanan “Sanayi Politikanının Ötesinde” (OECD, 2013b) adlı rapora göre sanayi politikalarına olan artan ilginin aslında yeni bir paradigma arayışı olduğu öne sürülmektedir. Bu paradigma arayışını bazı nedenleri bulunmaktadır;

- 2008 küresel ekonomik krizi sonucunda yaşanan ekonomik durgunluğu önlemek için sadece talebi artırmaya yönelik politikaların değil aynı zamanda teknoloji ve altyapı yatırımları ile arz tarafında iyileştirme yoluyla ekonomik büyümeyi sağlamaya yönelik politikalar,
- 1980'lerden günümüze kadar süren hizmetler ve finans sektörüne dayalı büyümenin ve beraberinde getirdiği sanayinin rekabetçiliğini kaybederek “sanayisizleşme” sürecinin yol açtığı sorgulamalar,
- Hem iç ve dış talep hem de sektörler arasındaki farklar nedeniyle ortaya çıkan dengesizliğin yol açtığı sorunlar,
- Başta Çin olmak üzere küresel değer zincirinde gelişmekte olan Asya-Pasifik ülkelerinin yükselişi.

Ekonomisi imalata dayalı gelişmiş birçok ülkede son dönemlerde imalatın gayri safi yurtiçi hasıla ve istihdam içindeki payı gittikçe düşmektedir. Bunun en önemli nedenlerinin başında imalatın uluslararasılaşması ve imalat şirketlerinin üretimden ziyade üretim için hizmet sağlayacakları alanlara kaymalarından kaynaklanmaktadır. Bu durum da ülkelerin küresel değer zincirinde aşağılara inmelerine neden olmuştur.

Teknolojideki değişim ekonomik gelişme ve ticari rekabette önemli bir yere sahiptir. İktisatçılar, verimlilik artışının, yeni üretim teknikleriyle yeni ürünlerin ortaya çıkmasına ve bunların bütün ekonomi sistemine etkin bir biçimde yayılmasına sıkı sıkıya bağlı olduğunu kabul etmektedir. Teknoloji sistemlerindeki bazı değişimlerin yarattığı sonuçların etkisi o kadar uzun sürelidir ki, bunların, bütün ekonominin işleyişi üzerinde büyük etkileri olmaktadır. Bu tür değişimler Schumpeter'in (1939) “ekonomik gelişmede uzun dönemli çevrimler” kuramının ana eksenini oluşturan ‘yaratıcı yıkım fırtınaları’dır (Freeman, 1990).

Uzun dalga teorisinin savunucuları, beş uzun dalga arasında ayırım yapmaktadır. İlk uzun dalga, 18. yüzyılın sonlarına damgasını vuran ünlü "sanayi devrimi"ni göstermektedir. Bu dalga; odun kömürüne ve su gücüne bağımlılıktan enerji için büyük ölçekli kömür kullanımına geçişe dayanmaktadır. 19. yüzyılın başlarında yer alan ikinci uzun dalga, buhar makinesi ve demiryolları tarafından tetiklenmiştir. 19. yüzyılın sonlarını şekillendiren üçüncü dalga, çelik yapımı ve imalatın makineleşmesi nedeniyle etkinleştirilmiştir. 20. yüzyılın ilk yarısının itici gücü olan dördüncü dalga, sentetik malzemelerin ve elektroniğin benimsenmesine dayanmaktadır. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından teknolojik gelişmelerin

tetiklediği beşinci dalga, “bilgi ve telekomünikasyon hizmetlerinin zenginliğin birincil üretici ve büyümenin motoru olduğu” bir ekonomiye yol açmıştır. Beşinci dalganın önemli yeniliklerine bir örnek mikro işlemciler ve internettir. Son zamanlarda, altıncı uzun dalganın bilgi ve iletişim teknolojileri, tıp, biyoteknolojiler ve nanoteknolojiler arasındaki sınırları bulanıklaştıran, kendi kendini düzenleyen sistemler tarafından yönlendirileceği öne sürülmüştür. Üretimi önemli ölçüde dönüştürebilecek teknoloji yelpazesi oldukça geniştir ve bu teknolojilerin spesifik etkilerinin ne olacağını tam olarak kestirebilmek mümkün değildir. Bununla birlikte, üretimi büyük ölçüde yeniden şekillendirme potansiyeline sahip, önemli yeni teknolojilerin neler olduğu konusunda uluslararası düzeyde fikir birliği vardır (OECD, 2015a). Biyoteknoloji, nano üretim, ileri imalat teknolojileri, bilgi ve iletişim teknolojileri, ileri malzemeler ve yeni üretim teknolojileri gibi konular son hükümet çalışmaları ve stratejilerinde özel ilgi görmektedir. Bununla birlikte, devletler tarafından finanse edilen araştırma programları ve girişimleri için önceliklerin belirlenmesi ve uygulama mekanizmalarının tasarlanması, teknolojilerin yakınsaması ve modern imalatın karmaşıklığı nedeniyle zordur. Devletlerin üretim alanındaki araştırma öncelikleri güçlü konumda oldukları endüstriyel alanlara göre farklılık göstermektedir (O’Sullivan, 2011). Bu tartışmanın gösterdiği gibi, uzun bir dalga, değişen bir ekonomik ve sosyal yaşamla sonuçlanan teknolojik bir devrimle iç içe geçmektedir ve bilim adamları, bir dalganın somut şeklinin sosyal ve politik faktörlere bağlı olduğunu ortaya koymaktadır (Reischauer, 2018). Dolayısıyla dördüncü bir sanayi devriminin ortaya çıkması sadece teknolojide yaşanan gelişmeler ve bu gelişmelerin ortaya çıkardığı baskıların sonucunda değil aynı zamanda ülkelerin teknoloji politikalarının da bir sonucu olmuştur.

Sanayide dijitalleşme ABD ve Almanya’da uzun süredir sanayide gerçekleştirilen evrimin bir sonucudur ve hemen aynı zaman dilimlerinde isimleri konmuştur (Sabancı Üniversitesi, 2017). 2000 yılında kabul edilen Lizbon Stratejisinin amacı, Avrupa Birliği’ni "daha fazla ve daha iyi işler ve daha fazla sosyal uyum ile sürdürülebilir ekonomik büyüme kapasitesine sahip dünyanın en rekabetçi ve dinamik bilgiye dayalı ekonomisi" yapmaktır. Lizbon gündemi, Ar-Ge’ye yatırımı artırmaya, özellikle hizmetlerde tek pazarı tamamlamaya ve işgücü piyasası esnekliğini ve katılım oranlarını artırmaya yönelik müdahaleleri içeriyordu. AB sanayi politikası, düzenleyici araçların kullanımı veya bütçe araçları yoluyla sanayinin yapısal değişikliklere uyum sağlamasına, teşebbüsler arasında işbirliğini artırmaya ve yenilik, araştırma ve teknolojik gelişmenin endüstriyel

potansiyelini teşvik etmeye ve ayrıca sanayi politikası ile etkileşim içinde olan bir dizi çevresel politikaya odaklanmaktadır. 2000 yılından beri Lizbon Gündemi ve 2010'dan beri de "Avrupa 2020" tarafından yönlendirilen AB sanayi politikası, Avrupa'da bir "Endüstriyel Rönesans" yaratmayı hedeflemektedir (European Parliament, 2016). Bununla birlikte, program ulusal hükümetler tarafından uygulamaya bağlıdır. Alman hükümeti 2006 yılında rekabeti korumayı ve teknolojik yeniliği ilerletmeyi amaçlayan araştırma ve yenilik eylemlerini koordine etmek için "Yüksek Teknoloji Stratejisi"ni başlatmış ve üretim süreçlerinin üretkenliğini, verimliliğini, esnekliğini ve dolayısıyla ekonomik büyümeyi artırmak için siber-fiziksel sistemlerin (CPS) ve nesnelerin ve hizmetlerin internetinin (IoTS) entegrasyonunu desteklemeyi amaçlamıştır. 2006 yılından itibaren Avrupa Komisyonu, özellikle yönetim, gizlilik ve esneklik/güvenlik gibi kritik politika konularında, RFID ve nesnelerin interneti konularında geniş çapta tartışmalar başlatmıştır. Avrupa Birliği dijital ekonominin fırsatlarından faydalanabilmek için 2000'li yılların başlarında Lizbon Stratejisi'nin bilgi toplumu hedefiyle başlayan ve sonrasında Avrupa 2020 Stratejisi kapsamında dijital gündem hedefine dönüşen bir sürece girmiştir (Kalkınma Bakanlığı, 2018).

"Büyük durgunluk" olarak da nitelendirilen 2007-2008 küresel ekonomik krizi ülkelerin sanayi politikaları ile ilgili tartışmayı da beraberinde getirmiş ve dünya ekonomisinde imalatın önemini daha da fazla göstermiştir. Krizin yol açtığı durgunluğun uzun süreceğinin anlaşılmasıyla 1980'lerden günümüze kadar hakim olan hizmetler ve finans sektörüne dayalı büyümenin sürdürülüp sürdürülemeyeceği tartışılmaya başlanmış ve ülkeler sanayi politikalarını gözden geçirmeye, alternatif oluşturan yeni sanayi politikaları oluşturmaya başlamıştır. 2008 küresel krizi ülkelerin sermaye birikim-büyüme süreçleri ve sanayi politikası arayışlarında bir dönüm noktası sayılmaktadır (Eser, 2014). Bazı ülkeler ekonomik ve mali krizi doğrudan aşmaya yönelik bazıları ise daha uzun vadeli olmak üzere sanayi politikası girişimleri başlatmışlardır. Özellikle değer zincirinin en üst noktasında yer alan Çin'deki artan üretim payıyla birlikte başta AB'deki sanayi politikası olmak üzere Türkiye, İngiltere, Japonya, Kore, Çin, Brezilya, ABD, Fransa, İngiltere, Hollanda ve Hindistan da dahil olmak üzere birçok ülkede sanayi politikasına olan ilgi dünya çapında yeniden ateşlenmiştir. Bu politikaların birçoğu, üretimdeki paydaki düşüşle nasıl başa çıkılacağı ve değer zincirinde nasıl yukarı çıkılacağı üzerinedir (Warwick, 2013). AB'de, krizden sonraki dönemde 2008 yılında Avrupa ekonomisi için bir kurtarma planı yayınlandı ve bu da Avrupa Komisyonu ile özel şirketler arasında stratejik alanlara ve

faaliyetlere yatırımları desteklemek için aşağıdaki alanlarda Kamu Özel Ortaklıklarının oluşumuna yol açmıştır;

- Geleceğin Fabrikaları (FoF),
- Enerji Verimli Binalar (EeB),
- Sürdürülebilir Proses Endüstrisi (SPIRE),
- Avrupa Yeşil Araçlar Girişimi (EGVI).

İlk kamu-özel ortaklığı yaklaşımın uygulanabilirliği kanıtladıktan sonra yeni ortaklık alanları aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

- Robotik,
- Fotonik,
- Geleceğin interneti (5G) için gelişmiş 5G ağları,
- Yüksek performanslı bilgi işlem (HPC).

Bu ortaklıklar çerçevesinde şirketler, ticaret birlikleri, üniversiteler ve araştırma enstitülerinden oluşan Avrupa Geleceğin Fabrikaları Birliği (EFFRA) de ekonomik ve teknolojik ilerlemeye dayalı olarak araştırma önceliklerini sürekli güncelleyen stratejik yol haritaları üretmektedir. Uzun dönemli ilk stratejik yol haritası, dört endüstriyel ihtiyaç belirlemiştir;

- Akıllı üretim,
- Sürdürülebilir üretim,
- Yüksek performanslı üretim,
- İmalat yoluyla yeni malzemeler kullanmak.

EFFRA, Endüstri 4.0 dalgasını da dikkate alarak, beş temel önceliği belirleyerek Horizon 2020 kapsamında Geleceğin Fabrikaları çalışma programı için önerilerde bulunmuştur;

- Çevik değer ağları,
- Teknolojik varlıklar ile sinerji içinde olabilecek insan yeterlilikleri,
- Üretimde mükemmellik,
- Birlikte çalışabilir dijital üretim platformları ile üretim hizmetlerini birbirine bağlama,
- Sürdürülebilir değer ağları.

Bu ve benzeri teknoloji politikaları Endüstri 4.0 ın bileşini kabul edilen teknolojilerin sosyo-ekonomik yapıyla etkileşimini arttırmasına neden olmuştur.

Son ekonomik krizin ardından, OECD ülkelerindeki ve ötesindeki ülkeler, genellikle büyük ölçüde kısıtlanmış kamu finansmanı bağlamında, potansiyel çıktı artışını güçlendirmenin yollarını aramaktadır. İmalat sanayi, doğrudan zenginlik ve istihdam üretebilen bir sektör olmanın ötesinde, tüm ekonominin temel ayaklarından biridir. Son on yılda, gelişmiş bölgelerde GSYİH'ye göre imalat katma değerinin payı düşmektedir (Tolio, Copani ve Terkaj, 2019). İmalat sanayi büyüme ve istihdamın itici gücüdür. 2012 yılında Amerika Birleşik Devletleri tarafından yayınlana “İleri İmalat için Ulusal Stratejik Plan” raporuna göre; imalat diğer ekonomik faaliyetler içerisinde en büyük çarpan etkisine sahip olan alandır. Rapora göre imalatla harcanan bir dolar, ekonomik aktivitede ilave 1,35 \$'lık bir artış sağlamaktadır. İmalat sektörü sadece AB içerisinde 2 milyon civarında işletmeden oluşmakta ve 33 milyon kişiye istihdam sağlamaktadır. Aynı zamanda ihracatın %80'inden fazlası ve inovasyonun % 80'i imalat sanayine aittir bu yüzden de sürdürülebilir ekonomik büyümenin temel unsurlarından biridir. Bununla birlikte üretimdeki her yeni iş, diğer sektörlerde yarı yarıya istihdam yaratılmasına neden olmaktadır. Ancak sanayinin Avrupa Birliği ekonomisine nispi katkısı azalmaktadır. Avrupa ekonomisi, son 40 yılda endüstriyel tabanının üçte birini kaybetmiştir. 2014'ün üçüncü çeyreğinde, AB'de imalatın ekonomiye kattığı katma değer, 2008'in başından bu yana 1,2 puanlık bir düşüş yaşamış bu da toplam katma değer %15,3'ünü oluşturmaktadır. Emek yoğun işin daha düşük işgücü maliyetleri olan ülkelere (özellikle Çin) ve Avrupa Birliği dışında bulunan tedarikçilerle küresel tedarik zincirlerine taşınması nedeniyle yaşanan bu düşüş diğer gelişmiş ekonomileri de etkilemektedir. 2012 yılında, bu düşüşe yanıt olarak, Avrupa Komisyonu, üretimin 2020 yılına kadar Avrupa Birliği'ndeki toplam katma değer %20'sini temsil etmesi gerektiğini hedeflemiştir. Bazı uzmanlar bu hedefi aşırı iddialı bulurken, birçoğu yeni sanayi devriminin Avrupa endüstrilerinin üretkenliğini ve katma değerini artırabilecek ve ekonomik büyümeyi canlandırabileceğini düşünmektedir. Dahası bilgi ve iletişim teknolojileri alanı AB GSYH'sinin %4'ünü oluşturmakta ve 6 milyon kişinin istihdamını sağlamaktadır. AB'nin BİT sektöründe ürettiği katma değer 580 milyar Avro'ya ulaşmaktadır. Ürün ve hizmetlerde dijitalleşmenin önümüzdeki 5 yıl içerisinde Avrupa'da 110 milyar Avro tutarında ilave katma değer yaratması beklenmektedir (European Parliamentary Research Service, 2015; Kalkınma Bakanlığı, 2018). Mayıs 2015'te başlatılan “Dijital Tek Pazar Stratejisi”nin bir parçası olarak, Avrupa Komisyonu, tüm

endüstriyel sektörlerin yeni teknolojilerden yararlanmasına ve akıllı, endüstriyel sistemine geçişi yönetmesine yardımcı olmak istemektedir. Dijital tek pazar stratejisi ile Avrupa çapında birlik üyelerinin oluşturduğu, çeşitli düzenleyici engeller ve koşullar nedeniyle dağınık halde bulunan 28 ulusal dijital pazarın tek bir pazar haline getirilebilmesi amaçlanmaktadır (European Parliament's Committee on Industry, Research and Energy, 2016; Kalkınma Bakanlığı, 2018). Nisan 2016'da Avrupa'da Dijital Tek Bir Pazar yaratılmasına yardımcı olmak için “Avrupa Bulut Girişimi” başlatılmış ve bu girişimle Avrupa bilim, kamu ve endüstrisi için yüksek miktarda verinin depolanması ve yönetilmesi için altyapı, bağlantı ve işlemci sorunlarının giderilmesi hedeflenmiştir (European Commission, 2016). Ardından artan dijital zorluklarla uyumlu hale getirmek için “Dijital Avrupa” programı hayata geçirilmiş ve bu program çerçevesinde 5 alana odaklanmıştır; süperbilgisayarlar, yapay zeka, siber güvenlik, dijital yetkinlik geliştirme eğitimi, dijital teknolojilerin geniş kullanımı sağlamak. 2022 yılında kullanıma girmesi planlanan Avrupa Yüksek Performanslı Hesaplama Ortak Girişimi – EuroHPC programı ile desteklenen saniyede 1 trilyon işlem gerçekleştirebilecek süperbilgisayarların ise Avrupa'nın geleceği için stratejik bir öneme sahip olduğu düşünülmektedir (Official Journal of the European Union, 2018).

AB üye ülkeleri başta olmak üzere imalat sektöründeki gücünü kaybetmek istemeyen, dijital teknolojilerin sağlayacağı ekonomik faydayı artırmak isteyen birçok ülke dördüncü sanayi devrimi için de eylem planları ve yol haritaları hazırlamıştır. Avrupa Birliği ve Almanya, ulusal imalat üretimlerini artırmak için büyük ölçüde akıllı üretim teknolojilerine dayanan planları desteklemiş ve Alman Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (Bundesministerium für Bildung und Forschung-BMBF) tarafından 2010'da yayınlanan “Yüksek Teknoloji Stratejisi” nin uygulanmasına ilişkin bir raporda, gelecekteki faaliyetler için on alan tanımlamıştır. Bu alanların her biri için, Almanya'daki iş dünyasından, akademiden ve siyasetten kilit aktörlerin inovasyon yaratmak için nasıl iş birliği yapması gerektiği tartışılmıştır. Endüstri 4.0 - Almanca'da “*Industrie 4.0*” bu on alandan biri olmuştur (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2010). Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak 2011 yılında Alman Devleti Yüksek Teknoloji Stratejisi çerçevesinde Kagermann tarafından dile getirilmiş ve bu kapsamda Endüstri 4.0 Projesi hayata geçirilmiştir. 2013 yılında, BMBF Ekonomi-Bilim Araştırma Birliği tarafından Bilgi Teknolojileri, Telekomünikasyon ve Yeni Medya Derneği (BITKOM), Makine Mühendisliği Endüstrisi Derneği (VDMA) ve Elektrik ve Elektronik Üreticileri Derneği (ZVEI) “Endüstri 4.0

Platformu”nu (Plattform Industrie 4.0) oluşturmuş, 2015’de platform genişletilmiş ve makine mühendisliği endüstrisi, elektrik ve elektronik endüstrisi, siyaset, akademi ve endüstri temsilciliğindeki 100’den fazla kuruluştan 250 temsilci platformun bir parçası haline gelmiştir (Plattform Industrie 4.0, 2020).

Almanya imalat alanındaki stratejilerini Endüstri 4.0 girişimiyle sürdürmektedir. Bu girişimi Almanya’nın güçlü olduğu gömülü sistemler, siber-fiziksel sistemler ve nesnelerin interneti konularına verdiği özel önemle ve bu teknolojilerin "akıllı fabrikalara" entegre edilmesine vurgu yaparak desteklemiştir (Acatech, 2013). Amerika, Japonya, Çin, Avusturya, Fransa, İtalya, İsviçre ve İngiltere gibi diğer ülkeler de dijital üretim için önemli adımlar atmış ve stratejilerini yayınlamışlardır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) 2011 yılında Ulusal Robotik Girişimi ve İmalatta Yenilik için Ulusal Ağ Girişimi Başlatmak amacıyla “İleri İmalat Ortaklığı” (Advanced Manufacturing Partnership) programını başlatmış, 2013 yılında “İmalatta Yenilikçilik İçin Ulusal Ağ” (National Network for Manufacturing Innovation) girişimini gerçekleştirerek dijital üretim ve tasarım gibi konuları araştıran ulusal araştırma merkezlerini bir araya getirmek amacıyla 1 milyar ABD Doları tutarında bir kamu finansmanı ile “Ulusal Üretim Yeniliği Ağı” kurulmuştur. Girişim kapsamında, Amerikalı sanayici, üniversite ve devlet kurumlarının imalat teknolojilerini geliştirmek ve ticarileştirmek amacıyla iş birliği yapmaları hedeflenmiştir. Yine 2012 yılında “İleri İmalat İçin Ulusal Stratejik Plan”ını, 2016 yılında da “Ulusal Yapay Zekâ Araştırma ve Geliştirme Stratejik Planı”nı yayımlamaya başlamıştır (White House Office of Science and Technology Policy, 2016). Amerika Birleşik Devletleri'nin son dönemdeki ulusal politika belgelerinde de ileri imalat teknolojileri ve süreçlerinin daha hızlı konuşlandırılmasına özel dikkat gösterilmiş ve genellikle eklemeli imalat, gelişmiş kompozitler, dijital üretim ve tasarım, esnek hibrit elektronik, bütünleşik fotonik, hafif metaller, akıllı üretim, devrim niteliğindeki tekstiller, geniş bant teknolojisi gibi yeni bilim temelli teknolojilerin önemine vurgu yapılmıştır (President’s Council of Advisors on Science and Technology, 2011; 2014). Almanya’nın Endüstri 4.0 stratejisi; son derece gelişmiş bir ekipman imalatı ve bilgi teknolojisi temellerine dayanan akıllı ekipman ve akıllı üretim süreçlerinin geliştirilmesine odaklanırken, Amerika Birleşik Devletleri ayrıca yazılıma, ağlara ve verilere de önem vermektedir (de La Bruyère ve Picarsic, 2020).

2009 yılının ikinci yarısında, Çin’de nesnelerin interneti hakkında gerçekleştirilen bir dizi toplantı sonucunda Çin Başbakanı Wen Jiabao, nesnelerin internetini Çin için ulusal bir

zorunluluk olarak gördüğünü açıklamıştır (Santucci, 2010). 2015 yılında ise Çin Devlet Konseyi, Çin'in büyük bir üretim gücü haline gelmesi, küresel üretimde ilk sıralarda yer alması ve yeni sanayi devrimini kaçırmaması için BİT ve endüstrinin entegrasyonunu hedefleyen “Made in China 2025” (MIC2025) stratejisini duyurdu. MIC2025, toplam 30 yıl sürecek planlamanın ilk 10 yılını kapsamaktadır, plan 10’ar yıllık üç aşamada uygulanacaktır. Made in China 2025, eski üretim faaliyetlerini ortadan kaldıracak ve daha fazla enerji verimliliği, çevre koruma ve kaynakların kullanımını teşvik eden önlemleri içermektedir (Wübbeke vd., 2016). MIC2025 çerçevesinde; yeni nesil bilgi teknolojileri, bilgisayar kontrollü makine aletleri ve robotlar, havacılık ekipmanları, son teknoloji gemiler, gelişmiş demiryolu taşımacılığı, yeni enerji araçları, güç ekipmanları, tarım makineleri ve ekipmanları, yeni ve gelişmiş malzemeler, biyotıp ve yüksek performanslı tıbbi cihazlar olmak üzere 10 anahtar alanda atılım yapılması hedeflenmektedir. MIC2025, sanayileşme ve bilişimin entegrasyonunu amaçlamaktadır ve ister robotlarda ister havacılık ekipmanlarında olsun, yeni nesil akıllı üretime hakim olmak için alet ve ekipman üretme kapasitesini genişletmeyi amaçlamaktadır. MIC2025 stratejisinin amacı, sadece teknolojik ilerlemenin elde edilmesi değil Çin’in 21. yüzyıl küresel ekonomisinin temelini oluşturacak modern ağların, teknik standartların ve teknoloji platformlarının oluşturulmasında da söz sahibi olabilmesini sağlamaktır (Wübbeke vd., 2016). Bunun için ileri teknolojik ve endüstriyel kapasite gerektiğinden Çin bu alanlara yatırım yapma kararı almıştır. Ayrıca küresel olarak güçlü olan rakipleri ile doğrudan rekabet yerine yabancı şirketler, hükümetler ve kurumlarla ortaklıklarını kullanmayı tercih ettiği stratejiye “kazan-kazan iş birliği” adını vermektedir. Bu iş birliği çerçevesinde diğer ülkelerden elde edilecek teknolojik yeniliğin geliştirilmesi ve ölçeklendirilmesi hedeflenmektedir. Made in China 2025 stratejisi, Almanya’nın Endüstri 4.0 girişiminden büyük ölçüde etkilenmiştir ve Çin, stratejinin hedeflerine ulaşmak için Alman kurumlarıyla iş birliği içerisine girmiştir (Wübbeke vd., 2016). Çin, Almanya’dan teknoloji ve uzmanlık transfer ederken Almanya’ya bu teknolojilerin kullanılacağı ağları, platformları ve oluşturulacak standartları ihraç etmeyi hedeflemektedir. Çin’in Almanya’nın üretim yeteneklerini yakalamak için uyguladığı bu iş birliği stratejisi 1984 yılında Volkswagen ve Şanghay Otomotiv (şimdiki SAIC) arasındaki ortaklık ile başlamıştır. Çin’in sanayi stratejisi, gelişmiş ülkelerden teknoloji elde etmek için iş birliği ve sermayeden yararlanmaya, ardından bu teknolojiyi uluslararası ölçekte ölçeklendirip sonrasında teknolojinin geldiği ülkelerde uygulamaya dayanmaktadır (de La Bruyère ve Picarsic, 2020).

Japonya’da ise son zamanlarda yayınlanan politika raporlarında, gelişmiş robotlar ve yapay zeka (AI) entegrasyonuna ve uzman tedarik zincirleri arasında yeteneklerin entegrasyonuna vurgu yapılmaktadır (Japanese Ministry for Economics (METI), 2015a, 2015b). Japonya “IoT çağında robotlar” ile dünyaya liderlik etmek için stratejik bir fırsat elde etmiş ve üretim inovasyon politikalarında üretim tesislerindeki robotlar için yazılım ve destek araçları, robotların kullanımında küresel standartların geliştirilmesi ve robotik için birikmiş verilerden değer fırsatları yaratabilecek ilgili yapay zeka teknolojilerine öncelik vermişlerdir (Robot Revolution Realization Council, 2015).

İtalya, “La Fabbrica del Futuro (2012-2018)” projesi ile ürünlerin özelleştirilmesi, yeniden yapılandırılabilir fabrikalar, yüksek performans ve sürdürülebilirlik gibi alanlarda araştırma girişimlerini desteklemiştir. Proje, bilgi ve iletişim teknolojileri, malzeme geri dönüşümü, kontrol sistemleri, fabrikanın yeniden yapılandırılması, kalite kontrol ve insan-makine etkileşimi alanlarında teknolojilerden yararlanarak, üretimde kaliteyi, esnekliği ve özelleştirmeyi artırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca İtalya Endüstri 4.0 için ulusal bir planını (Piano Nazionale Impresa 4.0) yayınlarak endüstrinin dijitalleşmesine yönelik imalat şirketlerine yatırımları teşvik etmiştir (Tolio, Copani ve Terkaj, 2019). Birleşik Krallık, üretimi daha duyarlı, daha sürdürülebilir, yeni pazarlara daha açık ve kalifiye işçilere daha bağımlı hale getirmek için bir dizi politika başlatmış, 2013’de “İmalatçılığın Geleceği Birleşik Krallık İçin Yeni Bir Fırsat ve Meydan Okuma Çağı” raporunu yayınlamış ve şirketlerin gelişmiş üretim ve süreç yeniliği gibi özel alanlarda araştırma ve uzmanlığa erişmesine yardımcı olan ve “Katapult merkezleri” olarak adlandırılan yüksek değerli üretim merkezleri kurmayı amaçlamıştır. 2011 yılından bu yana 200 milyon £’dan fazla devlet finansmanı alan bu merkezlerin amacı, imalatın GSYH’ye katkısını ikiye katlamaktır. Buna ek olarak, 2012 yılında ülke, “Gelişmiş Üretim Tedarik Zinciri Girişimi” fonu aracılığıyla yeni kurulmuş tedarikçilere 170 milyon £ fon sağlamıştır. Nisan 2015’te Fransa, “Geleceğin Fabrikası” planını başlatarak robotik, dijitalleştirme veya enerji verimliliği projelerine başlamak isteyen KOBİ’lere 1 milyar Euro’luk krediyle küçük ve orta ölçekli işletmelere yardıma özel bir vurgu yapılmıştır. Bu yeni plan ve aynı endüstriyel destek programındaki diğer altı plan (robotik, nesnelerin interneti, büyük veri, yüksek performanslı bilgi işlem, bulut bilişim ve artırılmış gerçeklik) “Endüstrinin Endüstrisi” adı verilen daha geniş bir çerçevede bir araya getirilmiştir.

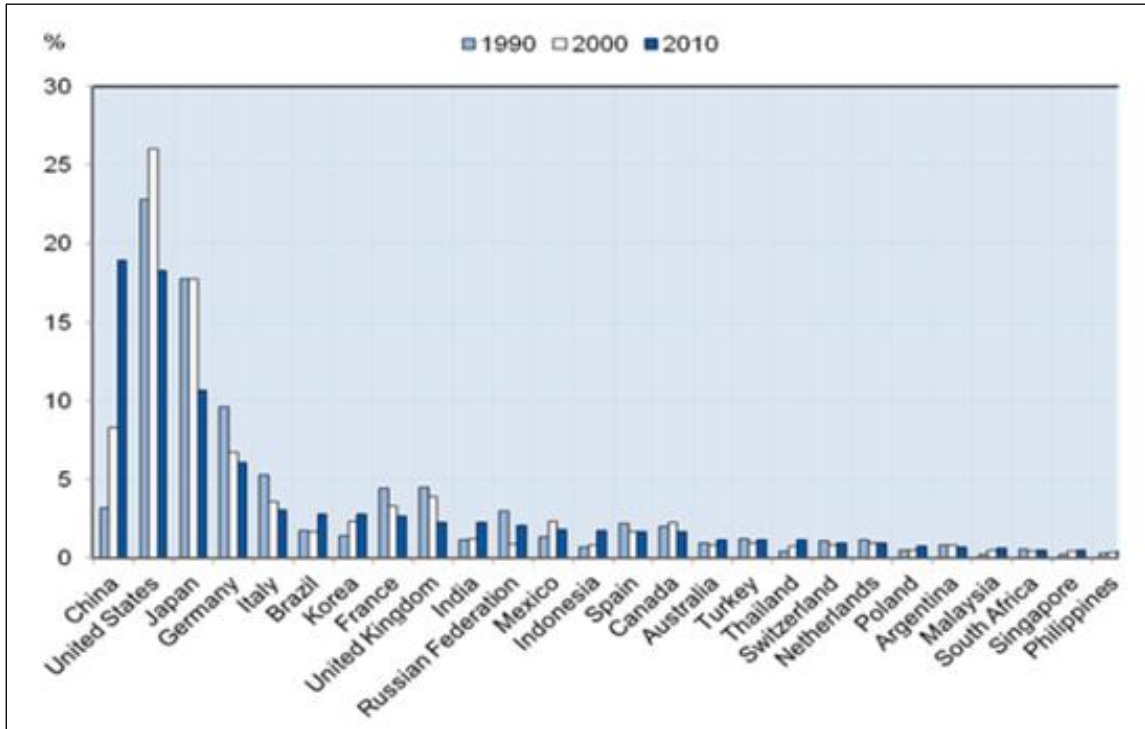
Türkiye’de Endüstri 4.0 çalışmaları imalat sanayinin dijital dönüşümü politika ve stratejileri çerçevesinde ilerlemekte ve “Sanayide Dijital Dönüşüm” olarak adlandırılmaktadır. Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu (BTYK), Şubat 2016’da “akıllı üretim sistemlerine yönelik çalışmaların yapılması” kararını almış ve bu karar ile Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB) ve TÜBİTAK görevlendirilmiştir. Karar kapsamında TÜBİTAK tarafından ‘Akıllı Üretim Sistemlerine Hizmet Eden Kilit ve Öncü Teknolojiler’in belirlenmesi amacıyla Nisan-Kasım 2016 tarihleri arasında yürütülen bir dizi çalışmanın ardından Aralık 2016’da TÜBİTAK tarafından “Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası” raporu hazırlanmıştır. “Dijitalleşme, Etkileşim ve Geleceğin Fabrikaları” ana başlıkları altında 3 teknoloji grubu oluşturularak kritik teknolojiler, stratejik hedefler ve kritik ürünler tespit edilmiştir (ab.gov.tr; sbb.gov.tr; tubitak.gov.tr).

BSTB tarafından sanayinin dijital dönüşümüne yönelik olarak belirlenen ulusal politika çerçevesinde yapılan çalışmalar kapsamında, ilgili sivil toplum kuruluşları ve kamu kurum ve kuruluşları ile toplantılar gerçekleştirilerek mevcut durum ve dünyadaki gelişmeler, ülke politika ve stratejileri incelenerek, ilgili tarafları kapsayıcı “Sanayide Dijital Dönüşüm Platformu” adıyla bir platform oluşturulmuştur. Sanayide Dijital Dönüşüm Platformu, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı öncülüğünde Türkiye Odalar Borsalar Birliği, Türkiye İhracatçılar Meclisi, Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği, Müstakil Sanayici ve İşadamları Derneği, Uluslararası Yatırımcılar Derneği ve Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı işbirliğinde 2016 yılında çalışmalarına başlamıştır. Platformun amacı; sanayinin rekabet gücünün artırılabilmesi ve sürdürülebilir kılınması, üretimde verimlilik artışı sağlanması, işgücü niteliğinin sürekli iyileştirilmesi, akıllı üretim sistemlerinin hayata geçirilmesi ve değer zincirinin tüm halkalarında teknolojinin sunduğu imkânlardan faydalanılması için gerekli politikaların oluşturulması ve hayata geçirilmesi için etkili işbirliğinin sağlanmasıdır. Çalışma grupları; sanayide dijital teknolojiler ileri üretim teknikleri, açık inovasyon, eğitim, altyapı ve atandardizasyon, mevzuat, patent olmak üzere 6 başlık altında oluşturulmuş ve ilgili alanlarda eylem planlarının oluşturulması amacıyla çalışmalar yürütülmüştür.

Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanmış 2018-2020 yılları için Orta Vadeli Program kapsamında sanayinin dijital dönüşümü (katmanlı üretim, robotik, nesnelerin interneti, büyük veri, yapay zekâ, artırılmış gerçeklik teknolojilerinin etkin kullanımı ve bunların

yerli üretimi) yol haritasının tamamlanması ve büyük organize sanayi bölgelerinde tasarım ve dijital dönüşüm merkezlerinin kurulması hedefleri yer almaktadır.

Ülkelerin sanayi politikalarına olan ilgisin ardında yatan en önemli nedenlerden biri de küreselleşme nedeniyle son dönemde dünya ekonomisinin coğrafi/mekansal haritasının değişmiş olması bulunmaktadır. Ayrıca coğrafi değişiklik sanayi yapısında da önemli ayrışmalara neden olmuştur. Amerika ve Çin arasında yaşanan rekabet, Asya kapitalizminin yükselişi, ucuz işgücü maliyetleri nedeniyle üretimin kaydığı G-20 ülkeleri ve bu ülkelerin içinden çıkan BRICS ülkelerinin (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) dünyanın üretim üssü haline gelmeleri kapitalizmin mekansal haritasının değişmesine yol açmıştır (Eser, 2014). Şekil 2.4’de görüleceği üzere; 2010 yılında Çin, dünyanın en büyük üreticisi olarak ilk kez ABD’yi geride bırakmış ve mevcut verilere göre liderliğini genişletmeye devam etmektedir. Dahası, Çin, yapay zeka ile inşa edilen endüstriyel robotiklere yönelik hamlede şiddetle küresel liderliği ele almakta ve “Made in China 2025” adlı sanayi politikasıyla da büyümesine öncelik vermektedir. Kore "Üretim Yeniliği 3.0" stratejisi ile akıllı üretim teknolojilerine yönelik rehberlik sağlayan ve finansman yönlendiren açık ülke politikaları ve stratejilerine sahipken Japonya “Toplum 5.0” stratejisi ile bu süreci yönetmektedir.



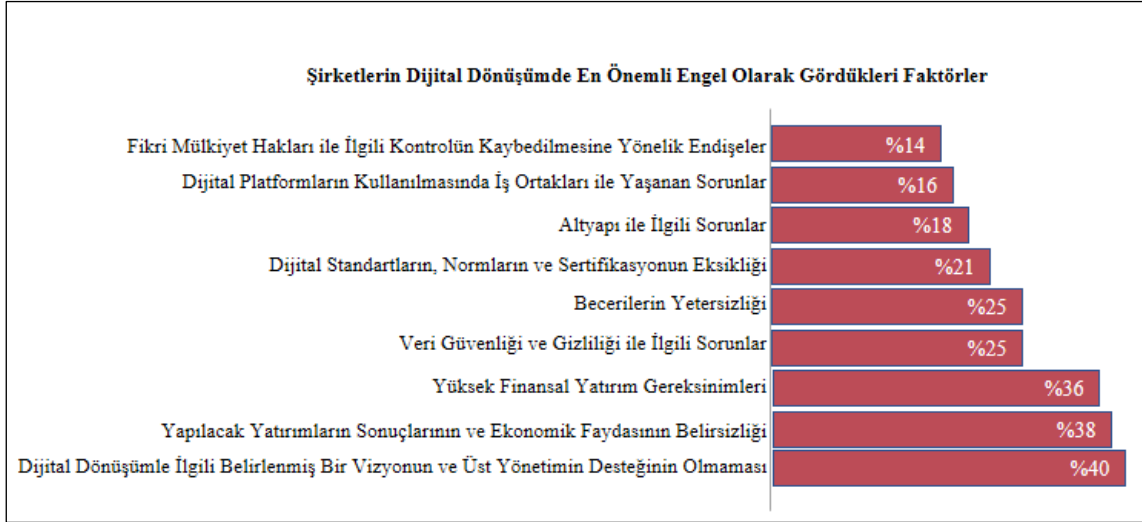
Şekil 2.4. Küresel üretim katma değerinin ülkelere göre payı (Warwick, 2013)

Küreselleşme sonucunda büyük şirketler üretimlerini parçalara bölerek mekandan bağımsız üretme fırsatı yakalamış ve maliyet avantajı sağlamak için üretimin çeşitli aşamalarını üretim maliyetlerinin düşük olduğu ülkelere kaydırmıştır. TÜSİAD ve BCG'nin birlikte yaptığı ve Mart 2016'da açıkladığı "Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gerekliklik Olarak Sanayi 4.0 Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi" raporunda yer alan üretim ücretleri, verimlilik, enerji maliyetleri ve döviz kurları dikkate alınarak oluşturulan BCG Global "Üretim Maliyeti Endeksi"ne göre; Hindistan 87, Çin 96, Türkiye 98 ortalama birim maliyet ile üretim yaparken Amerika 100, İngiltere 108, Almanya 121, Fransa 124 ortalama birim maliyetle üretim gerçekleştirmektedir. Gelişmiş ülkeler yeni ekonomik coğrafyada üretim maliyetlerini kontrol altına almak için işgücü ve kaynak maliyetlerini düşürememeleri nedeniyle teknoloji odaklı üretime yönelmişlerdir. Bu nedenle üretimde emek-kaynak yoğun ve düşük teknoloji makine yerini orta ve yüksek teknoloji makine ve teçhizatla değiştirmeyi zorunlu kılmıştır. Bilgiye ve teknolojiye dayalı üretim ise insan gücü eğitimi, teknolojiye olan yatırımı, firma içi süreçlerin yenilenmesini ve ulusal inovasyon politikalarını kritik faktörler haline getirmiştir. Dolayısıyla üretimin giderek yüksek teknoloji üretim kompleksine doğru kayması ve ileri üretim teknolojilerindeki gelişmeler ucuz ve düşük nitelikli işgücünün üretimdeki avantajının azaltmasına neden olmaktadır (Eser, 2014). Bu durum üretim zincirinin büyük bölümünün maliyet düşük ülkelere kaymasının önüne geçmek isteyen, imalat ekonomisinden gelen gücü kaybetmek istemeyen ülkeleri akıllı üretim teknolojilerini kullanarak üretim maliyetlerini düşürmeye yöneltmiştir. Sanayideki bu dönüşüm ülkelere önemli rekabet üstünlüğü sağlayacağı gibi, lojistik avantajı ve düşük işgücü maliyetinden doğan avantajlara sahip olan ülkemizde bu dönüşümün kaçırılması durumunda mevcut avantajlar geçerli olamayacaktır (TÜBİTAK, 2016). Kalkınma Bakanlığı tarafından 2019-2023 dönemi için hazırlanan Onbirinci Kalkınma Planında belirtildiği gibi; rekabet gücümüzün devamı, daha güçlü bir ekonomik altyapı ve yeni dünyanın önemli bir aktörü olabilmek için bu yeni yaklaşımı iyi analiz ederek süreci kendimize uyarlamak hayati bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.4.6. Zorluklar ve tehditler

Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan çalışmalarda bazı zorluk ve tehditler dile getirilmiştir. Bunların başında; kalifiye iş gücü eksikliği, teknoloji kullanımından kaynaklanan işsizlik endişesi, firmaların yeni çıkan teknolojileri benimsemesinin önündeki engeller, birlikte çalışılabilirlikle ilgili yaşanabilecek olumsuzluklar, gizlilik kaygıları, standartlardaki

eksiklikler ve yatırım maliyetlerinin geri dönüşümü ile ilgili riskler yer almaktadır. PwC'nin yaptığı küresel anket çalışmasına göre şirketlerin dijital dönüşümde en önemli engel olarak gördükleri faktörler Şekil 2.5'deki gibidir. Şirketler altyapı, standartlar ve kanunlar gibi dış kaynaklı sorunlardan daha çok liderlik, dijital kültür, organizasyon ve beceriler gibi iç yapıları daha büyük engel olarak görmektedir;



Şekil 2.5. Şirketlerin dijital dönüşümde en önemli engel olarak gördükleri faktörler (PwC, 2016)

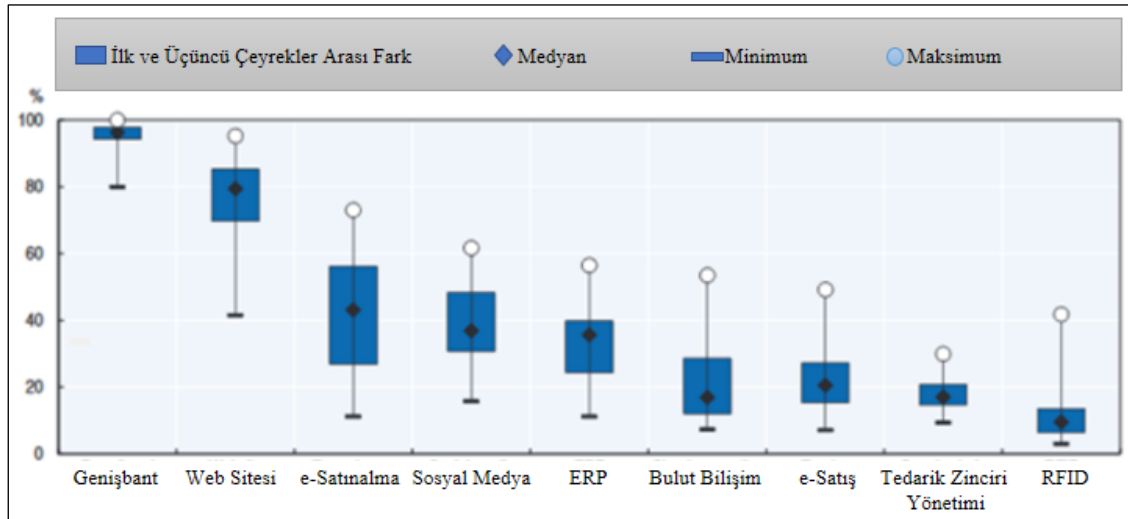
Teknolojik gelişmeler ekonomik büyümeye katkı sağlarken işgücü piyasaları için başlangıçta olumsuz etkileye sahip olabilmektedir. Dijital teknolojilerin istihdam üzerindeki etkilerine ilişkin artan endişeler son zamanlarda sıklıkla dile getirilmiştir; Frey ve Osborne (2017), ABD'deki toplam istihdamın yaklaşık %47'sinin bilgisayarlaşma riski altında olduğu sonucuna varmışlardır. PEW (2014) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan ankette teknoloji uzmanlarının %48'inin dijital teknolojilerin yaygın işsizliğe yol açacağından endişe duyduğunu ortaya koymuştur. Teknolojinin işsizliğe neden olacağı ile ilgili endişeler yeni değildir. Teknolojik gelişmelerin insanoğluna getireceği sorunlar 1800'lü yılların başında da endişe verici olmuştur. 1811-1816 yılları arasında işçiler tarafından yapılan ve Luddizm olarak bilinen makinelerle sabotaj eylemleri düzenlenmiştir. Bu eylemlerin altında yeni geliştirilen tekstil makinelerinin el işçisi tekstilcileri aç bırakacağı düşüncesi yatmaktadır (Toksoy, 2019). Ondokuzuncu yüzyılın başlarında İngiltere'deki tekstil üretiminin makineleşmesine karşı "Luddite" protestolarından önce bile, birçok üretim teknolojisi işgücü piyasasında bozulma korkusu uyandırmıştır. "Teknolojik işsizlik" terimi 1930'da John Maynard Keynes tarafından icat

edilmiştir. Bu korkuların çoğu haksız çıkmış olsa da Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan tartışmalarda yeni teknolojilerin istihdam sorununa neden olacağı ile ilgili endişeler sürmektedir. Verimlilikte teknolojiye dayalı bir artış ekonomiyi; daha yüksek işçi ücretleri veya daha yüksek karlar yoluyla fayda sağlar. Düşük çıktı fiyatları tüketicilerin reel gelirlerini artırır. Bu, diğer mal veya hizmetler için talebi artırabilir. Ve daha yüksek işçi ücretleri, diğer pazarlarda talebi ve iş yaratmayı artırabilir. Bu yeni gelirin tamamını veya bir kısmını harcayabilecek hissedarlara daha yüksek kar dağıtılır ve bu da toplam talebe eklenir. Hissedarlar ve çalışanlar arasında tasarruflardaki artış, faiz oranlarını düşürüp yatırımı artırarak istihdam yaratacaktır (OECD, 2017). Benzer şekilde ABD'nin "İleri İmalat İçin Ulusal Stratejik Plan"ına göre imalatla teknolojiye dayalı iyileştirmelerin ekonomi genelinde zaman içinde sürekli olarak istihdam artışı sağladığı ifade edilmektedir. Ancak istihdam konusunda hangi işlerin kaybolacağı hangilerinin ortaya çıkacağı gibi yaşanacak değişikliğin süresini kestirmek mümkün değildir. Yeni teknolojinin getirdiği spesifik çalışma türlerini tahmin etmek genellikle zor olmuştur. Örneğin, 1980'lerin başında kişisel bilgisayarın piyasaya sürülmesinden sonra, web tasarımcılarından veritabanına kadar işgücü piyasasında 1500'den fazla yeni iş başlığı ortaya çıkmıştır (OECD, 2017). Yeni teknolojilerin mevcut işleri nasıl dönüştürebileceğini kesin olarak tahmin etmek de mümkün değildir. Her ne kadar yeni teknolojiler bütün sektörlerde ve mesleklerde çalışmanın doğasını önemli ölçüde değiştirecek olsa da en temel belirsizlik otomasyonun işgücünü ne ölçüde ikame edeceği, bunun ne kadar zaman alacağı ve ne kadar ilerleyeceğidir (Schwab, 2017:44).

Büyük veri, mantıksal analiz, yüksek hızlı iletişim 3 boyutlu yazıcılar gibi gelişmiş teknolojilerin giderek artan kullanımı yaratıcılık ve tasarım gerektiren yeni tür becerilere olan talebi artırmıştır. Rutin işlerde çalışan işçilere olan talep her geçen gün azalırken uzmanlık ve bilişsel beceri isteyen işlerde çalışan işçilere olan talep artmaktadır. Bu değişim iktisatçılar tarafından "beceri odaklı teknolojik değişim" olarak adlandırılmaktadır (Brynjolfsson ve McAfee, 2015:161). Uzmanlık becerilerindeki eksiklik şirketler tarafından bilgi ve iletişim teknolojilerinin benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Yapılan çalışmalarda iş dünyasında veri analitiğinin kullanımının önündeki en büyük engellerden biri yetenekli veri uzmanlarının eksikliği olarak görülmektedir (Lichtblau vd., 2015). Teknik becerilerin azlığı genellikle BİT'lerin üretkenlik potansiyeline ilişkin farkındalık eksikliğine neden olmaktadır. Bu, özellikle organizasyonlarını dönüştürmede zorluklarla karşılaşan firmalar için geçerlidir. Almanya'da dijital değişimin beceriler ve istihdam

üzerindeki etkisi üzerine yapılan bir çalışmada (Hammermann ve Stettes, 2016) işletmelerin başarılı dijital dönüşümü için "planlama ve organize etme, özerk hareket etme becerisinin" önemine işaret edilmiştir. Ancak özellikle dijital dönüşümün başlangıcında olan işletmelerde bilgi ve iletişim teknolojileri işleri dönüştürmek yerine sadece işleri iyileştirmek için kullanılmaktadır. Teknolojiye odaklanma tuzağına düşen şirketler, bilgi ve iletişim teknolojilerini işlerini dönüştürmek için kullanmak yerine yalnızca işlemlerini iyileştirmek için kullanmakta ve beceri odaklı istihdamın önemini göz ardı etmektedir (OECD, 2017).

Endüstriyel üretimin dijitalleşmesi işletmelerde bilgi ve iletişim teknolojilerin yayılmasını gerektirir. Bununla birlikte, birçok işletme bilgi ve iletişim teknolojilerini benimsemekte gecikmektedir. Bulut bilişim, kurumsal kaynak palnlaması yazılımları, nesnelerin interneti ve radyo frekansı tanımlama (RFID) uygulamalarının firmalar tarafından benimsenmesi geniş bant ağları veya web sitesi kullanımlarının çok altındadır. Bununla birlikte, endüstriyel üretimin dijitalleşmesini sağlayan ise bu gelişmiş bilgi ve iletişim teknolojileridir. Bu teknolojilerin kullanımının önündeki en büyük engeller yüksek yatırım maliyetleri, vasıflı personel eksikliği, güvenlik riskleri ve standartların olmaması gelmektedir. OECD tarafından (2017) yapılan bir araştırmaya göre OECD ülkeleri içerisinde şirketlerin teknoloji adına benimsedikleri araçların kullanımı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir;



Şekil 2.6. BİT araçlarının şirket içinde benimsenme ve yayılma hızı (OECD, 2017)

IoT gibi uygulamaların kullanımında yaşanan bir problemde birlikte çalışılabilirliktir. Farklı üretici ve tedarikçiler IoT cihazlarını ve uygulamalarını kullanmaya başladıklarında

farklı sistemlerde veya ağılarda kullanırken standartlar konusunda bir fikir birliği bulunmadığından sorunlar yaşanma ihtimali yüksektir. Dünya Ekonomik Forumu'nun yapmış olduğu ankete göre (WEF, 2015) şirketlerin IoT kullanımını benimsenmesinin önündeki en büyük üç engelden biri birlikte çalışılabilirliktir.

Veri analitiği ve yapay zeka destekli uygulamalar daha yaygın hale geldikçe ve gerekli düzenlemeler yapılmadığında bu uygulamalar sosyal ve ekonomik açıdan güvenlik sorunlarına neden olabilir. Büyük veri analitiği, bulut bilişim ve IoT uygulamaları gizlilik, fikri mülkiyet hakları, tüketicinin korunması, rekabet ve vergilendirme ile ilgili ciddi endişelere neden olabilir. Dijital endüstriyel üretime geçişte mevcut düzenleyici çerçevelerin tekrardan değerlendirilmesi, veri analitiği, bulut ve yüksek performanslı bilgi işlem ve IoT gibi teknolojilerin yanı sıra güvenliği ve gizliliği artıran teknolojilere olanak sağlamak için Ar-Ge yatırımlarının desteklenmesi önem kazanmaktadır (OECD, 2017).



3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında literatür araştırması iki aşamada incelenmiştir. İlk aşamada olgunluk modeli kavramı, özellikleri ve kullanım alanları anlatıldıktan sonra farklı sektörlerde uygulanmış, verimliliği kabul edilmiş, yaygın kullanım alanına sahip olan model ve metodolojiler aktarılmıştır. İkinci aşamada ise literatürde yer alan Endüstri 4.0 olgunluk modellerine ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

3.1. Olgunluk Modeli

Olgunluk modelleri, olgunlaşan öğelerin yeteneklerini derecelendirmek ve öğeleri daha yüksek bir olgunluk düzeyine taşımak için gerekli adımları belirlemek amacıyla kullanılan araçlardır. Bilişsel bilimden iş uygulamaları ve mühendisliğe kadar uygulama alanları çok yaygın ve çeşitlidir. Olgunluk modelleri kavramı, sürekli gelişimi vurgulayan toplam kalite yönetimi programlarından doğmuştur. Sürekli iyileştirme, şirketin yetenekleri ve ürün ve hizmetlerinin kalitesi ile ilgili nerede konumlandığının bilinmesini gerektirir. Bu konumlandırma, şirketin hedefleri, dış gereksinimleri veya kıyaslamalar ile bir karşılaştırma içermelidir. Bununla birlikte, bir şirketin pozisyonunun objektif bir değerlendirmesine ulaşmak çoğu zaman zor bir görevdir. İncelenen şirketin her bir yönü için, bir şirketin mevcut durumunu değerlendirmek ve ona belirli bir kalite veya derece atamak için neyin ölçülmesi gerektiği, nasıl ölçülmesi gerektiği ve neyle karşılaştırılacağı sorulmalıdır. Bu nedenle bir şirketin mevcut durumunu değerlendirmek, iyileştirme adımlarını belirlemek ve önceliklendirmek ardından da bunların uygulanmasının ilerlemesini kontrol etmek için destekleyici araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Olgunluk modelleri birçok alanda kullanılmaktadır. En yaygın kullanıldığı alanlardan bazıları; süreç yönetimi olgunluk modelleri, kapasite olgunluk modeli, bilgi teknolojisi olgunluk yönetimi, işletme mimarisi olgunluk modeli, inovasyon yönetimi olgunluk modeli ve bilgi yönetimi olgunluk yönetimidir. Olgunluk modelleri, bu sorunları ele almak için yararlı araçlardır (de Bruin, Freeze, Kulkarni ve Rosemann, 2005). Olgunluk modellerinin ilk örnekleri Maslow'un 1954 yılında geliştirdiği ihtiyaçlar hiyerarşisi, Kuznets'in 1965 yılında ekonomik büyüme modeli ve Nolan'ın kuruluşlarda bilgi teknolojilerinin gelişimi için geliştirdiği aşamalı ilerleme modelleri olarak gösterilebilir (Pöppelbuß ve Röglinger, 2011). Olgunluk modellerine temel oluşturan ilk model ise 1986 yılı Kasım ayında başlayan bir çalışma neticesinde Carnegie Mellon Üniversitesi Yazılım Mühendisliği Enstitüsü'nde geliştirilen ve 1991 yılında yayınlanan "Capability Maturity Model" (CMM)

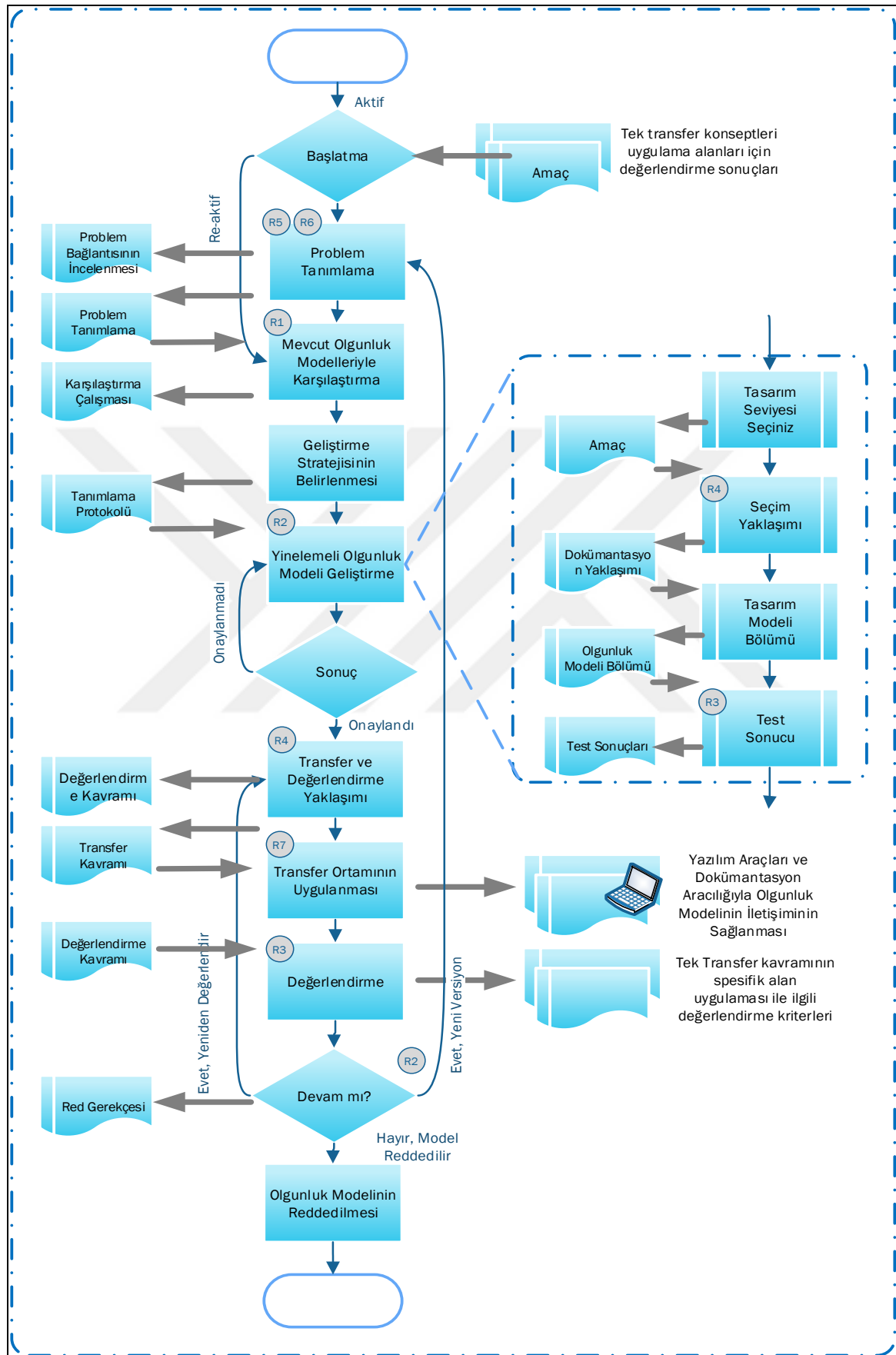
olmuştur (Curtis ve Alden, 2007:2). CMM'nin başarısı ve gördüğü ilgi, başta süreç yönetimi olgunluk modelleri olmak üzere birçok alan için olgunluk modellerinin geliştirilmesinin ve yaygınlaşmasının önünü açmıştır. Son dönemdeki literatür, olgunluk modellerine artan bir akademik ilgi olduğunu bildirmektedir (Becker, Knackstedt ve Pöppelbuß, 2009). Literatürde bildirilen birçok olgunluk modeli olmasına rağmen, bir olgunluk modelinin nasıl geliştirileceğine ilişkin bilgi yeterince bulunmamaktadır.

Bilişim sistemleri araştırması; insanlar, organizasyonlar ve teknolojinin ara bölümünde yer alır (Silver, Markus ve Beath, 1995). Bilişsel bilime, örgütsel teoriye, yönetim bilimlerine ve bilgisayar bilimlerine dayanır ve bunlara katkıda bulunur. Organizasyonel ortamlarda bilgi sistemi yapılarının analizi, inşası, konuşlandırılması, kullanımı, değerlendirilmesi, evrimi ve yönetimi ile ilgili hem örgütsel hem de teknik bir disiplindir (Hevner vd., 2004). Olgunluk modelleri, bir şirketin mevcut durumunun değerlendirilmesinin yanı sıra makul iyileştirme önlemlerinin belirlenmesine izin verdiği için bilgi teknolojileri yöneticileri için değerli araçlardır. Bilgi teknolojileri yönetiminin bütünsel değerlendirmelerinin yanı sıra belirli alt alanların değerlendirmelerini (iş süreçleri yönetimi, iş zekası uygulamaları gibi) içeren geniş bir yelpazedeki farklı uygulama alanlarını ele alan çok sayıda olgunluk modeli bulunmaktadır. Olgunluk modelleri, bir şirketin mevcut durumunun değerlendirilmesinin yanı sıra makul iyileştirme önlemlerinin belirlenmesine izin verdiği için bilgi teknolojileri yöneticileri için değerli araçlardır. Bilgi teknolojileri yönetiminin bütünsel değerlendirmelerinin yanı sıra belirli alt alanların değerlendirmelerini (iş süreçleri yönetimi, iş zekası uygulamaları gibi) içeren geniş bir yelpazedeki farklı uygulama alanlarını ele alan çok sayıda olgunluk modeli bulunmaktadır. Bazı araştırmalar olgunluk modeli tasarım sürecine, diğerleri ise tasarım ürünleri olarak olgunluk modellerinin niteliklerine ve bileşenlerine atıfta bulunmaktadır (Becker vd., 2009; Hevner vd., 2004). Sayıca fazla ve uygulamada geniş alana sahip olmasına karşılık olgunluk modellerinin geliştirilmesine yönelik uygulanan metodolojilerde eksiklikler bulunmaktadır. Becker vd. (2009) ve de Bruin ve diğerleri (2005) literatürde bulunan bu eksikliği gidermek için olgunluk modellerinin geliştirilmesine ilişkin gereksinimler önermiştir. Bu çalışmada elde edilen olgunluk modeli için her iki çalışma da dikkate alınmıştır.

Becker vd. çalışmalarında de Bruin ve Freeze'nin olgunluk modeli oluşturmak için geliştirdikleri 7 yönergeyi temel alarak bir olgunluk modelinin sahip olması gereken 8

özellik belirlemiş ve olgunluk modeli geliştirme prosedürü oluşturmuşlardır (Şekil 3.1). Becker vd.'ne göre bir olgunluk modeli aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

- Yeni bir olgunluk modeli geliştirilirken mevcut modellerle karşılaştırılarak doğrulanmalıdır (R1),
- Olgunluk modelleri yinelemeli olarak geliştirilmelidir (R2),
- Sonuçların değerlendirilmesinde uygun bilimsel metodlar kullanılmalıdır (R3),
- Olgunluk modellerinin geliştirilmesinde ve değerlendirilmesinde bilimsel temellere dayanan çoklu metodolojik yaklaşımlar kullanılmalıdır (R4),
- Olgunluk modeli mevcut problemin çözümüne uygun olmalıdır (R5),
- Olgunluk modelinin hangi alanlarda ve koşullarda uygulanacağı, amaçlanan faydalarının neler olacağı tasarımdan önce belirlenmelidir (R6)
- Olgunluk modelinin sunumu modelin uygulanacağı koşullara ve kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun olmalıdır (R7),
- Olgunluk modelinin tasarım süreci, sürecin her adımı, dahil olan taraflar, uygulanan yöntemler ve sonuçlar ayrıntılı bir şekilde dokümante edilmelidir (R8).



Şekil 3.1. Olgunluk modeli geliştirme prosedürü (Becker vd.,2009)

Olgunluk modelleri temel olarak, kurumsal yeteneklerin beklenen, istenen veya mantıksal bir olgunlaşma yolu boyunca aşama aşama nasıl geliştiğine dair teorileri temsil eder (Kazanjian ve Drazin, 1990). Amaç, eksik yetenekleri teşhis etmek ve ortadan kaldırmaktır. Uygulamaya yönelik özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Becker vd., 2009; de Bruin vd., 2005):

- Tanımlayıcıdır: Bir olgunluk modeli, araştırılan kuruluşun mevcut yeteneklerinin verilen kritere göre değerlendirildiği durumlarda olduğu gibi uygulanırsa, tanımlayıcı bir kullanım amacına hizmet eder. Olgunluk modeli tanısal bir araç olarak kullanılmaktadır (Becker vd. 2009).
- Belirleyicidir: Bir olgunluk modeli, arzu edilen olgunluk seviyelerinin nasıl tanımlanacağını gösterir ve iyileştirme önlemleri hakkında kılavuzluk sağlarsa, kuralcı kullanım amacına hizmet eder (Becker vd. 2009).
- Karşılaştırmalıdır: Olgunluk modeli, dahili veya harici kıyaslama yapılmasına izin veriyorsa karşılaştırmalı kullanım amacına hizmet eder. Çok sayıda değerlendirme katılımcısından geçmişe dayalı yeterli veriler göz önüne alındığında, benzer iş birimlerinin ve kuruluşların olgunluk seviyeleri karşılaştırılabilir (de Bruin vd., 2005).

Fraser, Moultrie ve Gregory (2002)'e göre bir olgunluk modelinin bileşenleri şu şekildedir: seviyeler, tanımlayıcılar, her seviye için açıklamalar, boyutlar, işlem alanları, her işlem alanı için eylemler ve belirli bir olgunluk düzeyinde gerçekleştirilen her bir faaliyetin tanımı. Model tabanlı iyileştirmede, bir kuruluş için doğal eylem seyri ilk olarak mevcut durumunu belirlemektir, ardından organizasyon mevcut yetenek seviyesi ile hedeflenen yetenek seviyesi arasındaki sapmayı belirlemek için bir boşluk analizi yapılır. Bu prosedür değerlendirme olarak adlandırılır. Hedeflenen seviyeden sapma belirlendikten sonra süreç iyileştirme arayışı, boşluğu doldurmak için hangi görevlerin yerine getirilmesi gerektiği ortaya konulur (Uskarcı, 2017).

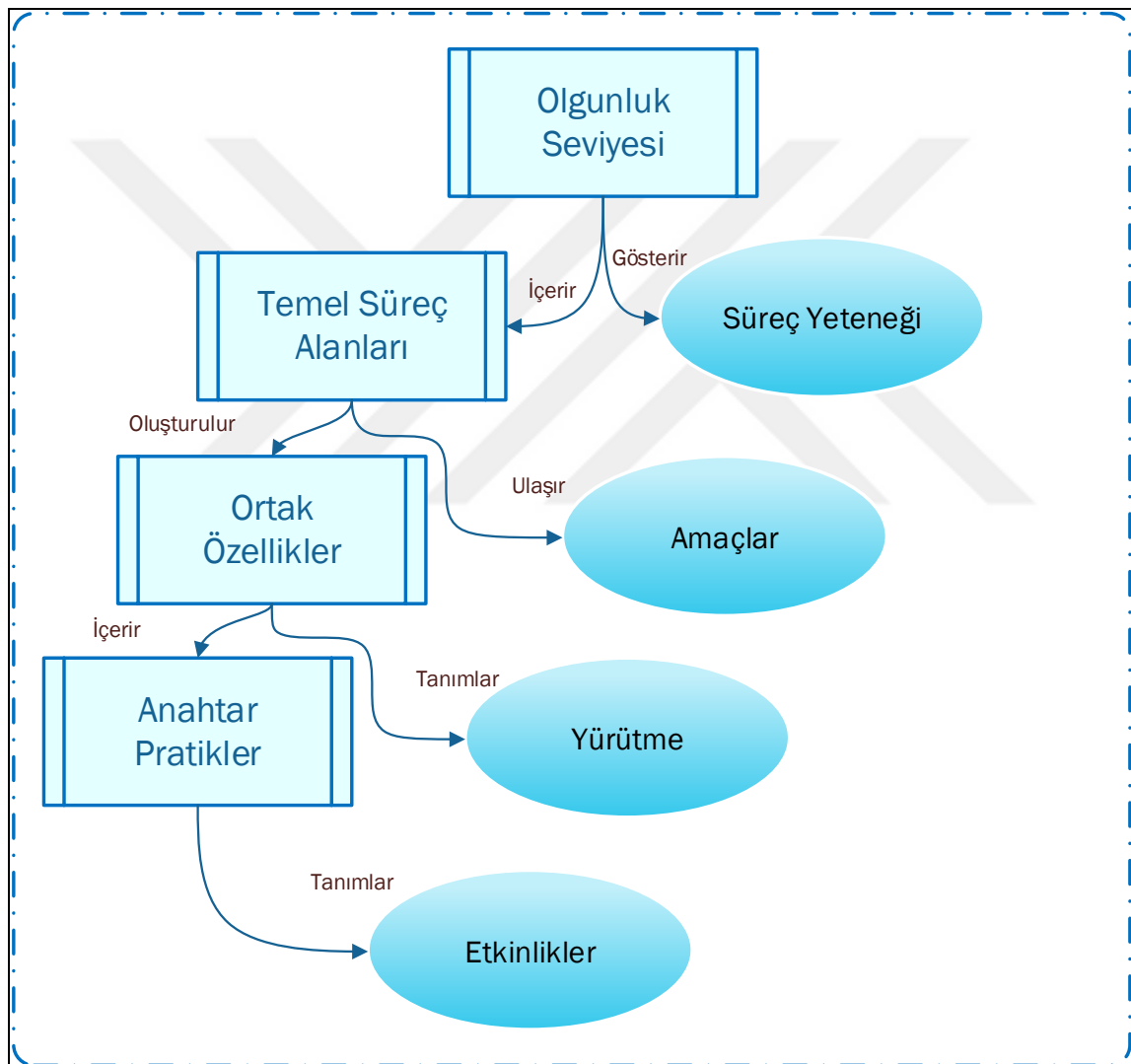
Bu çalışmada Endüstri 4.0 Olgunluk Modellerinin yanısıra uygulamada ve literatürde genel kabul görmüş, yaygın kullanım alanına sahip olgunluk modellerinden; CMMI, CobiT ve eTOM referans olarak kabul edilmiştir.

3.1.1. Bütünleşik yetenek olgunluk modeli (CMMI)

Başlangıçta ABD Savunma Bakanlığı için yazılım yüklenicilerinin kalitesini ve kapasitesini değerlendirmek için oluşturulan CMMI modelleri, herhangi bir sektördeki herhangi bir kuruluşun yeteneklerini oluşturmaya, iyileştirmesine, ölçmesine ve performansını iyileştirmesine yardımcı olmak için yazılım mühendisliğinin ötesine geçmiştir (CMMI Institute). CMMI, Amerikan Savunma Bakanlığı'nın isteği üzerine Carnegie Mellon Üniversitesi'ne bağlı Yazılım Mühendisliği Enstitüsü (SEI) tarafından 1986 yılında geliştirilmeye başlanmış ve 1991 yılında yazılım için CMM yani SW-CMM yayınlanmıştır. SW-CMM modelinin başarısı üzerine yazılım dışında da CMM'ler ortaya çıkmış, 2002 yılında sektörden bağımsız bir model olan CMMI modeli yayınlanmıştır. ABD ordusu tarafından ihalelerde hangi firmanın seçileceğinin belirlenmesi amacıyla kullanılan CMM geliştirilerek bugün de birçok büyük satın alıcı tarafından ihalelerinde firma seçimine karar vermek için kullanılmaktadır. Model ayrıca şirketin mevcut durumunu görmesi ve değerlendirmesine yardımcı olması amacıyla da kullanılmaktadır. Olgunluk düzeyi, fikir ve kavramları Walter Shewart, Philip Crosby, W. Edwards Deming ve Joseph Juran'dan etkilenmiştir. Crosby'nin kalite yönetim olgunluk kavramı kalite pratiklerini beş adımda tanımlamıştır; 1) Belirsizlik 2) Karşılaştırma 3) Uyanma 4) Aydınlanma 5) Kesinlik (Crosby, 1980; Kalaycı, 2007:6).

Yazılım sektörünün gelişmeye başlamasıyla beraber yazılım ürünlerine olan talep her geçen gün artmış özellikle ABD Savunma Bakanlığı'nın tedarik maliyetlerinin büyük ve artan bir kısmını oluşturmaya başlamıştır. Bunun üzerine yazılım mühendisliği için mükemmellik standartları oluşturmak ve ileri teknoloji ve yöntemlerin uygulamaya geçişini hızlandırmak için 1984 yılında Carnegie Mellon Üniversitesi'nde Yazılım Mühendisliği Enstitüsü kurulmuş ve Crosby'nin geliştirdiği kalite adımları Humphrey tarafından yazılım organizasyonlarına uyarlanmıştır. Çalışma öncelikle anket tabanlı bir olgunluk modeli olan Süreç Olgunluk Modeli'nin (Process Maturity Model), sonrasında da Yetenek Olgunluk Modeli'nin (CMM) gelişmesine yol açmıştır (Humphrey, 1988). CMM oluşturulurken toplam kalite yönetiminde yer alan süreç yaklaşımları temel alınmıştır. Model 2001 yılında CMMI olarak adlandırılmış ve ilerleyen süreç içerisinde de ana kurgusu üzerinden önemli revizyonlar olmamakla birlikte yeni versiyonlarla güncellenmiştir.

CMMI ile yazılım geliştirme alanında çalışan kuruluşların iş süreçleri olgunluğunun belirlenmesi ve iyileştirilmesi amaçlanmıştır. “Olgunluk” sözcüğü, “bu kez ne kadar iyi yapılacak?” sorusunun daha az sorulduğu ve bilinmeyen (riskin) düşük olduğu bir çevrenin oluşturulması anlamında kullanılarak süreçlerde olgunluk düzeyinin artması, belirsizliklerin ve tahmin edilebilirlik düzeyinin azalması anlamına gelmektedir (Persse’den aktaran Arifoğlu ve Gür, 2005).



Şekil 3.2. CMM mimarisi

Şekil 3.2’de; CMMI süreç alanları, ilişkili özellikler ve pratikler arası ilişkiye dair mimari yaklaşım ifade edilmiştir. Her bir temel süreç alanı, aynı şablonu kullanan, ortak özellikler tarafından tanımlanır. Ortak özellikler ise; uygulama için yükümlülük, yetenek, gerekli etkinlikler, ölçme ve değerlendirme, doğrulama gereklerini tanımlamaktadır.

CMMI modeli, bir kurum ya da kurum içindeki bir süreçte, nelerin olması gerektiği gibi olduğunu ve nelerin olması gerektiği gibi olmadığını göstermektedir. Sorunlar genel ve küresel olmakla birlikte çözümler firmaya, müşteriye, hatta proje özel olabileceği için CMMI modeli, ne yapılması gerektiğini ve nelerin eksik olduğunu söyleyebilir ancak eksikliklerin nasıl giderileceği konusunda bir şey söylemek istemez (Kalaycı, 2007).

CMMI modelinde beş olgunluk seviyesi bulunmaktadır. Olgunluk seviyeleri, kurumun nereden başlaması gerektiğine ve hangi süreçlerin kurum için en uygun olduğunu belirlemesine yardımcı olmaktadır. Kurumların yetkinliği “olgunluk seviyesi” olarak ölçülürken süreç yetkinliği ise “yetkinlik seviyesi” olarak ölçülmektedir. Süreçler için yetkinlik seviyeleri “0” dan, kurumlar için olgunluk seviyeleri ise “1” den başlar. Kurumun hedeflediği olgunluk seviyesi ile hangi süreç alanlarının hedefleneceği belirlenmiş olur. Kurumun hedeflemesi gereken seviye mevcut durumda sağladığı en düşük olgunluk seviyesinden bir fazlası olmalıdır (Kalaycı, 2007). CMMI’da toplam 22 süreç alanı bulunmaktadır. Sürekli ve basamaklı iki gösterime sahiptir. Basamaklı gösterim şekline göre; toplam beş olgunluk seviyesi mevcuttur ve bu olgunluk seviyeleri, tanımlı sistematik ve yapısal bir süreç iyileştirme metodolojisi sunmaktadır. Sürekli gösterim şeklinde ise, hangi sürecin ne seviyede iyileştirileceği kuruluşun kendi önceliklerine göre belirlenmekte ve her bir süreç kendi içinde ulaşabileceği yetenek seviyeleri ile değerlendirilmektedir. (KPMG, 2016). Çizelge 3.1.’de hangi olgunluk seviyesinde hangi süreç alanlarının yer aldığı gösterilmiştir;

Çizelge 3.1. CMMI süreç alanlarının olgunluk seviyesine göre listelenmesi (KPGM, 2016)

Olgunluk Seviyesi	Açıklama
1. Başlangıç	Tüm kuruluşlar minimum başlangıç düzeyindedir.
2. Yönetilen	• Gereksinimler Yönetimi • Proje Planlama • Proje İzleme ve Kontrol • Konfigürasyon Yönetimi • Tedarikçi Sözleşme Yönetimi • Ölçme ve Analiz • Süreç ve Ürün Kalite Güvencesi

Çizelge 3.1. (devam) CMMI süreç alanlarının olgunluk seviyesine göre listelenmesi

3. Tanımlı	• Gereksinimlerin Geliştirilmesi • Teknik Çözüm • Ürün Entegrasyonu • Doğrulama • Geçerleme • Kurumsal Süreç Odaklanması • Kurumsal Süreç Tanımı • Kurumsal Eğitim • Bütünleşik Proje • Risk Yönetimi • Karar Analizi ve Çözümleme
4. Nicel Yönetilen	• Kurumsal Süreç Performansı • Sayısal Proje Yönetimi
5. İyileşen	• Kurumsal Yenilikçilik ve Yaygınlaştırma • Sebep Analizi ve Çözümleme

CMMI’da bir kurumun yetkinliği “olgunluk seviyesi” olarak, bir sürecin yetkinliği ise “yetkinlik seviyesi” olarak ölçülmektedir. Olgunluk seviyelerinin ne anlama geldiği ve tipik özellikleri aşağıda Çizelge 3.2 ile verilmiştir. Aşağıda çizelgede olgunluk seviyelerinin genel itibarıyla anlamları ve tipik özellikleri ifade edilmiştir;

Çizelge 3.2. CMMI olgunluk seviyeleri genel özellikler (Chrissis, M. B., Konrad, M.ve Shrum, S, 2006)

Seviye	Olgunluk Modeli Seviyesi	Tipik Özellikleri
Level 0	Incompleted	Bütün şirketler en az 1. olgunluk seviyesindedir.
Level 1	Başlangıç - Performed	İkinci Olgunluk seviyesine ait süreç alanlarından hiçbiri tam ve tutarlı bir şekilde uygulanmamaktadır. Bu seviyedeki bir şirkette, çalışanların, aynı işi yapmak için, birbirinden farklı kendilerine özel iş yapma şekilleri vardır.

Çizelge 3.2. (devam) CMMI olgunluk seviyeleri genel özellikler

Level 2	Yönetilen – Managed	İkinci seviye süreç alanlarının (7 süreç alanı) hepsi uygulanmakta olan, ölçülebilen ve izlenebilen seviyedir. Bu seviyedeki bir şirkette, henüz şirketin bütün çalışanları aynı şekilde çalışmaya başlamamıştır, ancak aynı proje içinde aynı iş aynı şekilde yapılmaktadır. Bu seviyeye ulaşmak için şirketlerin yapması gereken en önemli yatırım şudur: Şirket içinde proje yönetim yetkinliğinin oluşturulması ve proje yöneticilerinin günlük işleri tam olarak yönetebilecek yetki ve sorumluluk ile donatılmasıdır. Diğer bir deyişle, şirket içinde üst düzey yönetim ve orta kademe yönetim (proje yönetimi) seviyelerinin oluşturulması gerekmektedir.
Level 3	Tanımlı – Defined	Üçüncü seviye süreç alanlarının hepsi (11 süreç alanı) uygulanmakta olan, ölçülebilen ve izlenebilen seviyedir. Bu seviyede, bir şirket artık kurumsal kimliğini oluşturmuştur. Kişilerin değil şirketin bir iş yapış şekli vardır. Aynı iş için birden fazla iş yapma şekli olabilir ama bu farklılık kesinlikle 1. seviyedeki bir şirkete göre çok daha azdır. Örneğin, proje büyüklüğüne göre küçük, orta ve büyük projeler için üç farklı yöntem olabilir.
Level 4	Nicel Yönetilen Quantitatively Managed	- Dördüncü seviye süreç alanlarının hepsi (2 süreç alanı) uygulanmakta olan, ölçülebilen ve izlenebilen seviyedir. Bu seviyedeki bir şirkette, çalışanlar uzun süredir aynı işleri aynı şekilde yaptığından, artık iş yapış şekillerini ölçmek ve karşılaştırmak anlamlıdır. Bu seviyede, odak noktası benzer işler için benzer sonuçlar almaktır. Örneğin, bir iş genellikle 5 birimlik bir şekilde yapılıyor ise tüm çalışanları 5 birimlik iş yapma şekline getirmek hedefidir.

Çizelge 3.2. (devam) CMMI olgunluk seviyeleri genel özellikler

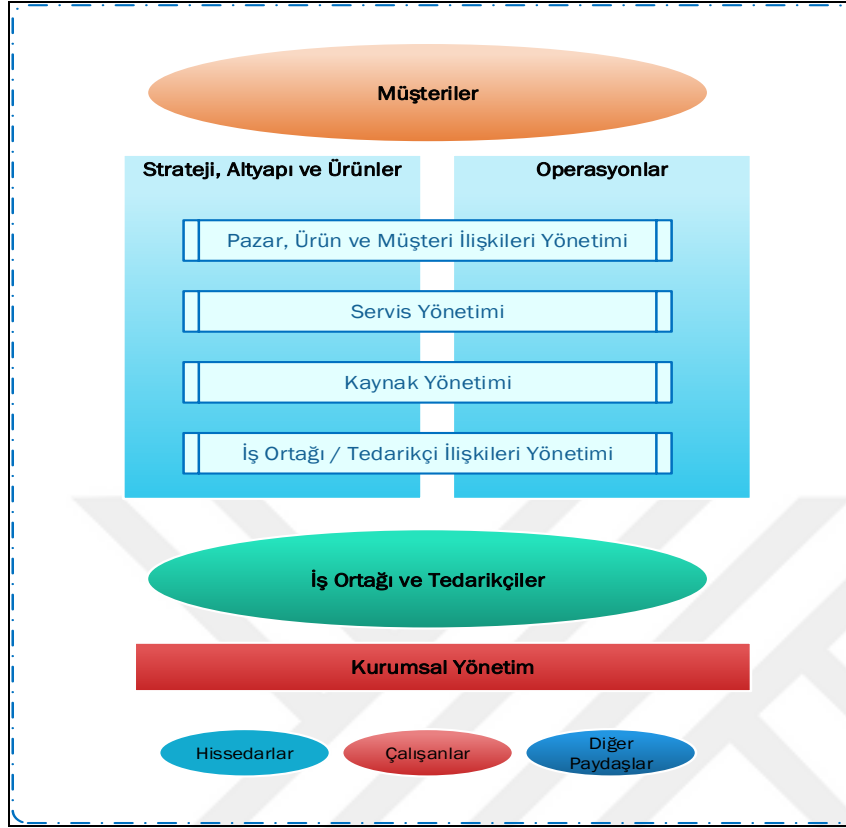
Level 5	İyileşen – Optimized	Beşinci seviye süreç alanlarının hepsi (2 süreç alanı) uygulanmakta olan, ölçülebilen ve izlenebilen seviyedir. Dördüncü seviyedeki bir şirket için odak noktasının aynı işi yapan herkesi aynı noktaya, örneğin 5 birime getirmekken, beşinci seviyedeki bir şirkette ise odak noktası aynı işi yapan kişilerin işlerini daha iyi, örneğin eskiden herkesin 5 birimlik yaptığı bir işi herkesin 7 birimlik yapacağı şekle getirmektir.
----------------	-----------------------------	---

Toplamda 5 olgunluk seviyesi için 22 süreç alanı tanımlanmış, 4 ana kategori (Destek, Proje Yönetimi, Süreç Yönetimi, Mühendislik) üzerinden model üretilmiştir.

Bu tez çalışmasına referans olacak şekilde olgunluk modeli sistematığının kurgulanmasında, olgunluk seviyelerinin, boyutların ve alanların oluşturulmasında CMMI mimarisinden faydalanılmıştır.

3.1.2. Geliştirilmiş telekom operasyon haritası (eTOM)

Tele Management Forum (TM Forum/TMF) tarafından geliştirilmiş olan eTOM (enhanced Telecom Operations Map–Geliştirilmiş Telekom Operasyon Haritası), bir iş yerine gelirken içerisinde yer alan çeşitli süreç parçacıklarının amaç, isim ve tanımlarını standart hale getirmeyi hedeflemektedir. İş akışlarının bu standardı kullanarak oluşturulmasıyla tekrardan kurtulunur, anlaşılmazlıklardan sakınılır ve yeniden kullanılabilir işler oluşturulabilir (TMF, 2014). TM Forum, hizmet sağlayıcılar ve network operatörleri (Telefonica, BT, Deutsche Telecom, Telia Sonera, Vodafone, NTT, Telecom Italia, vb) ile iletişim sektörüne donanım ve yazılım sağlayan tedarikçilerin (IBM, Amdocs, Lucent, Oracle, vb) biraraya gelmesiyle 1988 yılında kurulmuş ve üye kurum sayısı bugün itibarıyla 500’ü aşkın uluslararası bir organizasyondur. Temel misyonu, telekom operatörleri için iş süreçlerini, maliyet ve zamanı etkin biçimde tanımlamak ve otomasyonlarını sağlamak için yol göstermektir. TM Forum tarafından geliştirilmiş ve sürekli güncellenmeye devam eden eTOM, 2004 yılında ITU (International Telecommunication Union- Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) tarafından uluslararası bir standart olarak tanınmıştır.



Şekil 3.3. eTOM mimarisi (TeleManagement Forum, 2014)

eTOM, stratejik sorulara cevap veren, şirket organizasyonuna değinen veya detaylı süreç adımları sunan bir model değildir. eTOM, bir telekom operatörünün gündelik operasyonlarını yürütebilmek için ihtiyaç duyduğu tüm süreçlerin tanımlandığı bir süreç yapısı modelidir ve bu haliyle operatörler için bir kontrol listesi ve yeniden yapılandırma çalışmalarında tarafsız bir referans noktası olarak değerlendirilmesi yerinde olacaktır. eTOM kullanıcılarına aşağıdaki faydaları sağlamayı vaat etmektedir;

1. Departmanlar, sistemler, iş ortakları ve tedarikçiler arasında ortak bir dilin oluşturulması,
2. İş süreçleri için standart bir yapı, terminoloji ve sınıflandırma şemasının oluşması,
3. Kurum çapında, iş süreçlerinin belirli bir disiplinde ve tutarlı bir şekilde geliştirilmesi,
4. İş süreci gereksinimlerine göre IT uygulamalarının yönetilmesi, geliştirilmesi, tasarlanması ve anlaşılması,
5. Tutarlı ve yüksek kalitede uçtan uca iş akışlarının oluşturulması,
6. Maliyet ve performans iyileştirmeleri için fırsatların belirlenmesi (TMF, 2014).

Mimarisi Şekil 3.3 ile verilen eTOM temelde üç ana süreç alanına sahiptir:

Strateji, Altyapı & Ürünler: Planlamayı ve yaşam döngüsünün yönetimini kapsar. Kurum içerisinde pazar ve müşteriye yönelik stratejileri geliştiren; ürünlerin, altyapının ve tedarik zincirinin geliştirilmesini ve arzını planlayan, oluşumunu sağlayan ve yöneten süreçlerden müteşekkildir.

Operasyonlar: Operasyonel yönetimin esasını kapsar. Müşteri yönetimi, servis yönetimi, altyapı yönetimi ve tedarikçi/ortak yönetimi alanlarında, genel destek ve hazır oluş aktiviteleri ile gündelik işlemlerin yürütülmesine yönelik süreçlerden müteşekkildir.

Kurumsal Yönetim: Kurumsal ve iş destek yönetimini kapsar. İnsan Kaynakları, finans yönetimi, kurumsal performans yönetimi gibi geniş kapsamlı ve temel iş alanlarına destek veren süreçlerden müteşekkildir.

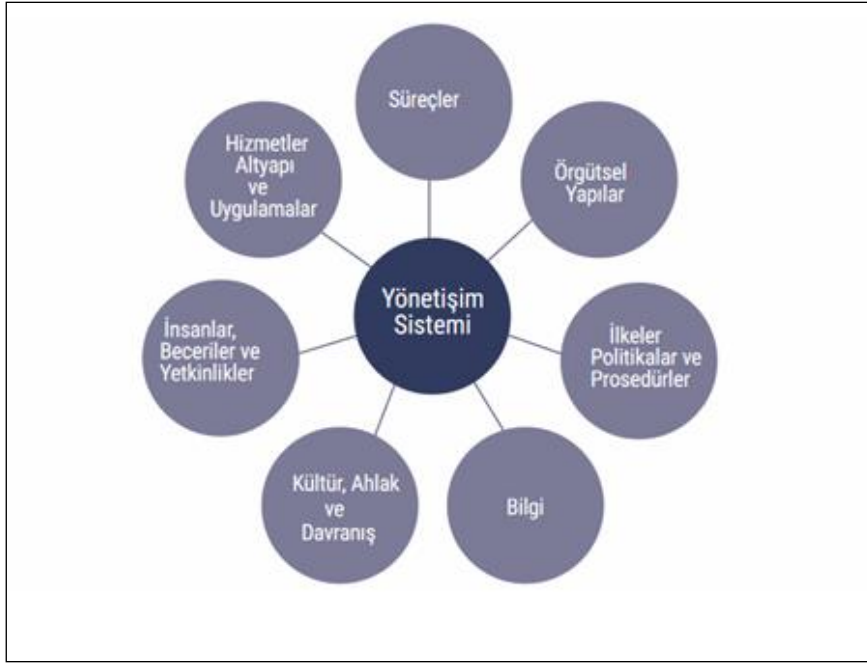
eTOM kuruluşlara; görev listelerinin oluşturulmasında, iş akışlarının çıkarılmasında, standartlar ile eşleştirilerek görev eksiklikleri ile çakışmalarının bulunmasında ve yeni/var olan projelerin kapsamının çıkarılmasında kolaylıklar sağlamaktadır (TMF, 2014).

3.1.3. Bilgi ve ilgili teknolojiler için kontrol hedefleri (COBIT)

Firma içinde kullanılacak bilgilerin üretimi ve aktarımı esnasında teknoloji kullanımından kaynaklanan risklerin belirlenmesi, yönetimi ve kontrolünün etkin ve verimli olarak yapılması gerekmektedir. Teknoloji risklerinin nasıl yönetileceği ve daha güvenli hale nasıl getirileceği ile ilgi atılması gereken adımlar, teknoloji yoğun çalışan ve iş süreçlerine teknolojiyi entegre etmiş olan tüm şirketlerin yönetimi için önem taşımaktadır (ISACA, 2019). Yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu bilgi teknolojilerinin işletmeler içerisindeki kullanımı ve yaygınlığı arttıkça bilgi teknolojileri süreçlerinin olgunluk seviyeleri hakkında güvence sağlayacak denetim metodolojilerine olan ihtiyaç artmaktadır. Bu amaçla COBIT kapsamında düzenlenmiş olan olgunluk seviyeleri kuruluşun bugün nerede olduğu, endüstrideki durum ve karşılaştırmaları ve kuruluşun ileride nerede olmak istediği sorularına cevap vermektedir (KPMG, 2016).

CobiT Bilgi ve ilgili teknolojiler için kontrol hedefleri anlamına (Control Objectives for IT and related Technologies) gelmektedir. COBIT, ISACA tarafından geliştirilmiş bir BT yönetim çerçevesidir. ISACA, BT yönetim konseptini desteklemek için 1998 yılında IT Governance Institute'u (ITGI) kurmuş ve CobiT IT Governance Institute tarafından

üretilecek teknolojinin hızlı değişimi doğrultusunda güncel tutulmaktadır. CobiT, tüm işletmeye yönelik kurumsal bilgi ve teknolojinin yönetimi ve yönetimi için bir çerçevedir (ISACA, 2019). Kurumsal BİT, işletmenin amaçlarına ulaşmak için, işletmenin neresinde olduğuna bakılmaksızın devreye sokulan tüm teknoloji ve işlenen bilgi anlamına gelir. Başka bir deyişle kurumsal BİT, bir organizasyonun BİT departmanını kesinlikle içerir ancak bununla sınırlı değildir. Şekil 3.4’de görüleceği üzere CobiT yönetim sistemi 7 bileşenden oluşmaktadır;



Şekil 3.4. CobiT yönetim bileşenleri (ISACA, 2019)

COBIT Olgunluk Modeli’nin ölçüm yöntemi Çizelge 3.3’de şekilde gösterildiği gibidir;

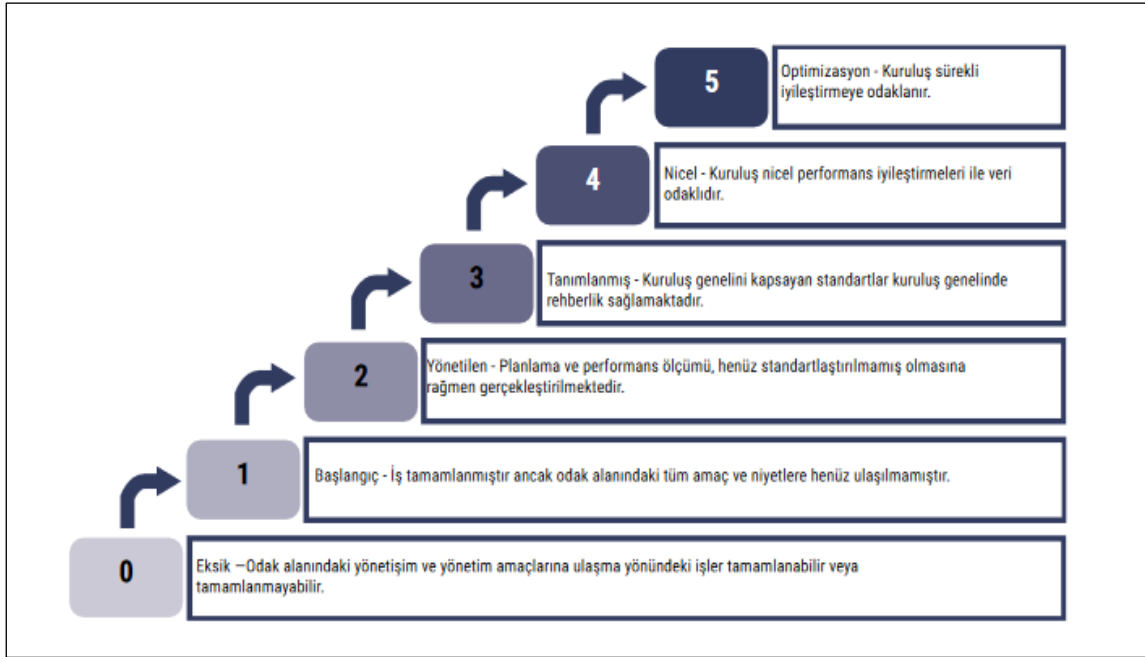
Çizelge 3.3. CobiT çekirdek modeli (KPMG, 2016)

	Anlayış ve Farkındalık	Eğitim ve İletişim	Süreç Uygulamalar ve	Teknoloji Kullanımı	Uygunluk	Uzmanlık
0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
1	Farkındalık var	İhtiyaç olduğu zaman münferit iletişim sağlanıyor.	İhtiyaç olduğu zaman münferit dökümantasyon ve süreç yaklaşımı sağlanıyor.	Yok	Yok	Yok

Çizelge 3.3. (devam) CobiT çekirdek modeli

2	İhtiyacın bilincine varılmış.	Genel konular ve ihtiyaçlar üzerine iletişim sağlanıyor.	Ortak/benzer ancak kişi insiyatifinde uygulamalar var.	Ortak/benzer araçlar kullanılmaya başlanmış.	Münferit durumlarda standart olmayan izleme yöntemleri kullanılıyor.	Yok
3	Önlem alınması yönünde anlayış oluşmuş.	Kişisel girişimleri ve bireysel eğitimler mevcut	Prosedürler oluşturulmuş ve dökümanite edilmiş, bunların iyileştirilmesine başlanmış	Ortak yöntemlerin kullanılması için standart oluşturulmuş.	Standart olmayan; izleme ve ölçme yöntemleri kullanılıyor. Kurumsal karne uygulaması Yapılan alanlar olabiliyor. Kişiye bağlı sebep-sonuç ilişkileri gözlenebiliyor.	İş süreçleri ne teknoloji uzmanlar ında katılımı sağlanıyor.
4	Tüm gereklilikler biliniyor.	Program yönetimi ve resmi eğitim var.	Süreç sahipliği ve sorumlulukları belirlenmiş süreç olgunluğu sağlanmış, organizasyon içi en iyi uygulamalara geçilmiş.	Teknolojik olgunluğa ulaşılmış, standart yöntemlerin kullanılması sağlanmış.	Belirlenen süreçlerde kurumsal karne uygulaması yapılıyor, farkındalık izleniyor; sebep-sonuç analizi her durumda yapılıyor.	Konuyla ilgili tüm uzmanların katılımı sağlanıyor.
5	Üst düzey ve ileri görüşlü bir anlayış seviyesi vardır.	İletişim ve eğitim konularında en iyi yöntemler uygulanıyor ve en yeni gelişmeler takip ediliyor.	Sektör ve konu ile ilgili yöntemler uygulanmakta.	En gelişmiş teknolojiler uygulanmakta teknoloji kullanımı optimize edilmiş.	Tüm süreçlerde kurumsal karne uygulaması yapılıyor, farkındalık izleniyor ve iyileştirici önlemler alınıyor, sebep-sonuç analizi her durumda yapılıyor.	Yabancı uzmanların ve endüstri liderlerinin danışmanlığı alınıyor.

Olgunluk seviyeleri 0 ile 5 arasında olmak üzere toplam altı seviyede tanımlanmıştır. Olgunluk seviyeleri kuruluşun ilgili süreçteki kontrollerin ne seviyede olduğunu göstermektedir. CobiT'te diğer modellerden farklı olarak olgunluk seviyeleri kuruluşun kendi seviyesini sektöründeki benzer süreçlerin ortalaması ile karşılaştırılarak hesaplanmaktadır (KPMG, 2016). Aşağıda Şekil 3.5'de COBIT tarafından ortaya konulmuş olan olgunluk seviyeleri ve açıklamalarına yer verilmiştir.



Şekil 3.5. CobiT olgunluk seviyeleri (ISACA, 2019)

3.2. Endüstri 4.0 Olgunluk Modelleri

Endüstri 4.0 bağlamında mevcut olgunluk modellerini bulmak için sistematik bir literatür taraması yapılarak Web of Science, Science Direct ve Scopus olmak üzere 3 elektronik veri tabanında şu kelimeler taranmıştır; “Industry 4.0 Maturity Model”, “Industry 4.0 Maturity Index”, “Industry 4.0 Maturity Assessment”, “Digital Maturity Model”, “Digital Maturity Assessment”. Bu kelimeler; özet, başlık ve anahtar kelimelerdeki tanımlanmış terimlerden en az birini içerecek şekilde dergiler, konferans bildirileri ve kitap dizileri içinde aratılmış çıkan sonuçlar ve kaynakçaları incelenmiştir. Çıkan sonuçlar arasından çalışmanın uygunluğu incelenerek Endüstri 4.0 Olgunluk modeli için temel teşkil edecek 15 çalışma bulunmuş ve model bu çalışmalardan elde edilen veriler ışığında kurgulanmıştır. Özellikle Impuls-Industrie 4.0 Readiness raporunda ortaya konulan model hem teorik hem de uygulama açısından daha açıklayıcı ve uygulanabilir bulunmuştur.

Alman Makine Mühendisleri Derneği olan VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) 3.300'den fazla üye şirketle Avrupa'nın da en büyük sanayi örgütüdür. Alman imalat sektöründe Endüstri 4.0 ile ilgili daha fazla bilgiye olan ihtiyacın fark edilmesi üzerine VDMA'ya bağlı olarak faaliyet gösteren IMPULS tarafından 2015 yılında “Impuls Industry 4.0 Readiness Model” raporu yayınlanmıştır (Lichtblau vd., 2015). Raporda, Almanya'nın imalat sektöründe faaliyet gösteren firmaların mevcut durumunu analiz

etmeye yönelik hazırlık modeli geliştirilmiştir. Modelde Endüstri 4.0 olgunluğu; altı boyut ve bu boyutları oluşturan 18 alt kritere dayanmaktadır. Bu altı boyut; strateji ve organizasyon, akıllı fabrika, akıllı operasyonlar, akıllı ürünler, veriye dayalı hizmetler ve çalışanlar şeklindedir. Firmaların seviyeleri bu altı boyuttan elde ettikleri sonuçlara göre önce; yeni başlayanlar, öğrenenler ve liderler olarak 3 sınıfa ardından da 0 ile 5 arasında olmak üzere 6 seviyeye ayrılmıştır. 0 ve 1 seviye firmalar “yeni başlayanlar” sınıfında yer alırken 2 seviye firmalar “öğrenenler”, 3-4 ve 5. Seviye firmalar da lider sınıfında yer almıştır. Çalışma; çevrimiçi anket yoluyla 289 firmadan elde edilen verilerin analizine dayanmaktadır. Verilerin analizi neticesinde strateji ve organizasyon boyutunun ortalaması 0,8, akıllı üretim 0,7, akıllı süreçler 1,4, akıllı ürünler 1,1, veriye dayalı hizmetler 0,3 ve çalışanlar 1,5 ortalamaoya sahip olmuştur. Çalışma Endüstri 4.0 olgunluk modelleri arasında boyutların ve seviyelerin nasıl oluşturulduğuna dair en detaylı ve anlaşılır bilgiye sahip modeller arasında yer alırken verilerin analizinin nasıl gerçekleştirildiğine dair bilgi sunulmamıştır. Çalışmaya göre; on şirketten dördünün henüz Endüstri 4.0’a yönelik bir stratejisi bulunmamaktadır. Şirketlerin büyüklükleri arttıkça Endüstri 4.0 stratejisine sahip olma olasılığı artmaktadır. Özellikle küçük ve orta büyüklükteki şirketler riski minimize etmek için mevcut uygulamaların sonuçlanmasını beklemekte ve geriden gelmektedir. Şirketlerin çoğunluğu Endüstri 4.0 hedeflerine ulaşmakta kilit başarı faktörünü uygun becerilere sahip işgücünün varlığı olarak görmüşlerdir. Ürün yaşam döngüsü boyunca verilerin toplanması ve analizi firmalara hizmet portföylerini ya da iş modellerini geliştirmeleri açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır, ancak bununla birlikte şirketlerin üçte ikisi henüz veriye dayalı hizmetlerin önemini keşfetmemiştir.

Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) olarak kurulan Acatech tarafından 2017 yılında bir yıllık bir proje sonucunda “Industrie 4.0 Maturity Index” isimli bir çalışma yayınlanmıştır (Acatech, 2017). Çalışmada şirketlerin organizasyonel ve kültürel olarak Endüstri 4.0 dönüşümünü gerçekleştirebilmeleri için kılavuzluk etmek amacıyla 6 aşamalı bir olgunluk modeli önerilmiştir. Bu 6 aşama; bilgisayarlaşma, bağlantılılık, görünürlük, şeffaflık, tahmini kapasite ve adaptasyon olmuştur. Bilgisayarlaşma; firmalarda bilgisayarlı otomasyonun sağlanmasını, bağlantılılık; firma içindeki birimlerin birbirine bağlanmasını, görünürlük; sensörlerle verilerin elde edilmesini, şeffaflık; elde edilen verilerle dijital ikizin oluşturulmasını, tahmini kapasite; dijital ikiz sayesinde geleceğe ilişkin senaryoların simüle edilebilmesini ve adapte olabilirlik ise; bireysel isteklere ve değişen koşullara

otomatik olarak uyum sağlayabilmeyi ifade eder. Modelde ifade edilen 4 boyut ise; bilgi sistemleri, kaynaklar, organizasyon ve kültürdür. Çalışmada olgunluk modeli geliştirildikten sonra doğrulanması amacıyla Harting AG & Co. Adlı şirkette uygulaması yapılmıştır. Ancak bu uygulamaya ait detaylar ve verilerin analiz yöntemine ilişkin bilgiler bulunmamaktadır. Ayrıca model oldukça karışık bir yapıya sahiptir.

Schumacher, Erol ve Sihn tarafından 2016 yılında yayınlanan “A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises” isimli makalede endüstri 4.0 olgunluğunu değerlendirmek için 9 boyut ve bu boyutları ölçmek için 62 alt kriter belirlenmiştir (Schumacher, Erol ve Sihn, 2016). 62 alt kritere ait bilgi yer almazken 9 boyut; strateji, liderlik, yönetim, kültür, çalışanlar, ürünler, müşteriler, teknoloji ve işlemlerdir. Alt kriterlerin olgunluk seviyesine etkilerinin birbirinden farklı olacağı varsayılmış bu nedenle alt boyutlar için uzman görüşü alınmıştır. 0-4 arasında puanlama ile 23 uzmandan alınan görüşlerin ortalaması hesaplanarak alt kriterlerin etkileri belirlenmiştir. Sonuçların doğrulanması için bir firmada uygulama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada olgunluk seviyelerine ilişkin bilgiler bulunmamakla birlikte, analiz için istatistiki doğrulama araçları da kullanılmamıştır.

PricewaterhouseCoopers (2016) tarafından yapılan “Industry 4.0: Building the digital enterprise” adlı araştırma; 9 sektör, 26 ülkeden oluşmak üzere 2000 den fazla firma çalışanlarının katılımına dayanmaktadır. Anket çalışması firmaların olgunluk seviyesini ölçmekten daha çok endüstri 4.0 algısını ölçmeye yöneliktir. Oluşturulan olgunluk modelinde 7 boyut bulunmaktadır. Bu boyutların ölçüm sonuçlarına göre şirketler 4 seviyede sınıflandırılmıştır; dijital acemi, dikey entegratör, yatay entegratör, dijital şampiyon. Çalışmada anket yoluyla elde edilen bilgilerin modelin geliştirilmesinde kullanılıp kullanılmadığı, kullanıldıysa genel ve boyutlara ait olgunluk sonucunun ne olduğu ve nasıl bir analiz yöntemi kullanıldığına dair bilgi bulunmamaktadır.

Rockwell Automation tarafından 2014 yılında geliştirilen modele göre; değerlendirme, güvenli ağ, tanımlanmış ve organize edilmiş veri, analitik, iş birliği olmak üzere Endüstri 4.0 olgunluğunu değerlendirmeye yönelik 5 aşama bulunmaktadır. Modelde boyutlara, ölçüm yöntemlerine ve ölçüm sonuçlarına ait bilgi yer almamaktadır. Bu yönüyle modelin geliştirmeye ve uygulamaya oldukça açık yönleri bulunmaktadır (Rockwell Automation, 2014).

Jung, Kulvatunyou, Choi ve Brundage 2016 yılında yazdıkları “An Overview of a Smart Manufacturing System Readiness Assessment” isimli makalede bir fabrikanın akıllı üretim teknolojilerine hazırlık seviyesi ölçülmüştür (Jung, Kulvatunyou, Choi ve Brundage, 2016). Bilgi teknolojileri yönetimi, bilgi iletişimi yönetimi, organizasyon yönetimi, performans yönetimi modelin boyutlarıdır. Makale yazarları ABD Ticaret Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet gösteren Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) mühendisleridir ve makalelerindeki boyut ve seviyeler enstitü için geliştirdikleri “Akıllı Üretim Sistemleri Hazırlık Seviyesi (SMSRL)” modeline aittir. Çalışmada bir firma çalışanları tarafından cevaplanan ankete ait sonuçlar “Akıllı Üretim Sistemleri Hazırlık Seviyesi” modeli için geliştirilen excel dosyasına aktarılmış ve çok kriterli karar verme tekniklerine benzerlik gösteren bir analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Ancak boyutların ölçüm değişkenlerine ilişkin bilgiye yer verilmemiştir. Ayrıca değerlendirme sonucu bir iyileştirme planı gerçekleştirmek için kullanılacağı ifade edilmiş ancak bununla ilgili detaylı bilgi bir başka makalenin konusu olarak sonraki çalışmalara bırakılmıştır.

Ganzarain ve Errasti tarafından 2016 yılında yayınlanan “Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0” isimli makalede KOBİ'lerin endüstri 4.0 dönüşümlerini gerçekleştirmelerine yönelik 3 aşamalı bir model önerilmiştir (Ganzarain ve Errasti, 2016). Modelde beş olgunluk seviyesi vardır;

1. Başlangıç; spesifik bir endüstri 4.0 vizyonu yok,
2. Yönetilen; endüstri 4.0 stratejisine yönelik bir yol haritası mevcut,
3. Tanımlanan; müşteri segmentleri, değeri ve kilit kaynakları belirlenmiş,
4. Dönüşen; endüstri 4.0 stratejisi somut projelere dönüşmüştür,
5. Detaylı iş modeli; iş modeline dönüşmüştür.

Bu seviyeler 3 aşamalı olarak modellenmiştir; düşünme, etkinleştirme, gerçekleştirme. Modelde boyutların neler olduğuna, hangi ölçüm değişkenlerine sahip olduğuna, verilerin nasıl toplandığına, hangi analiz yöntemlerinin kullanıldığına ve sonuçların neler olduğuna ilişkin bilgilere yer verilmemiştir.

Akdil, Çevikcan ve Üstündağ (2017) tarafından yayınlanan “Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy” adlı çalışmada literatür çalışmasının ardından 4 seviyeli 3 boyutlu bir model önerilmiştir. Çalışmada seviyelere ilişkin detaylı bilgi yer alırken boyutlara ilişkin bilgilere yer verilmemiştir. Modele ait seviyelerde seviye 0 olarak adlandırılan “yokluk” seviyesi firmanın endüstri 4.0 gerekliliklerinden hiçbirini

karşılayamadığını ifade ederken, seviye 1 olan varoluş seviyesi; firmanın bazı departmanlarında pilot projelerin yer aldığı fakat ürün ve entegrasyon yönüyle kuruluşun endüstri 4.0 dönüşümünü gerçekleştirmeye yönelik yeterli yetenek seviyesine sahip olmadığını ifade eder. Seviye 2 olan hayatta kalma; şirketin ürünlerinin gerçek zamanlı veri yönetimi yapabildiği ve izlenebildiği bir olgunluk seviyesidir. Ayrıca veriye dayalı hizmet teklifleri, iş süreçleri entegrasyonu, veri paylaşımı-toplanması ve analizi orta düzeyde gerçekleşmektedir. Seviye 3 olan olgunluk seviyesi ise şirketin ürünlerinin akıllı olarak tanımlandığı ve veriye dayalı hizmetlerin yüksek seviyede sunulduğu bir olgunluk seviyesini tanımlamaktadır. Modelde her seviye için gereklilikler tanımlanmıştır. Boyutların sayısal olarak hesaplanması için her boyuta ilişkin ölçüm değişkenlerinden 0-3 arasında elde edilen puanların aritmetik ortalaması alınmıştır. Modele ait boyutlar; akıllı ürün ve servisler, akıllı iş süreçleri, strateji ve organizasyondur.

Literatürde yer alan yukarıda bahsi geçen ve diğer modellere ilişkin karşılaştırmalı tablo Çizelge 3.4'de yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Endüstri 4.0 olgunluk modelleri karşılaştırmalı tablo

Model	Yayın Adı/Yazar	Amaç, Kapsam ve Metod	Boyutlar	Olgunluk Düzeyi
1	The Connected Enterprise Maturity Model (Rockwell Automation, 2014)	Rockwell Automation tarafından geliştirilen modelde 4 boyut bulunmaktadır. Boyutlarla ve onları oluşturan öğelerle ilgili bilgi verilmemiştir. Daha çok aşamalar üzerinde durulmuştur. Uygulamaya ve hesaplama yönelik bir çalışma yapılmamıştır.	Boyutlarla ilgili bilgi bulunmamaktadır.	5Aşama bulunmaktadır; 1.Değerlendirme 2. Güvenli Ağ 3.Tanımlanmış ve Organize Edilmiş Veri 4. Analitik, 5. İşbirliği
2	Impuls Industry 4.0 Readiness (Impuls-Stiftung ve VDMA, 2015)	Çalışmanın amacı, farklı kriterler göz önünde bulundurularak firmaların değerlendirilerek Endüstri 4.0 ile ilgili mevcut durumlarının belirlenmesidir. Firmaların seviyeleri çalışmaya katılan firmaların durumlarıyla kıyaslanarak elde edilmiştir.	6 Boyut 18 Alan; 1. Strateji ve Organizasyon, 2. Akıllı Fabrika, 3. Akıllı Operasyonlar, 4. Akıllı Ürünler, 5. Veri Odaklı Hizmetler, 6. Çalışanlar	6 Seviye Bulunmaktadır (0-5); 0: İlgisiz 1: Acemi 2: Orta Düzey 3: Deneyimli 4: Uzman 5: Lider

Çizelge 3.4. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk modelleri karşılaştırmalı tablo

		Bir sonraki aşamaya geçmenin önündeki engeller ve bunların nasıl üstesinden gelineceği konusunda tavsiyeler tanımlanmıştır. 6149 Alman mühendislik firmasından 289’undan anket yoluyla veriler toplanmıştır. Değerlendirmeye ait herhangi bir yöntem paylaşımında bulunulmamıştır.		
3	An Overview of a Smart Manufacturing System Readiness Assessment (Jung vd., 2016)	Kobi’lere yönelik olan bu modelde firmaların bilgi teknolojileri alt yapısı üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır. Endüstri 4.0 için atılması gereken adımlar tanımlanmamış.	4 Boyut Bulunmaktadır; 1. Organizasyon Yönetimi 2. Bilgi Teknolojileri Yönetimi 3. Performans Yönetimi 4. Bilgi İletişimi Yönetimi Alanlarla ilgili bilgi bulunmamaktadır.	6seviye bulunmaktadır; 1. Gerçekleşmeyen 2. Başlangıç, 3. Yönetilen, 4. Tanımlanan 5. Sayısallaştırılan 6. Optimize Edilen
4	Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0 (Ganzarain ve Errasti, 2016)	Kobi’lere yönelik geliştirilen modelde aşamalı bir olgunluk modeli önerilmiştir. 5 seviyesi olan modelde her seviye “Düşünme”, “Etkinleştirme” ve “Yasalaştırma” olarak belirlenen 3 aşamada ele alınmaktadır. Ölçüm aracı veya uygulama metoduyla ilgili bilgi bulunmamaktadır.	Boyutlar bulunmamaktadır	5 Seviye Bulunmaktadır; 1: Başlangıç 2: Yönetilen 3: Tanımlanan 4: Dönüşen 5: Detaylı İş Modeli
5	Industry 4.0: Building The Digital Enterprise (Pricewaterhouse Coopers, 2016)	Ana etkinleştirici olarak “Dijitalleşme” dikkate alınmıştır. Bütün işletmelere yönelik olarak tasarlanmış ve bir anketle ölçülmüştür. Boyutlara ait alanlar, modelin geliştirme süreci ve modelin sayısal analizine dair bir bilgi bulunmamaktadır.	7 Boyut bulunmakta alanlarla ilgili bilgi yer almamaktadır. Boyutlar; 1. Dijital iş modelleri ve müşteri erişimi, 2. Ürün ve hizmet sunumlarının dijitalleştirilmesi,	4 seviye bulunmaktadır; 1: Dijital Acemi 2: Dikey Entagratör 3: Yatay Entagratör 4: Dijital Şampiyon

Çizelge 3.4. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk modelleri karşılaştırmalı tablo

			3. Dikey ve yatay değerli zincirlerin dijitalleştirilmesi ve entegrasyonu, 4. Temel yetenek olarak veri ve analitik, 5. Çevik BT mimarisi, 6. Uygunluk, yasallık ve vergi 7. Organizasyon çalışanları ve dijital kültür.	
6	A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises (Schumacher vd., 2016)	Impuls Hazırlık Modeli referans alınarak geliştirilmiştir. Olgunluk seviyesi, her bir boyutun ağırlıklarını göz önünde bulundurarak ağırlıklı ortalama alınarak yapılmıştır. Boyutların ağırlıklarının birleşmesi amacıyla 23 uzman görüşü alınmıştır. Elde edilen ağırlıklar kullanılarak bir şirkette yapılan uygulama sonuçları radar grafiği ile paylaşılmıştır.	9 Boyut 62 alandan oluşmaktadır. Boyutlar; 1. Strateji 2. Liderlik 3. Müşteriler 4. Ürünler 5. Operasyonlar 6. Kültür 7. Çalışanlar 8. Yönetim 9. Teknoloji	5 Seviye bulunmaktadır (1-5) ancak bu konuda bilgi verilmemiştir. Hangi seviyelerin kimleri içerdiği, üst seviyeye geçişin nasıl olacağı ile ilgili bilgi verilmemiştir.
7	Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM (Gökalp vd., 2017)	ISO/IEC 15504 olarak bilinen 'Yazılım Proses İyileştirme ve Yetenek Belirleme' (SPICE) modeline dayanılarak oluşturulmuştur. Modelin uygulaması yapılmamıştır.	2 boyuttan ilki olan "Görünüş" 5 ayrı yapıda ele alınmıştır; 1. Varlık yönetimi, 2. Veri yönetimi, 3. Uygulama yönetimi, 4. Süreç dönüşümü 5. Örgütsel uyum. Alanlarla ilgili bilgi bulunmamaktadır.	"Yetenek" olarak adlandırılan diğer boyut ise olgunluk seviyelerini göstermektedir. 6 seviye bulunmaktadır; (0) Eksik, (1) Gerçekleştirilen, (2) Yönetilen, (3) Oluşturulan, (4) Öngörülebilir (5) Optimize Edilen

Çizelge 3.4. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk modelleri karşılaştırmalı tablo

8	A Smartness Assessment Framework for Smart Factories Using Analytic Network Process (Lee vd., 2017)	Lee ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada boyutlar çok kriterli karar verme tekniği kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. 4 boyut ve 10 öğeden oluşmaktadır. Modelin işleyişi için uygulama yapılmıştır.	4 Boyut 10 alan bulunmaktadır. Boyutlar; 1. Liderlik 2. Süreçler 3. Sistem ve Otomasyon 4. Performans	5 seviyeden oluşmaktadır; 1. Denetleme 2. İzleme 3. Kontrol 4. Optimizasyon 5. Otomasyon
9	Industrie 4.0 Maturity Index (Acatech, 2017)	Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi (ACATECH) tarafından hazırlanan “Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi”nde firmaların Endüstri 4.0 konusunda kendi durumlarını tespit etmelerine yönelik dört ana boyut altında incelenmesi gereken 33 ana başlık belirtilmiştir. Uygulama örneğine yer verilmiş ancak hesaplama yönteminden bahsedilmemiştir.	4 Boyut bulunmaktadır; 1. Bilgi Sistemleri, 2. Kaynaklar, 3. Organizasyon, 4. Kültür	6 seviyeden oluşmaktadır (0-5); 0. Bilgisayarlaşma, 1. Bağlantılılık, 2. Görünürlük, 3. Şeffaflık, 4. Tahmini kapasite, 5. Adaptasyon
10	Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy (Akdil vd., 2018)	Çalışmada literatürde bulunan diğer modeller karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek bu değerlendirme sonucunda 3 boyutlu bir olgunluk modeli sunulmuştur.	3 Boyut 13 alan bulunmaktadır. Boyutlar; 1. Akıllı Ürünler ve Hizmetler 2. Akıllı İş Süreçleri 3. Strateji ve Organizasyon	4 Seviye bulunmaktadır (0-3); 1. Yokluk 2. Varoluş 3. Hayatta Kalma 4. Olgunluk
11	1. SIMMI 4.0 – A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0 (Leyh vd., 2016)	Leyh ve arkadaşları tarafından Endüstri 4.0 olgunluk modeli ile ilgili literatüre kazandırılmış 3 makale bulunmaktadır. 2016 da yazdıkları ilk makalede “Sistem Entegrasyon Modeli” adını verdikleri bir model geliştirmişlerdir. Modelde 4 boyut 5 seviye bulunmaktadır. Boyutlara ait alanlar belirtilmemiş ve uygulama yapılmamıştır.	4 Boyut Bulunmaktadır; 1. Yatay Entegrasyon 2. Dikey Entegrasyon 3. Dijital Ürün Geliştirme 4. Kesitsel Teknoloji	5 Aşamadan oluşmaktadır; 1. Basit dijitalleşme, 2. Departmanlar arası dijitalleşme, 3. Dikey & yatay dijitalleşme,

Çizelge 3.4. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk modelleri karşılaştırmalı tablo

				4. Tamamen dijitalleşme,	5. Optimizasyon
	2. Assessing the IT and Software Landscapes of Industry 4.0-Enterprises: The Maturity Model SIMMI 4.0 (Leyh vd., 2017)	2017 de yayınladıkları 2. Makalelerinde ilk geliştirdikleri modelde iyileştirmeler yapmış ve 3. Makale için daha sağlam bir temel sağlamışlardır.			
	3. The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises (Leyh vd., 2017)	2017 de yayınlanan 3. Makalede ise şirketlerin BT alt yapılarının Endüstri 4.0 için hangi gereksinimlere ihtiyacı olduğunu üzerine durmuş ve BT sistemlerini değerlendirmeleri için bir anket geliştirilmiştir. Anketin değerlendirilmesinde kullanılan sayısal yöntemler paylaşılmamış ancak anketteki her soru ağırlıklandırılmıştır.			
12	Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0 (Colli vd., 2018)	Acatech modeli geliştirilerek bir 6 seviyeli bir olgunluk modeli sunulmuştur. Sonuçların modelin kurulmasında probleme dayalı öğrenme metodu kullanılmıştır. Ancak gerek modelin kurulmasında gerek uygulamasına yönelik bilgi paylaşılmamıştır.	5 Boyut bulunmaktadır; 1. Yönetim 2. Teknoloji 3. Bağlantı 4. Değer Yaratma 5. Yetkinlik	6 Seviyeden oluşmuştur; 0. Yok 1. Temel 2. Şeffaf 3. Farkında 4. Özerk 5. Entegre	
13	Towards a Framework for Assessing the Maturity of Manufacturin Companies in Industry 4.0 Adoption (Scremin vd., 2018)	Scremin ve arkadaşları tarafından yapılan aşamalı olgunluk modelinin geliştirilmeden önceki tasarım aşamasına odaklanılmıştır. Geliştirilen model 10 firma üzerinde uygulanmıştır. Ancak modele ait alanlar ve uygulama sonuçları bulunmamaktadır.	3 eksen 30 alanlı bir model sunmuşlardır. Eksenler; 1. Strateji 2. Olgunluk 3. Performans	0-4 arasında 5 düzeyli bir seviyelendirme bulunmaktadır.	

Çizelge 3.4. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk modelleri karşılaştırmalı tablo

14	Concept for an evolutionary maturity based Industrie 4.0 migration model (Leineweber vd., 2018)	Leineweber ve arkadaşları tarafından geliştirilen modelde özellikle Kobi'lerin yardım almadan kendilerini değerlendirmeleri hedeflense de modelin gelişimi, değerlendirme aracı ve sonuçların analizi ile ilgili bilgiler yer almamaktadır.	9 öğeden oluşan 3 Boyut bulunmaktadır; 1. Teknoloji 2. Organizasyon 3. Personel	3 Seviye Bulunmaktadır; 1. Atölye Seviyesi, 2. Üretim Seviyesi 3. Kurumsal Seviye
15	Readiness of Enterprises in Czech Republic to Implement Industry 4.0: Index of Industry 4.0 (Vrchota ve Pech, 2019)	Vrchota ve Pech yapmış oldukları çalışmalarında şirketlerin Endüstri 4.0 olgunluk endeksini belirlemek amacıyla 276 şirkete anket çalışması yapmış ve bu çalışmayı 2 dönem boyunca tekrarlayıp değişimi gözlemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarının değerlendirilmesi için faktör analizi kullanmışlardır.	13 öge 3 Boyut bulunmaktadır. Boyutlar isimlendirilmemiş numaralandırılmıştır; 1. 1. Boyut 2. 2. Boyut 3. 3. Boyut	1-4 arasında 4 seviye bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında Endüstri 4.0 olgunluk modeli geliştirilirken boyutların ve olgunluk seviyelerinin belirlenmesinde literatürde yer alan modellerden faydalanılmıştır. Modeller incelendiğinde ağırlıklı olarak 5 ya da 6 seviyeden oluştuğu ve 0-5 arasında değerler alındığı görülmüştür. Modellere ait boyutlar içerisinde “strateji”, “organizasyon” ve “teknoloji” en çok yer verilen boyutlar olmuştur. Bu tez çalışmasında; bu 3 boyutla beraber Endüstri 4.0’ın temel özelliklerini yansıtan “akıllı üretim”, “akıllı ürünler” ve “akıllı süreç” boyutlarına da yer verilerek 6 boyutlu bir olgunluk modeli kurulmuştur.

Endüstri 4.0 olgunluk modelleri henüz oldukça yeni ve geliştirilmeye açık modellerdir. Endüstri 4.0 olgunluk modellerinin geliştirilmeye açık en önemli eksikliği; boyutların ölçülmesi için hangi ölçüm değişkenlerinin kullanıldığına ilişkin bilgi ve bu ölçüm değişkenlerinin değerlendirilmesine yönelik yöntem ekliktir. Bu tez çalışmasında bu eksikliği gidermek amacıyla, Endüstri 4.0 olgunluk modeli kurulduktan sonra olgunluk modelini oluşturan boyutlara ait ölçüm değişkenlerinin doğrulanması ve Endüstri 4.0 olgunluk endeksi hesaplanabilmesi için yapısal eşitlik modelinden faydalanılmıştır.



4. ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Endüstri 4.0 olgunluk modeli; kuruluşların geleneksel üretim ve yönetim modellerini dijital teknolojilerle entegre bir şekilde yönetebilecekleri, bahsi geçen yönetim aktivitelerinin aralarındaki ilişkiyi, birlikte çalışabilirlik ve verimlilik esaslarına göre yürütebilmeleri için gereken karakteristikleri tariflemektedir. Çalışmanın bu bölümünde Endüstri 4.0'ı oluşturan olgunluk boyutları ve bu boyutların ölçülmesi ile elde edilecek olgunluk seviyelerinin nasıl belirleneceği anlatılmıştır.

4.1. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli Boyutları

Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli ile firmaların mevcut durumlarının ölçülmesinde 5 olgunluk seviyesi belirlenmiştir. Bu seviyeler 6 boyut 21 alan üzerine kurgulanmış Endüstri 4.0 yaklaşımına dayanmaktadır. Bahsi geçen 6 boyut; Strateji Yönetimi, Teknoloji Yönetimi, Organizasyon Yönetimi, Akıllı Üretim, Akıllı Süreçler, Akıllı Ürünlerdir. Bu tez çalışmasında organize ve sistematik bir şekilde tanımlanmaları ve uygulamada eşgüdüm sağlanabilmesine yardımcı olabilmek için daha önce belirtilen bir dizi Endüstri 4.0 olgunluk modeli örneklerine ilaveten CMMI, eTOM ve COBIT olgunluk modelleri esas teşkil etmiştir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında mevcut modeller;

- Endüstri 4.0 Olgunluk modelinin süreç çatısının oluşturulmasına baz teşkil etmiş,
- Süreç envanterinin bütünlüğünü temin için bir kontrol listesi olarak kullanılmış,
- Farklı endüstri standartlarına/modellerine uyumu sağlamak için terminoloji anlamında değerlendirilmiş,
- Diğer olgunluk modelleri ve akademik çalışmalar ile birlikte kaynak olarak kullanılmıştır.

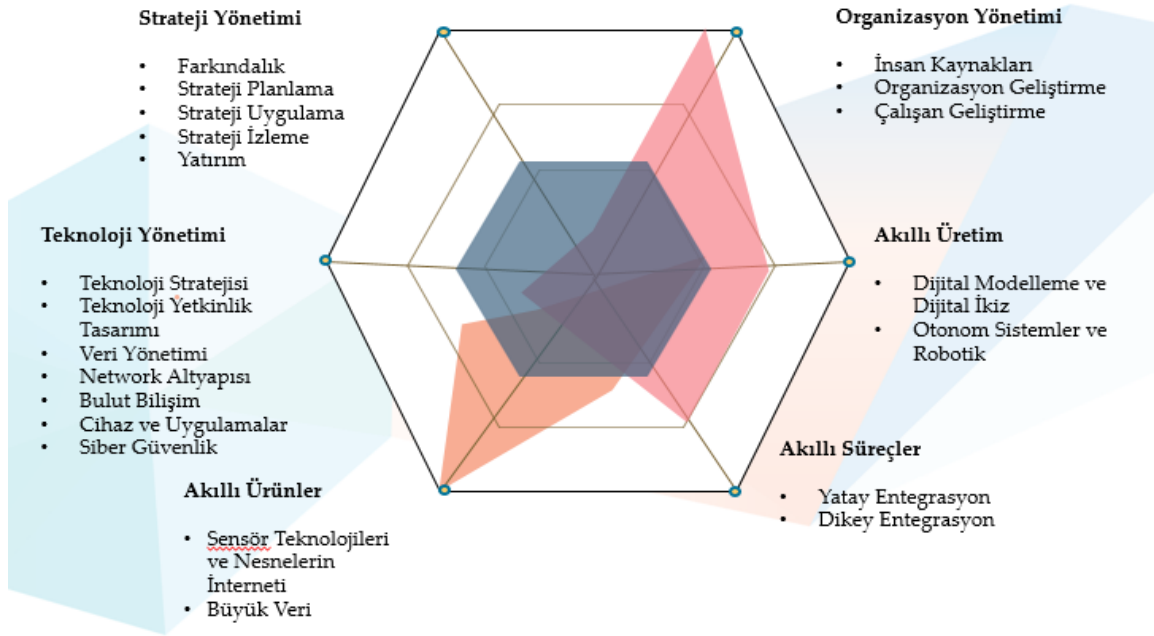
Dijitalleşme çalışmalarının endüstrideki önemi arttıkça, yatırım maliyetleri yüksek ve riskli proje yönetimlerini gerektiren teknoloji yoğun süreçlerin yönetilmesine ilişkin metodolojilere olan ihtiyaç da artmaktadır. Bu amaçla kurgulanan Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli-EOM 4.0 için düzenlenmiş olan olgunluk seviyeleri firmaların mevcut durumlarını, endüstrideki durum ve karşılaştırmalarını ve firmaların ileride nerede olmak istediği sorularına cevap vermeyi hedeflemektedir.

Sonuçta üretilmiş olan Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli-EOM 4.0; ETOM gibi telekomünikasyon ve haberleşme sektörüne yönelik üretilmiş süreç haritasını, CMMI gibi

yazılım ve bilgi teknolojileri alanındaki firmaların takip ettiği olgunluk modelini, COBIT gibi finans ve bankacılık sektörlerinin dikkate aldığı çerçeve standardı ve Endüstri 4.0 spesifik literatürü dikkate alacak şekilde kurgulanmıştır. EOM 4.0 mevcut haliyle; 6 boyut (veya seviye 1), 21 alan (veya seviye 2), 45 kriter (veya seviye 3) bütününden oluşmaktadır. Bu 6 boyut ve bu boyutları temsil eden 21 alan şöyledir;

1. Strateji yönetimi
 - a. Farkındalık
 - b. Planlama
 - c. Uygulama
 - d. İzleme
 - e. Yatırım
2. Organizasyon yönetimi
 - a. İnsan Kaynakları
 - b. Organizasyon Geliştirme
 - c. Çalışan Geliştirme
3. Teknoloji yönetimi
 - a. Teknoloji Stratejisi
 - b. Teknoloji Yetkinlik Tasarımı
 - c. Veri Yönetimi
 - d. Network Altyapısı
 - e. Bulut Bilişim
 - f. Cihaz ve Uygulamalar
 - g. Siber Güvenlik
4. Akıllı üretim
 - a. Dijital Modelleme ve Dijital İkiz
 - b. Otonom Sistemler ve Robotik
5. Akıllı ürünler
 - a. Sensör Teknolojileri ve Nesnelerin İnterneti
 - b. Büyük Veri
6. Akıllı süreçler
 - a. Yatay Entegrasyon
 - b. Dikey Entegrasyon

Endüstri 4.0 olgunluk modeline ilişkin boyutlar ve alanlar Şekil 4.1'deki gibi görselleştirilebilir;



Şekil 4.1. Endüstri 4.0 olgunluk modeli

4.1.1. Strateji yönetimi boyutu

Strateji, bir görevi gerçekleştirebilmek için seçilen yol ya da temel hareket tarzıdır. Benzer bir deyişle, strateji bir kuruluşun uzun dönemdeki yönelimi ve bakışıdır. Strateji kavramı, ilk ve yaygın biçimde askeri yönetim alanında kullanılmış olmakla birlikte önemi anlaşıldıkça uluslararası politikada, işletme yönetiminde ve kamu yönetiminde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu çerçevede strateji yönetimi, kuruluşun güçlü ve zayıf yanlarının belirlenmesi, kuruluş üzerinden etkili olabilecek çevresel faktörlerin durumunu ve kuruluşun gelecekteki pozisyonuna dair bütüncül vizyonunu ifade etmektedir.

Bir kuruluşun stratejisi; o şirketin hissedarları, müşterileri ve çalışanları için nasıl değer üretmeyi planladığını tanımlar. Kuruluşlar; uzun vadeli değer üretimini sağlayabilmek için, stratejisini temsil eden kilit parametreleri ölçümleyebilmelidir (Kaplan ve Norton, 2014).

Yapılan araştırmalar ve deneyimler; hiçbir şirketin strateji hakkında bir diğeriyle aynı şekilde düşünmediğini göstermektedir. Bazı şirketler stratejiyi gelir ve kar artışı için finansal planlar yapmak olarak tanımlarken, bazıları ürünleri ve hizmetleriyle, bazıları kalite ve süreçleri optimize etmekle, bazıları da insan kaynakları ve öğrenim olarak tanımlamaktadır. Bu kadar farklılığın sebebi bir bakıma anlaşılabilir zira bütüncül bir

yaklaşım geliştirilmediği takdirde üst düzey yöneticilerin şirketteki dominant etkisine göre yön bulunması beklenmektedir. Finans yöneticileri (CFO) stratejiye finansal açıdan, satış ve pazarlama yöneticileri müşteri açısından, üretimle ilgili çalışanlar kalite ve diğer süreç kriterleri açısından yaklaşabilmektedir. İnsan kaynakları profesyonelleri insana yapılan yatırıma odaklanırken, bilgi ve iletişim teknolojileri yöneticileri (CIO) ise teknolojiye odaklanabilmektedir. Bütüncül bir strateji geliştirilebilmesi ve şirketin aynı hedeflere ve yöne bakabilmesi; strateji kavramının uzun vadeli pozitif değer yaratabilmesi için kritik bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütüncül bir stratejinin kuruluş içerisinde çatışan güçleri dengeleyebilme özelliğine sahip olması ve birbirini tamamlayan eşzamanlı temalardan oluşması gerekmektedir.

Bir kuruluşun uzun vadeli oyun planı strateji ile belirlenmekte, belirlenen bu strateji çalışan, paydaş ve hissedarlarla hedef bazlı olarak paylaşılmaktadır. Yapılacak paylaşımın esası stratejinin ölçümlenebilmesine yönelik hedeflerdir. Bütüncül bir strateji üretimi sonucunda; satış ve pazarlama yaklaşımından, pazar ve marka farkındalığına, teknolojik altyapı ve dijitalleşme kurgusundan, sunulacak olan ürün ve servislere, tedarik zinciri planlamasından, orta-uzun vadeli ortaklık ve yatırım stratejilerine kadar tariflenmesi gerekmektedir. Zira tanımlayamadığınız konuları ölçemezsiniz ve ölçemediğiniz konuları yönetemezsiniz (Aktaş vd., 2009:15). Tam ve bütüncül kurgulanmış bir stratejinin uygulanması sonucunda; memnun hissedar ve paydaşlar, memnun müşteriler, etkili ve verimli iş süreçleri, motive olmuş ve geleceğe hazır işgücü elde edilmiş olur ve Endüstri 4.0 kavramının olmazsa olmaz boyutlarından birisi olan “Strateji Yönetimi” boyutu sağlanmış olur.

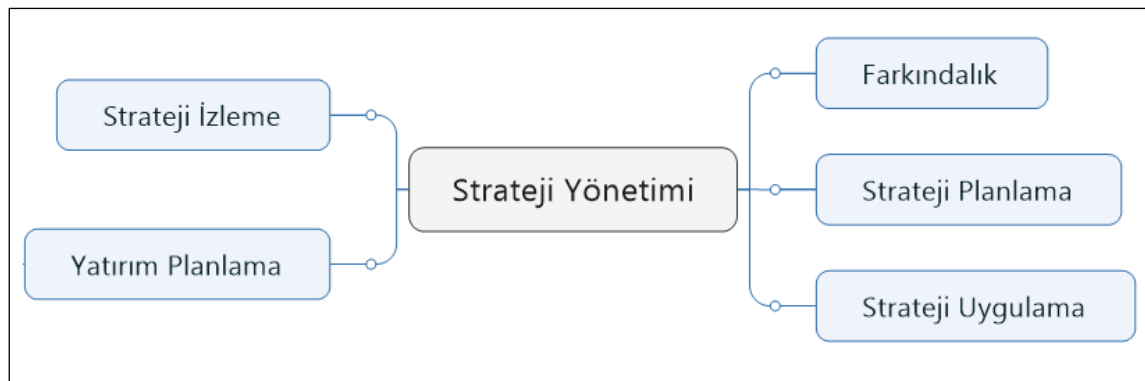
Endüstri 4.0 bir teknoloji yatırımı olarak değil, tüm işletmeyi kapsayan ve yeni iş modelleri getiren uzun dönemli bir işletme stratejisi olarak görülmelidir. Bu anlamda işletme stratejileri ile bütünleşik bir Endüstri 4.0 vizyonu ve stratejisi oluşturularak uygulanmalıdır. Bu strateji kapsamında Endüstri 4.0’a geçiş sürecinde kısa, orta ve uzun dönemi kapsayan dijital bir yol haritası oluşturulmalıdır. Bununla beraber oluşturulan strateji ve yol haritasının performans kriterlerinin belirlenerek izlenmesi diğer bir önemli konudur. Oluşturulacak stratejik yol haritasının üç temel niteliği bulunmalıdır (Erol, Schumacher ve Shin, 2016);

- Teknoloji destekli olarak yeni dönüşüm için sürekli bir planlama ve analiz alt yapısını sağlamak,

- Endüstri 4.0 ile ilgili vizyon, strateji ve projelerin bütünsel bir yapıda işleyişini sağlamak,
- Endüstri 4.0 geçiş sürecindeki tüm faaliyetlerin izlenmesi ve yönetimi için rehber niteliğinde olmak.

Bu çerçevede değerlendirildiğinde tanımlanmış ve tariflenmiş olan stratejinin; ölçüm metrikleri, amaç ve hedefler, proje ve programlar ile uygulamaya dönüştürülmesinin sağlanması gerekir. Son olarak; tüm bu strateji tanımlama, planlama, uygulama ve koordinasyon aşamalarının belirlenmiş metriklerle izlenmesi gerekmektedir (Kaplan ve Norton, 2014).

Temel olarak strateji yönetimi boyutunu Şekil 4.2’den takip edilebildiği üzere; farkındalığın sağlanması, stratejinin planlanması, uygulaması, izlenmesi olarak değerlendirmek mümkündür. Bunlara ilaveten yapılacak bütçe planlama ve gerçekleştirilecek yatırımların planlanması, stratejiye entegre bir şekilde yönetilmesinin, kuruluşun bütüncül bir yaklaşım geliştirmesi bakımından önemli olduğu değerlendirilmektedir. Bu boyutun en somut çıktısı olarak stratejik plan geliştirilmesi, geliştirilen planın hayata geçirilmesi, izlenmesi ve takip edilerek sürdürülebilir bir olgunlaşma yakalanmasıdır. Nihayetinde bütçe planlaması ve yatırımların planlaması için de bu çıktılar önemli bir girdiler bütününi teşkil edecektir.



Şekil 4.2. Strateji yönetimi boyutu alanları

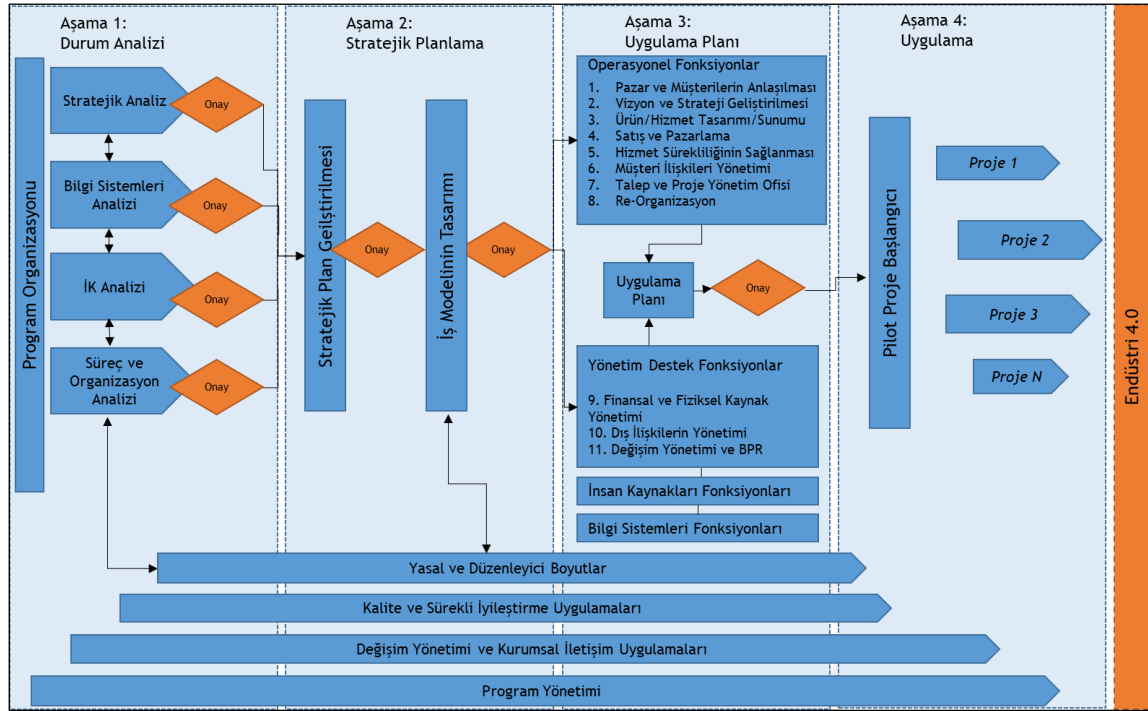
Stratejik plan geliştirilmesi sürecinde aşağıdaki gibi aşamalandırılmış bir çerçeve ile ilerlenmesi, kuruluşların strateji yönetimi boyutunun en önemli çıktısının üretilmesi için faydalı olacağı değerlendirilmektedir;

- Kuruluş için hayata geçirilecek stratejik plan için ön hazırlık yapmak,
- Kuruluşun mevcut durum analizini yapmak,

- Kuruluşun misyon, vizyon ve değerlerini gözden geçirmek,
- Farklılaşma stratejilerini belirlemek,
- Farklılaşma stratejileri doğrultusunda amaç, hedef ve stratejiler ile performans göstergelerini belirlemek,
- Her hedef için stratejileri, performans göstergelerinin plan dönemi boyunca alması hedeflenen değerleri, sorumlu ve ilgili birimleri, olası yatırımları ve maliyetleri, olası projeleri içeren hedef kartlarının oluşturulması ve plana son halinin verilmesi.

Şekil 4.3 çerçevesinde detayları görülebileceği üzere stratejik planlama kapsamındaki alt projelerin uygulanması için zaman ve kaynak planı oluşturulması gerekmekte ve bu doğrultuda hedeflenen ana iş adımlarının gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Strateji planlama sürecinde ve sonrasında kuruluşların bütüncül yaklaşımı korumaları, iş birliği ve etkileşim içerisinde ilerlemeleri, kuruluşun temelini ve kaynaklarını güçlendirecek şekilde yol alınması önemlidir. Bu bağlamda üretilmiş ve aşamalandırılmış model çerçevesinde yer alan ilk aşama “Durum Analizi”, ikinci aşama “Stratejik Planlama” ve üçüncü aşama “Uygulama Planının Oluşturulması” ve son aşama olan “Uygulama” çalışmalarına ilişkin ana iş adımları ve ilgili program çerçevesinde ilgili kuruluşun ulaşacağı hedef yapı öncelik sırası da gözetilerek sunulmuştur. Üretilen planlar dahilinde, ilgili kuruluşun daha rekabetçi, dinamik ve sektöründe lider kuruluş olması veya lider kuruluş gereksinimlerini elde edebilmesi hedeflenmektedir.

Aşamalandırılmış model kapsamında kuruluşların mevcut durum analizlerini (stratejik analiz, bilgi sistemleri analizi, insan kaynakları analizi, iş süreçleri ve organizasyonel mimari analizi) yapmaları, bu veriler ışığında geleceklerini şekillendirecek stratejik plan geliştirmeleri ve geliştirilmiş planın hayata geçirilmesine dair takip edecekleri iş modelini üretmeleri gerekmektedir. Her aşama kapsamında belirlenmiş iş modeline uygun olarak onay mekanizmaları çalıştırılmalı ve kuruluş üst yönetiminin dahil olduğu bir onay süreci ile ilerlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.3. Strateji yönetimi boyutu ve endüstri 4.0 geçiş planlaması

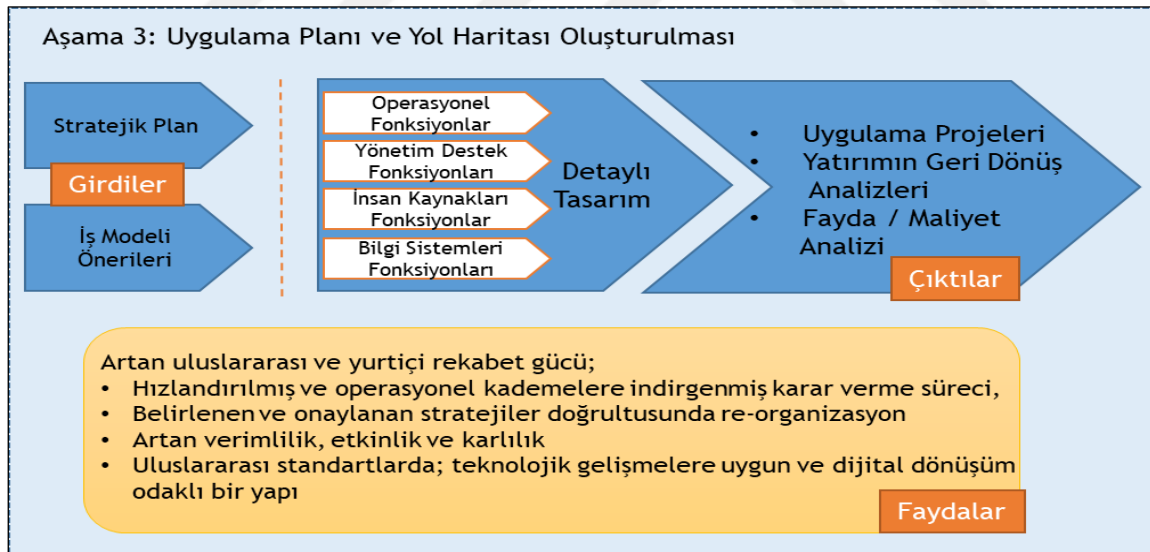
Strateji uygulama planlamasının üretilmesi önemli aşamalardandır. Kuruluşun operasyonel fonksiyonları (Pazar ve müşteri gereksinimleri, ürün ve hizmet tasarımı, satış ve pazarlama, müşteri ilişkileri vs), yönetim destek fonksiyonları (finansal ve fiziksel kaynakları, iç ve dış iletişim yönetimi, değişim yönetimi vs), insan kaynakları fonksiyonları ve bilgi teknolojileri fonksiyonları gibi ana aks üzerindeki konuları barındırmalıdır. Burada belirtilen ve bir kuruluşun omurgasını oluşturmakta olan fonksiyonların tamamını dikkate alacak şekilde stratejik planın geliştirilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirirken, ulusal/uluslararası yasal ve düzenleyici unsurların, kalite ve sürekli iyileştirme felsefesinin gereksinimlerinin, kurumsal iletişim yönetimi ve değişim yönetimi ihtiyaçlarının program ve proje yönetimi yaklaşımına uygun olarak entegre edilmesi gerekmektedir. Proje yönetimi metodolojisi olarak PMI tarafından üretilmiş ve profesyonel dünyada karşılık bulmuş durumdaki PMBOK (2017) çerçevesindeki klavuzdan faydalanılması mümkündür.

Kuruluşlarda strateji belirlenirken Şekil 4.3'de belirtilen tüm analiz sonuçları bütünlleştirilerek aşağıdaki önemli unsurlar değerlendirilmelidir;

- Rekabet avantajının ve pazar fırsatlarının değerlendirilmesi,
- Pazar payının korunması ve geliştirilmesi,
- Yerel, bölgesel ve uluslararası pazarlara yaklaşım ve genişleme stratejisi,
- Hedef müşteri segmentleri, pazar odaklanması (kurumsal, bireysel),

- Fiyatlandırma, sunulan ürün ve hizmetler, satış ve pazarlama stratejileri de dahil olmak üzere fonksiyonel stratejik gereklilikler,
- Teknoloji ve hizmet stratejileri,
- Organizasyonel yapılanma stratejileri ve etkileri,
- Stratejinin bütçe ve yatırım etkileri,
- Kritik operasyonel eksiklikler, operasyonel beceriler,
- Stratejik performans hedefleri,
- Hukuki ve düzenleyici stratejiler.

Stratejik planın geliştirilmesi ve ilgili kuruluş tarafından onaylanması durumunda; üretilecek stratejiler ve kurgulanacak iş modeli çerçevesinde, ilgili kuruluşun esnek ve rekabet edebilen bir sektör temsilcisi olmasına imkan tanıyan çalışma modelinin detaylandırılması gerekmektedir. Bu bağlamda ilgili kuruluşun belirlenen kriterler ve geliştirilmiş stratejik plan doğrultusunda uygulama planını hayata geçirmesi ile elde edilecek faydalar aşağıda Şekil 4.4’de ifade edilmiştir:



Şekil 4.4. Uygulama planı ve yol haritası

Şekil 4.4 kapsamında stratejik plan ve buna bağlı gelecek perspektifi, kuruluşların belirledikleri stratejileri uygulayabilmeleri için operasyonel, yönetim destek, insan kaynakları ve bilgi teknolojileri fonksiyonlarına dair detaylı tasarımlar yapmaları gerekmektedir. Yapılan bu detay çalışmaların neticesinde geliştirilmiş stratejik planın uygulama projelerine dönüşmesi, ilgili projelerin kuruluş açısından fayda maliyet

analizlerinin yapılması ve projelerin yatırımın geri dönüş oranlarının (ROI-return on investment) hesaplanması beklenen çıktılardır.

Hızlandırılmış ve operasyonel kademelere indirgenmiş karar verme süreci, belirlenen ve onaylanan stratejiler doğrultusunda kuruluş organizasyonel mimarisinin revize edilmesi, verimlilik ve etkinlik artışı, uluslararası standartlarda teknolojik gelişmelere uygun ve dijital dönüşüm gereksinimlerini dikkate alan bir kuruluş yapısı elde edilmesi ise beklenen faydalar arasında sıralanabilmektedir.

Şekil 4.4 çerçevesinde ele alınacak çalışmalar uzmanlık grupları bazında aşağıda Çizelge 4.1’de özetlenmektedir:

Çizelge 4.1. Değerlendirilecek konular ve fonksiyonlar

Operasyonel ve Yönetim Destek Fonksiyonları	❑ Hedef yapıda öngörülen süreç tanımlarının yapılması, ❑ Süreç aktivitelerinin belirlenerek süreç haritalarının çizilmesi, ❑ Sürecin gerçekleşmesi sırasında görev alan fonksiyon, birim veya çalışanların belirlenmesi, ❑ Sürecin gerçekleşmesi sırasında kullanılacak araç ve teknolojik çözümlerin belirlenmesi, ❑ Süreç performans hedef ve göstergelerinin tanımlanması ❑ Farklı süreçler arasındaki dahili etkileşimin incelenmesi ❑ Kalite, maliyet ve gelir etkileri göz önüne alınarak yapılan iyileştirmeler sonucunda elde edilecek faydaların tanımlanması, ❑ Hedef yapı için maliyet düşürme potansiyelinin ve gelir etkisinin belirlenmesi, ❑ Hedef yapı detaylı tasarımının ilgili kuruluşun üst yönetimi ile teyidi.
Bilgi Teknolojileri / Sistemleri	❑ Hedef yapı bilgi ve iletişim teknolojileri süreçlerinin detaylı tasarlanması ve süreç haritalarının oluşturulması, ❑ Süreç performans hedef ve göstergelerinin tanımlanması, ❑ Uygulama mimarisinin oluşturulması, ❑ Veri yapısı mimarisinin oluşturulması, ❑ Altyapının mantıksal ve fiziksel seviyelerde mimarisinin oluşturulması, ❑ Mevcut durumdan yeni mimariye geçiş için seçeneklerin incelenmesi, ❑ Mobil uygulama üretimine dair ihtiyaçların netleştirilmesi ve uygulama üretilmesi, ❑ Hedef yapının dokümanite edilmesi, ❑ Hedef yapı detaylı tasarımının ilgili kuruluşun üst yönetimi ile teyidi.

Çizelge 4.1. (devam) Değerlendirilecek konular ve fonksiyonlar

İnsan Kaynakları Yönetimi	❑ Stratejik insan kaynakları yönetimi altyapısının kurulması, ❑ İşe alma, yerleştirme ve işten çıkarma sisteminin değerlendirilmesi, ❑ Performans yönetim sisteminin yapılandırılması, ❑ Eğitim ve geliştirme sisteminin değerlendirilmesi, ❑ Kariyer yönetimi sisteminin değerlendirilmesi, ❑ İnsan kaynakları planlaması, ❑ Ücret yönetimi sisteminin değerlendirilmesi, ❑ Motivasyon ve ödüllendirme.
Kurumsal Gelişim	❑ Kurgulanacak sistemlerin etkinleştirilmesine yönelik olarak ilgili kuruluşun bütününde katılımı temin edecek bilincin ve motivasyonun yaratılmasına destek verilmesi, ❑ Endüstri 4.0 bağlamındaki strateji süresince hayata geçirilecek uygulamalar, yapısal değişiklikler ve iyileştirmelerle, kuruluşta “sürekli iyileştirme” sürecinin ve anlayışının yerleştirilmesinin sağlanması, ❑ Talep ve proje yönetimi kurgusu ile kuruluş bünyesindeki çalışmaların proje bakış açısıyla ele alınması, ❑ Dijital dönüşüm odaklı bir yaklaşım geliştirilmesi, ❑ Strateji geliştirme ve planlama sürecine dair süreç ve teknoloji sahipliği geliştirilmesi.
Değişim Yönetimi ve Kurumsal İletişim	❑ Hükümetle ilişkiler, kamu, medya, yatırımcı ve çalışanlara doğru ve etkili mesaj verilmesinin sağlanması, ❑ Kamuoyunda oluşabilecek tepkilerin karşılanması ve tedbirlerin alınması, ❑ Üst yönetim ve çalışanlar arasında etkin bilgi paylaşımının yerleştirilmesi, ❑ Ulusal ve uluslararası bilgi kaynaklarına kuruluş imajının doğru şekilde yansıtılması, ❑ Dış ilişkilerde duyurulan bütün konuların çalışanların merakını önlemek için mail ve/veya iç iletişim platformu yoluyla kuruluş içinde paylaşılması, ❑ İlgili kuruluş çalışanlarının iç iletişimini birlikte çalışabilme yeteneğini artırmaya yönelik alt yapı kurgulanması, ❑ İlgili kuruluşta toplam marka analizi yapılması, ❑ İletişim stratejisinin oluşturulması.

Stratejik planın geliştirilmesi ve uygulama aşamasına geçmesi, projelendirilmiş olması, sorumlu ve ilgili fonksiyonların tespit edilmesi, risklerin netleştirilmesi ve pilot projelerle adım adım hayata geçirilmesi kuruluşların değişimi yönetebilmeleri açısından önem arz eden gereksinimlerdir. Bu gereksinimlerin yerine getirilebilmesi, proje yönetimi

yaklaşımının benimsenmesi ve bu bağlamdaki bütçe planlama, risk yönetimi, kalite yönetimi gibi yatay fonksiyonların entegre bir şekilde yönetilmesiyle kolaylaştırılabilmektedir.

Kuruluşların profesyonel gelişimlerini sağlayabilmeleri açısından, geleceğe yönelik stratejilerinin planlanması, uygulanması ve takip edilebilmesi kritik bir başarı boyutudur. Kurumsal gelişim olarak da değerlendirilebilecek olan bu aktiviteler bütünü, kurumsal eylemsizliğin getireceği sorunları engellemektedir. İşletmelerde geliştirilen stratejik plan kapsamındaki, stratejik amaç ve hedeflerin takip edilmesi, oluşacak olası sorunların önceden öngörülebilmesini de sağlayabilmekte ve sürekli iyileştirme felsefesini de beslemektedir. Sorun çözme yöntemi, sorunun ortaya çıkmasından sonra işleyen bir süreçtir. Oysa sürekli iyileştirme, sistematik bir biçimde sorunların nedenlerini bulmak ve yok etmek üzerine kuruludur. Üst yönetimin zorlamasıyla yukarıdan aşağıya (top down) değişim ve gelişim ihtiyaçlarının veya aşağıdan yukarıya paylaşılan (bottom up) değişim ve gelişim ihtiyaçlarının tek yönlü olarak ilerlemesi başarılı bir sonuç üretmeyecektir. Kuruluşlarda hayata geçirilecek Endüstri 4.0 gereksinimlerinin gerçekleştirilmesi veya dijital dönüşümün hızını ve kalıcılığını sağlamanın en etkili yolu daha geniş bir çerçevede ve kuruluşun tüm katmanlarına yayılım olduğunu kabul etmek gerekmektedir.

Netice itibarıyla strateji yönetimi boyutu gerek Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi çerçevesinde, gerekse kurumsal gelişme ve iyileştirme çabalarının bir aracı olarak değerlendirilmelidir. Stratejik planlarda hedeflenen sonuçlar belirli periyotlarda takip edilmeli ve sapmalar analiz edilerek anlamlandırılmalıdır. Bu izleme ve takip sürecinin kuruluşun bütçe planlamasıyla entegre bir şekilde ilerlemesi önem arz etmektedir. Stratejik plan kapsamında tanımlanmış olan stratejik amaç, stratejik hedef ve bağlı performans göstergelerinin, kuruluşun bütçe disiplini içerisindeki karşılığının da tespit edilmesi öncelikli bir aktivitedir. Tespit edilen bütçe planlaması, projelendirilmiş hedeflerin gerçekleştirilmesi sürecinde kullanılmakta ve ilgili projenin hayata geçirilmesini garanti altına almaktadır. Kuruluşların operasyonel süreçlerini yürütürken çok sayıda farklı kaynağa (bilgi teknolojileri sistemleri, üretim sistemleri, makineler, malzemeler vs) sahip olmaları nedeniyle, bu kaynakların yıllık yatırım planlama süreçlerinin ve kısa-orta-uzun vade stratejik planlama aktivitelerinin entegre olması gerekmektedir. Buradaki entegrasyonun sağlanabilmesi, kuruluşların iş verimliliği, kurumsal ve bireysel üretkenliğin artırılması bakımından gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

4.1.2. Organizasyon yönetimi boyutu

Endüstri 4.0 platformu yönlendirme kurulu; Endüstri 4.0 kavramını aşağıdaki gibi tanımlamayı uygun görmüştür ve bu kapsamda organizasyonel mimarinin, kuruluşun çalışan profiline, dijital dönüşümün entegre ve dengeli bir strateji ile hareket etmesi gerektiğinin altı çizilmiştir. Buna göre; “Endüstri 4.0 terimi; dördüncü sanayi devrimi çerçevesinde, ürün yaşam döngüsündeki bütün değer zincirini yeni bir organizasyon ve kontrol etme seviyesi” olarak tariflemektedir. Bu döngü; kişiselleştirilmiş müşteri talepleri ve ürünün müşteriye ulaşana kadar geçen (tasarımdan siparişe, geliştirmeye, üretime, son kullanıcıya sevkiyatına ve bu döngünün bütünü) sürecin tamamına odaklanmaktadır. Bu süreç içerisinde bulunan tüm aşamaların, işlemlerin, süreçlerin, objelerin optimum değer ve değer zincirinin tamamında gerçek zamanlı takip edilebildiği bir bilgi paylaşım altyapısı temeli olması hedeflenmektedir. İnsanlar, süreçler, nesneler ve sistemler arasındaki bağlantı; dinamik, gerçek zamanlı, optimize edilmiş, kendi kendine organize olmuş, çapraz-kurumsal katma değerli ağ üzerinde çalışabilen ve maliyet, kaynak kısıtı ve erişilebilirlik gibi kriterler bağlamında optimize edilmiş bir temel inşa etmelidir” (Plattform Industrie 4.0, 2019) denilmiştir.

Bu tariflemeye göre Endüstri 4.0’ı; mevcut endüstrinin geleceğini tanımlayan bir vizyon olarak değerlendirmek mümkündür. Spesifik potansiyeli, yukarıda bahsi geçen yüksek esneklik, yüksek verimlilik, kaynak etkin üretim sağlayabilen, üretimi ekonomik ve kişiselleştirmeye müsait hale getiren bir yaklaşımdır. Mühendislik, üretim, lojistik, hizmet ve pazarlama aktivitelerinin tamamı birbirleriyle bir ağ üzerinde haberleşebilmektedir. Bu bağlamda kurgulanacak Endüstri 4.0 vizyonunun uygulaması sürecinde, kuruluşların mevcut organizasyonel, kültürel ve çalışan profillerinin dijitalleşmeye yatkın, gelişmeleri takip edebilen ve yeni düzeni hızlı kavrayarak ayak uydurabilecek potansiyelde olması gerekmektedir.

Kuruluşlarda süreç iyileştirme, teknolojiyi kullanma veya üretim optimizasyonu gibi alanlarda gerekli olan bütün verilere sahip olursa bile bu verileri yorumlama ve anlamlandırma konularında yetkin personele sahip olmak gerekmektedir. Dolayısıyla kuruluşlar verileri yorumlama, içgörüler elde etme ve en başta doğru soruları sorma becerisine sahip her kademede çalışana giderek daha çok ihtiyaç duymaktadır (Bersin ve Zao-Sanders, 2020).

Günümüz koşullarında iş dünyasının ihtiyaç duyduğu yetkinlikler ve iş gücünde çok önemli bir dönüşümden bahsetmek mümkündür. Dünya Ekonomik Forumu'nun 2020 yılında yayımladığı raporda ifade edildiği üzere, dördüncü sanayi devrimi 2018-2022 yılları arasında 133 milyon yeni işin doğmasını, bu durumda 75 milyon işin güncelliğini kaybetmesini beraberinde getireceği belirtilmektedir (World Economic Forum, 2020). Benzer bir araştırma McKinsey firması tarafından 2020 yılı başında sadece Türkiye bağlamında yayınlanmış bir raporda yer almaktadır. Rapor detayları incelendiğinde önümüzdeki 10 yıl için otomasyon ve dijitalleşmenin etkisiyle Türkiye'de 7,6 milyon işin ortadan kalkacağı öngörülmektedir. Buna paralel olarak ise 8,6 milyon yeni iş kolu oluşacağı tahmin edilmektedir (McKinsey, 2020). Buradan hareketle kimilerine göre başlangıcında, kimilerine göre ise ortasında yer aldığımız dördüncü sanayi devriminin, kendisinden önceki her devrimin kendi mecralarını doğurması gibi yeni meslekler yaratmakta, yeni alanlar açmakta mahir olduğu görülmektedir.

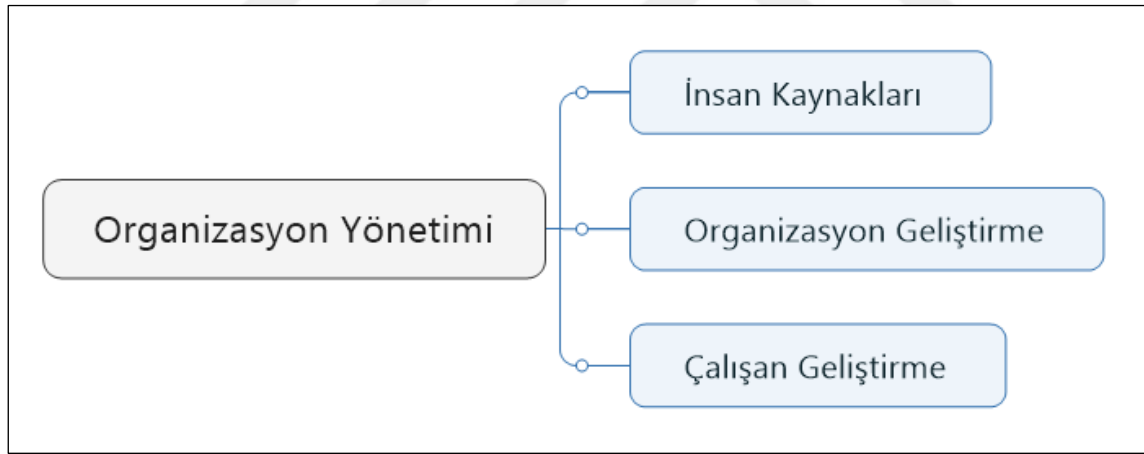
Endüstri 4.0 vizyonu; kuruluşlar açısından bir teknoloji yatırımı olarak değil kültürel değişim yaratan bir işletme stratejisi olarak da görülmelidir. Bu nedenle işletmenin, organizasyonel ve kültürel yapısı Endüstri 4.0 vizyonunun önemini kuruluş içerisinde yerleştirmek ve kabullendirmek için organize edilmelidir. Örneğin organizasyonel yapı içerisinde Endüstri 4.0 ile ilgili birim ve pozisyonlar oluşturulmalıdır. Ayrıca çalışanlar için yenilikçiliği ortaya çıkaracak takım çalışmasını destekleyen ve serbest bir çalışma ortamı da gerekmektedir (Lichtblau vd., 2015).

Endüstri 4.0 üzerine yapılan araştırmalar, sektörel raporlar incelendiğinde kuruluşlardaki çalışanların değişime olan bağlılıkları ve Endüstri 4.0 vizyonunun kavrayış biçimi olarak profesyonel eğitimle desteklenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Geissbauer, Vedso ve Schrauf'ın 2016 yılında Endüstri 4.0 üzerine yaptığı araştırmada dijital kültür ve eğitim eksikliği Endüstri 4.0 geçiş süreçlerinde kuruluşların karşılaştığı en önemli eksiklik olarak belirtilmiştir (PwC, 2016). Endüstri 4.0, yenilik odaklı süreç ve teknolojilerin kullanıldığı bir yapıya sahip olmalıdır. Bu anlamda Endüstri 4.0'a geçiş ve sonrasında sürdürülebilir bir uygulama için kuruluşun, organizasyonel mimarisi içerisinde araştırma geliştirme, inovasyon, teknoloji yönetimi, proje yönetimi ve bilgi yönetimi gibi alanlara da yatırım yapması gerekmektedir.

Endüstri 4.0 uygulamaları yenilik odaklı, sürekli eğitim ve gelişim tabanlı işgücü stratejisi ile teknolojinin bütünleştiği bir sosyo-teknik yaklaşım gerektirmektedir (Kagermann vd.,

2013). Endüstri 4.0 vizyonu; beraberinde kuruluşlara yeni iş modelleri getirmesiyle operasyonel süreçlerin insansız olarak gerçekleşmesinden dolayı fiziksel güce dayalı işgücü azalarak, beyinsel güce dayalı işgücü ihtiyacının artacağı beklenmektedir. Bu nedenle Endüstri 4.0'a geçiş süreçlerinde kuruluşların, dijital değişime ayak uyduracak ve gerçekleştirecek nitelikli işgücüne ihtiyaç duyacaklardır. Ayrıca kuruluşlarda bilgi teknolojileri, otomasyon teknolojileri, büyük veri analitiği ve güvenliği ve üçüncü taraf yazılımlar alanlarında da istihdam ihtiyacı ortaya çıkacaktır (Kocak ve Dişadin, 2018).

Bu anlamda Endüstri 4.0 vizyonunu uygulamaya alacak bir kuruluş için; "Organizasyon Yönetimi" boyutu altında; öğrenmeye ve değişime açık çalışan profili oluşturulmasına yönelik strateji ve politikaların belirlenmesi, oluşturulacak iş modellerinin ve iş yapış şekillerinin optimum seviyede yönetilebilmesi için dizayn edilmiş organizasyon mimarisinin oluşturulması, mevcut personeli Endüstri 4.0 vizyonuna uygun dinamikleri yakalayabilmesi için eğitecek ve geliştirecek liderlik inisiyatifinin elde edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.5. Organizasyon yönetimi boyutu ve alanları

Temel olarak organizasyon yönetimi boyutunu Şekil 4.5'den takip edilebildiği üzere, kuruluş bünyesindeki insan kaynakları strateji ve politikalarının, kuruluşa ait organizasyonel mimarinin ve nihayetinde çalışan gelişiminin teminatı olarak ele almak gerekmektedir. Bu boyutun en somut çıktıları; çalışan işe alma ve yerleştirme, çalışanların ücret ve yan haklarının tespit edilmesi, stratejik plan ile entegre performans yönetim sisteminin uygulanması, çalışan eğitim ve yatırım planlarının oluşturulması, organizasyon mimarisinin iş süreçleriyle, görev tanımlarıyla entegre ve sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesi olacaktır.

Endüstri 4.0 kavramı ve dijital dönüşüm, geçmişteki endüstriyel devrimlerde olduğu gibi, tekrarlayan işlerde çalışan insanların yerini makinelerle bırakmasına sebep olmakta; büyük veri analizlerinden faydalanan, birbirleriyle entegre ve tam otomasyona sahip akıllı sistemleri yaygınlaştırarak bir yandan makine-makine ve makine-insan etkileşimini, diğer yandan da nitelikli iş gücüne olan ihtiyacı artırmaktadır (TÜSİAD, 2017).

Bu noktada nitelikli insan kaynağının, Endüstri 4.0 vizyonu bağlamında dijital dönüşümle birlikte değişen ihtiyaçlara uyum sağlayacak şekilde hazırlanması gerekmektedir. Süreç boyunca insan kaynağının niteliğini artırma yönünde yapılan tüm çalışmaların, nitelikli iş gücü artışında tetikleyici olması beklenmektedir. Bunun yanı sıra, mevcut iş gücünün yetkinliklerinin geliştirilmesi için uzun vadeli ve stratejik istihdam politikasını hayata geçirmek büyük önem taşımaktadır (TÜSİAD, 2017).

Kuruluşların öncelikli konularından biri haline gelen yetenekli çalışanların kuruluşa çekilmesi ve/veya elde tutulması ve bağlılıklarının sağlanmasında, eğitim ve kariyer geliştirme olanaklarının varlığı ve yöneticilerin çalışanlarına koçluk yapabilmesi önemli noktalar olarak değerlendirilmektedir. Çalışanlar artık kendilerini geliştirebilecekleri, yenileyebilecekleri ve sürekli öğrenebilecekleri kuruluş ortamlarını tercih etmekte ve yöneticilerinden de kendilerine değer vermelerini, fikirlerine saygı göstermelerini ve onları teşvik etmelerini beklemektedirler (Doğan ve Demiral, 2008).

Bu alan, kuruluşların kurumsal kimliği ve genel yönetim politikalarına paralel olarak insan kaynağının yönetimi için belirlediği stratejileri ve politikaları içerir. Herhangi bir kuruluşun Endüstri 4.0 iş modeline yaklaşımına dair olgunluk düzeyi belirlenirken dikkate alınması gereken en kritik kaynağın, çalışanlar olduğu gözardı edilmemelidir. Bu bağlamda, “insan” sermayesinin nasıl optimize edileceği, mevcut şirket stratejileri ile çalışanların ne şekilde entegre edileceği, kuruluş hedeflerine ulaşmak için ihtiyaç duyulan kaynak, yetenek, davranış kümelerinin belirlenmesi aktivitelerini kapsamaktadır. Oluşan çıktılar insan kaynakları ilişkili bütün alanlara da girdi oluşturur.

Sektörel araştırmalar ve bilimsel çalışmalar organizasyonların sahip olduğu insan sermayesinin, önemli bir rekabet avantajı kaynağı olduğunu göstermiştir (Guthrie, 2001). Organizasyonların sahip olduğu insan kaynağının yeterliliği ve nitelikleri, günümüz organizasyonlarının yenilikçilik düzeylerinin artırılmasında önemli bir işlev görmektedir. Endüstri 4.0 vizyonunu hayata geçirebilmek veya kurumsal verimliliğini artırmak üzere yenilikçilik düzeyini artıran organizasyonlar, çevresel değişimlere ve özellikle müşteri

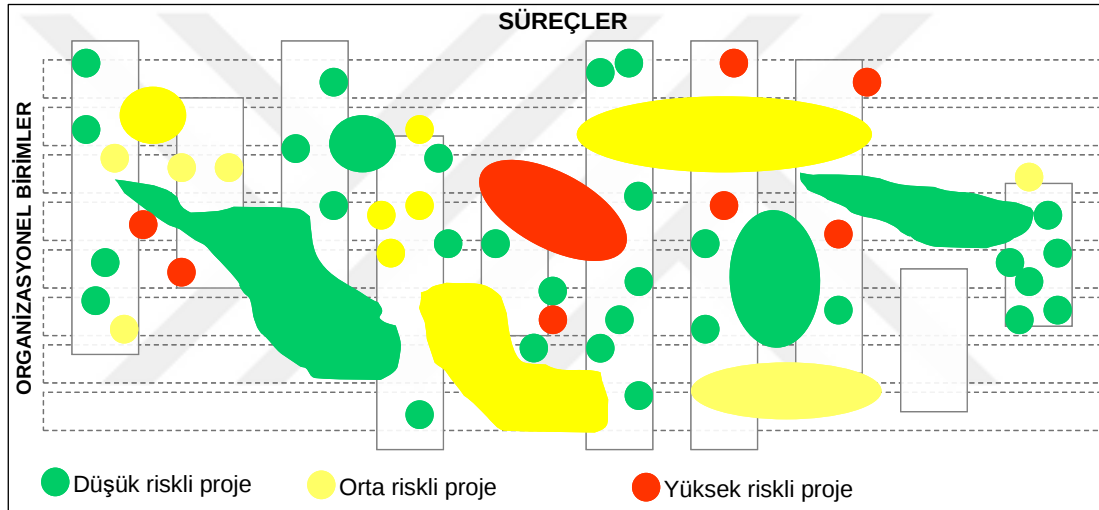
ihtiyaçlarındaki değişimlere daha kolay uyum gösterme imkanı elde edebilmektedir. Bu nedenle birçok organizasyon yenilikçilik düzeyini artırmaya gayret etmektedir.

Endüstri 4.0 vizyonunu yerine getirecek olan kuruluşların; dijital ve yeni iş modellerine uygun olarak organizasyonel yapılara sahip olması kaçınılmazdır. Bu bağlamda; organizasyonun mimarisi, kuruluşun iş yapış şekillerine uygun üretilmiş pozisyonlara ve bu pozisyonları yöneten çalışanlara göre optimize edilmesi gerekmektedir. Bu anlamda organizasyonun sürekli iyileştirme kurallarına göre; çalışanların yetenekleri, fonksiyonları, rol ve sorumlulukları ile bir bütün olarak çalışabilmesi kritik öneme sahiptir.

Yürütülmekte olan ve yürütülecek projelerin stratejilere uyumunu sağlayan, durumunu ve gerçekleştirmeleri değerlendiren merkezi bir proje koordinasyonu oluşturulmalı, projeler arası iş birliğini sağlamak ve mükerrerlikleri önlemek için farklı projeler koordine edilmelidir. Bu amaca yönelik olarak merkezi bir PMO (Program ve Proje Yönetim Ofisi) kurulması Endüstri 4.0 olgunluğu açısından faydalı görülmektedir. PMO'nun öncelikleri arasında iş ve müşteri servisleri için değer yaratılmasına odaklanan proje portföy yönetimi geliştirilmesi yer alabilir. Projelerin başarısını güvence altına almak için endüstri 4.0 gereksinimlerini hayata geçirecek değişim yönetim stratejileri geliştirilmeli ve devreye alınmalıdır. Projelerin bütçe ve maliyetini olduğu kadar tanımlı hedeflere ulaşma derecesinin de izlenmesi ve kontrol edilmesi müşteri odaklılığın bir gereğidir. Maliyetleri, etkileri ve gelirleri (ya da maliyet azaltmayı) dikkate alan iş için değer analizine sahip proje önceliklendirme ve onay mekanizması gereklidir. Bütün kuruluşlar için temel öncelik gelir artırıcı, gider azaltıcı ve itibar yönetimini öncelikli kılacak yöntemlerin entegre edilmesidir. Etkin bir kurumsal proje yönetimi fonksiyonunun devrede olması, kuruluşun Endüstri 4.0 olgunluk modeli boyutlarına uygun bütün süreçlerini, iş ve işlemlerini, stratejik plan çıktılarını izleyebilmesi için aşağıdaki sorulara yanıt verebiliyor olması beklenir;

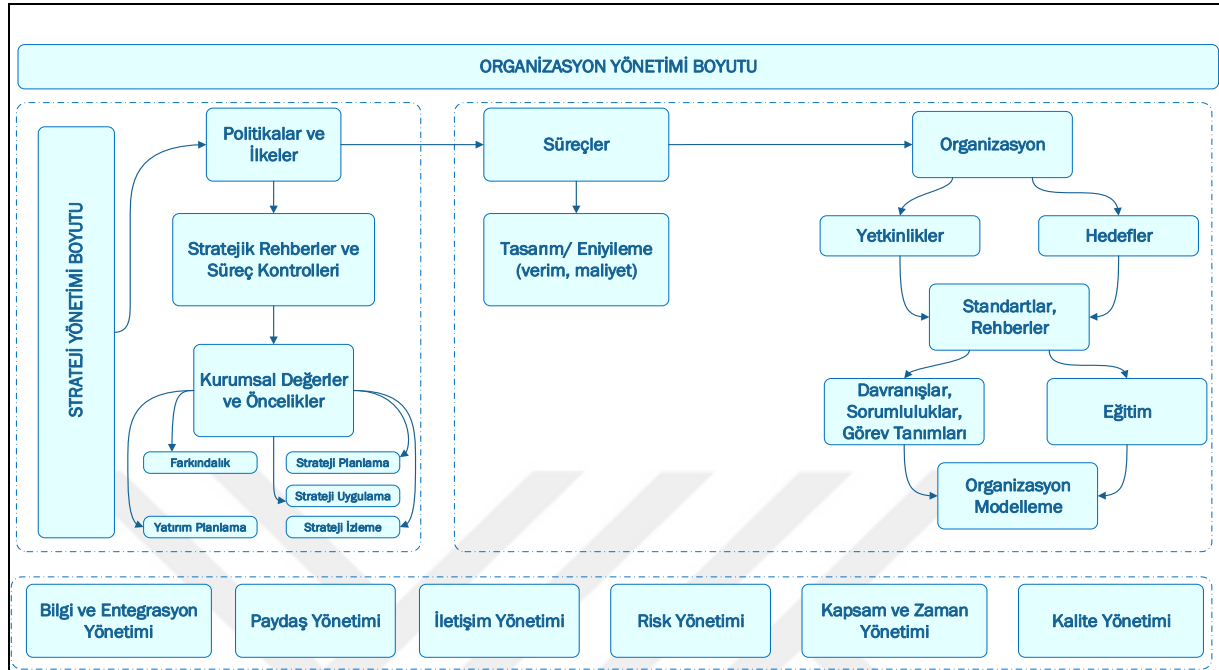
- Halen yürüyen kaç proje var?
- Sıradaki proje sayısı kaçtır?
- Bu projeler için ne kadar finansman sağlanmaktadır?
- Projelerin sınıfları/kategorileri nedir?
- Mevcut risk seviyeleri nedir?

- Hangileri müşteriye değer yaratmaktadır?
- Planlanan maliyet, süre ve hedefleri nedir?
- Mevcut durumları nedir?
- Hangileri birbirleriyle ilişkilidir?
- Projelerde kaç kişi çalışmaktadır?
- Projelerde kaç adet tedarikçi/ortak yer almaktadır?
- Hangileri kurum stratejileriyle uyumludur?



Şekil 4.6. Organizasyon mimarisi ve iş süreçleriyle ilişkili proje risk haritası

Kuruluşlarda stratejik plan kapsamında belirlenen stratejik amaç ve hedeflerin, önceliklendirilmiş ve projelendirilmiş yapısının Şekil 4.6’da örnek olarak (proje-risk ilişkisi) sunulan yapıya benzer bir şekilde üst yönetim tarafından takip edilebilmesine imkan tanıyacak periyodik raporlamalara ihtiyacı bulunmaktadır. Bu ihtiyacın giderilmesi ve kurumsal üretkenliğin artırılması açısından kurumsal proje yönetiminin tüm unsurları ile birlikte devrede olması beklenmelidir. Bu anlamda projelerin tek tek iyi yönetiliyor olması belirli bir ölçüde fayda sağlasa da esas fayda, ortak bir proje yönetim dili oluşturulması (metodoloji, standartlar, süreçler, performans yönetimi vb.) ve portföy yönetiminden gelecektir (PMBOK, 2017).



Şekil 4.7. Organizasyon yönetimi boyutu ve detayları

Şekil 4.7 kapsamında Endüstri 4.0 olgunluk modeli boyutlarından strateji yönetimi boyutu ile organizasyon yönetimi boyutunun mercek altına alınmış hali şematize edilmiştir. Buna göre; strateji yönetimi boyutundan gelen stratejik plan gereksinimleri, kuruluşun vizyon ve politikalarıyla entegre öncelikleri organizasyon yönetimi boyutuna girdi teşkil etmektedir. Kuruluşun iş süreçleri ve organizasyonel mimarisi ve gelecek perspektifi birbirini besleyen, güncelleyen ve verimliliği (insan-süreç-teknoloji sacayağı) artıran bir uyum içerisinde yürütülmesi teminat altına alınmalıdır.

Proje yönetimi disiplini ve birden fazla alt proje çerçevesinde bilgi ve entegrasyon yönetimi, paydaş yönetimi, iletişim yönetimi, risk yönetimi, kapsam ve zaman yönetimi ile kalite yönetimi, söz konusu program yönetimi çerçevesinde ve PMI metodolojisine uygun olacak şekilde yürütülmesi faydalı olacaktır.

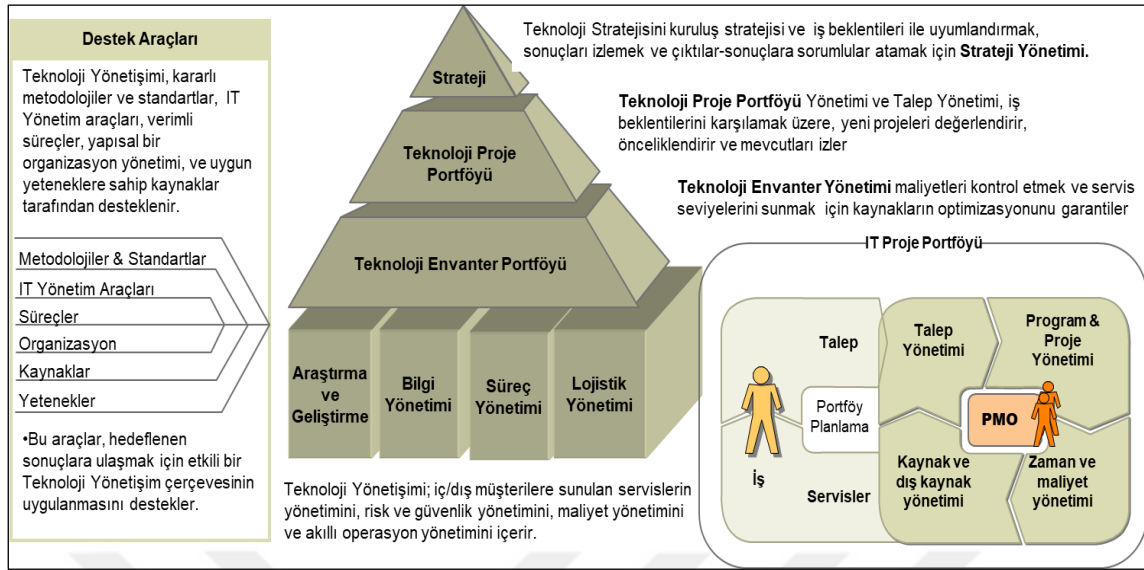
4.1.3. Teknoloji yönetimi boyutu

Endüstri 4.0 olgunluk modeli; tedarikçiler, üreticiler ve müşteriler gibi değer zincirinin tamamında gerçek zamanlı dijital entegrasyon olmasını gerektirecek bir iş modeli önermektedir. Bu anlamda oluşturulacak üst düzey bir teknoloji altyapısıyla, geleneksel üretim ve hizmet sektörleri birleştiğinde mükemmel bir katma değer ortaya çıkabilecektir.

Strateji yönetimi boyutu üzerinden gelecek kuruluşun gelecek perspektifi ve hedefleriyle, organizasyon yönetimi boyutu üzerinde somutlaşacak olan insan ve süreç bağlantıları, teknoloji yönetimi boyutuyla bütünleştğinde sacayağının bütün ayakları zemin bulmuş olacaktır.

Bitkom ve Fraunhofer IAO tarafından yapılan araştırmaya göre; Almanya’da Endüstri 4.0 teknolojilerinin, sektöre 2025 yılına kadar 23 milyar Euro ve toplam gayri safi milli hasılaya %2.1’lik bir büyüme katkısı sağlaması beklenmektedir (Bitkom ve Fraunhofer IAO, 2014). Bahsi geçen bu potansiyel katma değere; optimize edilmiş ağ teknolojisi, iş süreçlerindeki verimlilik artışı, inovatif ürünler, yeni hizmetler ve yeni iş modelleriyle ulaşmak mümkündür. Bahsi geçen yeni nesil yaklaşımların tamamı Endüstri 4.0 olgunluk modeli içerisinde yer alan akıllı üretim, akıllı ürünler ve akıllı süreç boyutlarıyla örtüşmektedir.

Ortaya çıkan yeni teknolojiler bir taraftan ürünleri, süreçleri, iş yapış şekillerini değiştirirken diğer yandan yeni ürün, süreç ve iş modelleri ortaya çıkarmaktadır. Ortaya çıkan bu yenilikler ise “geleneksel” ürün ve yapıların yetersiz olmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla tarımdan imalata, madencilikten hizmet sektörlerine kadar her alanda tüm firmaları köklü bir şekilde etkilemekte ve dönüştürmektedir. Günümüzde artık dijital teknolojilerinin kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Dijital teknolojilerin tüm firmaları etkilemesine karşın, bu teknolojilerin nasıl kullanılacağı konusunda tüm firmalar için ortak bir model bulunmamaktadır. Çünkü her firmanın ihtiyaçları ayrı olacağı gibi dijital teknolojilerin ve uygulamalarının çeşitliliği sonucu “her soruna uygun tek çözüm” (one-size-fits-all solution) de bulunmamaktadır. Bu nedenle, teknolojik dönüşümden yararlanmak ve dijital teknolojileri etkili bir şekilde kullanmak için temel koşul, her firmanın gerekli dijital yeteneklere sahip olmasıdır (Taymaz, 2018).



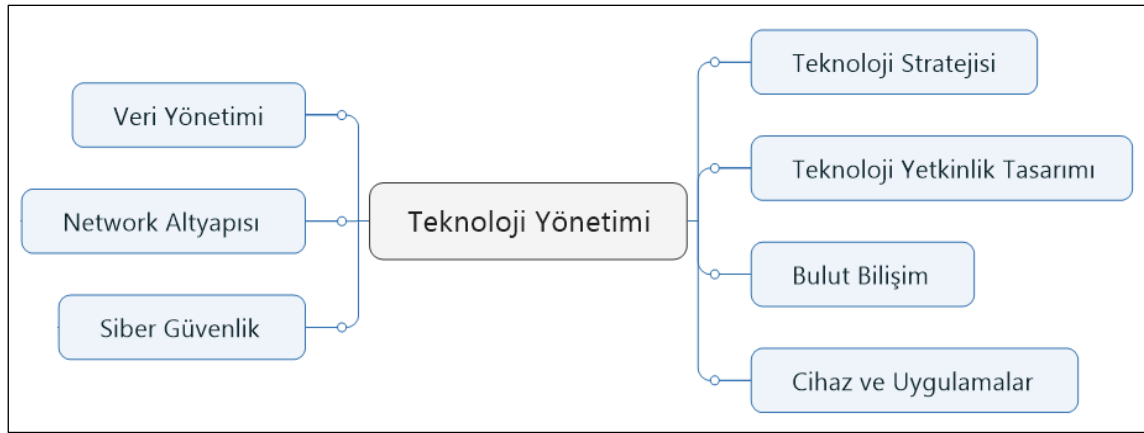
Şekil 4.8. Teknoloji yönetimi kurgusu şematik gösterimi

Şekil 4.8’ den takip edileceği üzere teknoloji yönetimi boyutu Endüstri 4.0 olgunluk modelinin önemli bir parçası ve olmazsa olmaz boyutudur. Strateji yönetimi boyutu kapsamında kuruluşun üst düzey yaklaşımı, vizyonu ve gelecek perspektifiyle ilişkili stratejik amaç ve hedeflerine karşın, teknoloji stratejisinin karşılık verebilecek gereksinimleri yerine getirmesi beklenmektedir. Teknoloji tasarımı, teknoloji stratejisinin altını dolduracak yetkin insan kaynağı, gerekli network altyapısı, organizasyon mimarisi, bilgi güvenliği ve veri analitiği gibi konuları barındıracak teknoloji yönetişimi temelini oluşturmaktadır.

Teknoloji yönetimi, yukarıda Şekil 4.8’de şematize edildiği üzere, “kuruluş stratejileri ile uyumlu ve iç/dış müşterilere ürün ve servis sunumuna odaklı, iç/dış müşterilerden gelen talepleri anlayacak, değerlendirecek, teknoloji diline çevirecek, önceliklendirecek, iş analizlerini yapacak, projelendirecek ve hayata geçirilmesini sağlayacak kabiliyetlerinin inşası” (IIBA, 2015) ve otomatize edilmesi gibi bir dizi stratejik ve operasyonel iş ve işlemlerin yönetilmesinden ibarettir. Benzer şekilde lojistik yönetimi, süreç yönetimi, araştırma ve geliştirme çalışmalarını barındıran teknoloji envanter portföyüyle kuruluşun yatay ve dikey entegrasyonunun teminatı olarak da değerlendirilmelidir.

Bu anlamda Endüstri 4.0 vizyonunu uygulamaya alacak bir kuruluş için; “Teknoloji Yönetimi” boyutu altında; teknoloji stratejisi ve bu stratejiye cevap verebilecek insan kaynağı ve kaynak gereksinimlerini barındıran teknoloji yetkinliği, üretilecek bütün

verinin anlamlandırılacağı ve kıymetlendirileceği veri yönetimi, bütün bu çalışmaların bilgi güvenliğini garanti altına alacak güvenlik çözümlerinin entegrasyonu yer almaktadır.



Şekil 4.9. Teknoloji yönetimi boyutu ve alanları

Temel olarak teknoloji yönetimi boyutunu Şekil 4.9'dan takip edilebildiği üzere, kuruluş bünyesindeki teknoloji spesifik stratejileri, bu stratejileri destekleyecek teknoloji yetkinlik tasarımı, kuruluşun sinir sistemini oluşturan teknoloji mimarisi üzerinde bulunan verilerin yönetimi ve bilgi güvenliğinin sağlanması oluşturmaktadır.

Endüstri 4.0 olgunluk modeli bağlamında, dijital teknolojilerle dönüşümün ön koşullarından biri, bütün dönüşüm ve değişim süreçlerinde olduğu gibi kuruluşlarda üst yönetimin sahiplenmesi, teknoloji dönüşüm ile kuruluşun dünya ekonomisi içerisinde nasıl konumlanacağını gösteren bir vizyon ortaya koyması ve bu vizyonu gerçekleştirecek uzun dönemli ve tutarlı bir strateji geliştirmesidir. Kuruluş üst yönetiminin dijital dönüşümü sağlaması, bir vizyon ve teknoloji stratejisi geliştirebilmesi, dijital teknolojilerin potansiyelinin anlaşılmasına bağlıdır. Kuruluşların kendi içlerinde bu yeteneğe sahip olmaması durumunda, dijital teknolojiler konusunda yetkin ve vizyoner yöneticiler istihdam etmesi ve yetkilendirmesi gereklidir. Bu konuya dair “Organizasyon Yönetimi” boyutu altında çalışanların yetenek yönetimi, eğitimi ve yönlendirilmesi bağlamında detaylar sunulmuştur.

Kuruluşa özel olmakla birlikte kurgulanacak teknoloji stratejisi ile firmalar mevcut ürün ve süreçlerinde dijital teknolojileri kullanarak yeni ürünlerin ortaya çıkması, ürünlerin kalitesinin artırması, maliyetlerin düşmesi, yeni satış kanallarının ortaya çıkması gibi faydaların elde edilmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda oluşturulacak bir teknoloji stratejisi ile teknoloji yönetişimini sağlayabilmeleri mümkün olacaktır.

Tüm teknoloji kaynaklarını iş stratejisi ve öncelikleri doğrultusunda yönetmek ve yönlendirmek için teknoloji stratejisinin planlanması gerekmektedir. Organizasyon içerisindeki paydaşlar, proje ve servis portföylerinin optimum şekilde yönetilmesinden sorumludur. Üretilen stratejik plan kapsamında; kilit paydaşların teknoloji fırsatları ve kısıtlarını anlamalarını geliştirecek, mevcut performanslarını değerlendirecek, kapasite ve insan kaynakları gereksinimlerini belirleyecek ve gereken yatırım seviyesini netleştirecek bir kurgu üretilmelidir (ISACA, 2019).

Teknoloji stratejisi çalışmaları, kurum teknoloji sistemleri, ürün ve servis altyapıları ve gerekli BİT sistemlerini tedarik edecek olan taraflar için stratejik bir bakış açısı kurgulanmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda; çok yıllık bir iş planı geliştirilmesi konularını ele almaktadır. Araştırma ve inceleme, belirlenen hedeflere ulaşmak için teknoloji hedefleri ve stratejisi ortaya koymak adına yürütülmektedir. Bahsi geçen araştırmalar, dış pazardan elde edilecek verilerle şekillenebileceği gibi firma içi faaliyetlerle de geliştirilebilir. Teknoloji stratejisine kilit girdiler kuruluşa ait pazardan, mevcut teknolojik eğilimlerden, ürün ve/veya servis strateji ve tahminlerinden doğmaktadır. Mevcut teknoloji kapasitelerinin ve gerekli yeni BİT sistem kapasitelerinin belirlenmesi ve genişletilmesi konuları üzerinde durulmaktadır. Bahsi geçen teknolojik yaklaşımlar konusunda Endüstri 4.0 literatür araştırmalarında karşılaşıldığı üzere; IOT, sensör teknolojileri, 3D printer, yapay zeka, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik gibi açılımların firma ürün ve servisleriyle ilişkilendirilmesi üzerinde durulmaktadır.

Söz konusu aktiviteler, yıllık ve uzun vadeli hizmet planlarını, ürün ve servislere destek vermek adına geliştirmekte ve sunmaktadır. Firma ürün ve hizmet yelpazesi içinde, birim tahminleri, gerekli seviyede kaynak pazarlıkları, BİT sistemleri geliştirme ve yönetimi, tedarik zinciri ve planlar için idari onay alımları da yer almaktadır.

Teknoloji stratejisi tariflenirken; sektörel dinamikler (trend analizleri ve ürün/hizmet portföyü ilişkisi), BİT servis standartları, bilgi güvenliği standartları ve ilişkili model ve metodolojiler (ITIL, COBIT, CMMI, ISO 27001 vb.) dikkate alınmaktadır.

Veri yönetimi alanında, kuruluşun ürün, servis, kaynak, müşteri, satış ve tedarikten oluşan kuruluşun bütün envanterine ait entegre bir veritabanı oluşturmak, yönetmek gerekmektedir. İlgili entegre envanteri izlemek, bilgi güvenliği gereksinimlerine uygun

olarak kullanım ve erişimini kontrol altında tutmak ve içindeki verinin kalitesini rapor etmek gibi bir dizi bütüncül yaklaşım gerekmektedir.

Bahsi geçen bütüncül yaklaşımı geliştirmek ve idamesini sağlamak Endüstri 4.0 olgunluk modelinin organizasyon boyutu kapsamında ifade edildiği üzere yetkin insan kaynağı ve liderlik desteğiyle mümkün olacağını belirtmek gerekmektedir. McKinsey firması tarafından global düzeyde yapılan araştırmanın sonuçları değerlendirildiğinde teknoloji altyapısının varlığı, bu altyapının kullanımı ve buradan elde edilenlere dair veri analitiğinin kuruluşların gelirleri, kar marjları, organizasyonel verimlilikleri üzerinde çok önemli etkilerinin olduğu görülebilmektedir (McKinsey, 2016). Daha da kritik başarı faktörleri olarak kuruluşlardaki liderlik desteği ve bu konudaki açık strateji yönetiminin, dolayısıyla stratejik planlama, uygulama, izleme ve değerlendirme döngüsünün varlığı olması vurgulanmaktadır. Başarıya ulaşamayan örnekler bakıldığında ise liderlik desteği, strateji yönetimi ve iletişimin eksik olması, organizasyonel mimaride hata olması, teknoloji altyapısının yetersizliği ve veri analitiği gibi konularda doğru yeteneklerin istihdam edilememiş olması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Endüstri 4.0 olgunluk modeli kapsamında veri yönetimi alanı, üretim sahasındaki cihaz ve teknoloji altyapısı üzerinden gelecek ya da operasyonel iş süreçleri ve çalışanlardan gelecek anlık verilerin toplanması, analiz edilmesi ve anlamlı bilgi setlerine dönüştürülmesi bakımından çok kritik öneme sahiptir. Zira bu alanda oluşacak olası bir analitik zafiyet, kuruluş üst yönetiminin karar destek mekanizmalarına eksik veya hatalı bilgi girişi olarak karşımıza çıkabilecektir. Bu bakımdan veri yönetimi alanı Endüstri 4.0 olgunluk modeli çerçevesinde optimum seviyede olgunluğa erişebilmiş olmasını aşağıdaki gereksinimleri yerine getirebilme yeteneğiyle orantılı olacaktır. Kuruluş içerisinde hangi bilgilere ihtiyaç duyulacağının tespit edilmesi, kuruluş içerisinde tüm birimlerden elde edilen verilerin kayıt altına alınması, bu verilerin kuruluşun hedeflerine ve amaçlarına göre yönetilmesi, bilgi güvenliği standartlarının sağlanması, bunlar için gerekli altyapının ve ilgili maliyetlerin izlenmesi ve bulguların rapor edilmesi beklenmektedir.

Teknoloji yönetimi boyutu kapsamında yer alan çalışmaların temel dinamiği ve kritik unsuru, sürekli ve hızlı bir şekilde gerçekleşen değişim ve gelişim faaliyetlerinin güvenliğinin sağlanmasıdır. Endüstri 4.0 kavramını yaratan ve çığır açan teknolojik bileşenler/ürünler büyük bir hızla yaygınlaşmakta, gündelik ticari yaşamın vazgeçilmez bir

parçası haline gelmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan bu gelişmeler aynı zamanda Endüstri 4.0 kavramının da temelini oluşturmaktadır.

Kuruluşlarda hayata geçirilecek ve Endüstri 4.0 olgunluk modeline uygun güvenli bir dijital ortamın sağlanmasının yolu insan, süreç ve teknoloji bileşenlerinin güvenliğine bağlıdır. Kuruluşlarda bilgi güvenliğinin sağlanabilmesine, takip edilebilmesine ve bütüncül bir yaklaşımla yönetilebilmesine dair standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar kapsamında en yaygın ve bilinen entegre bilgi güvenliği yönetimini sağlamak üzere kurgulanmış olan ISO 27001:2013 standardıdır. BGYS (Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi), bilginin gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini sağlamak üzere sistemli, kuralları koyulmuş, planlı, yönetilebilir, sürdürülebilir, dokümente edilmiş, kuruluşun yönetimince kabul görmüş ve uluslararası güvenlik standartlarının temel alındığı faaliyetler bütünü (International Organization for Standardization, 2013) olarak tariflenmektedir. Standart kapsamında atıf yapılan bütünlük, erişilebilirlik ve gizlilik kavramları aslında “bilgi güvenliği” kavramının da temel yapıtaşlarını oluşturmaktadır. Erişilebilirlik, bilginin/verinin yetkili bir varlık tarafından talep edildiğinde erişilebilir ve kullanılabilir olma özelliği iken gizlilik, bilginin/verinin yetkisiz kişiler, varlıklar ya da süreçler tarafından erişilememesi, kullanılamaması, depolanmaması, başka bir ortama kaydedilmemesi veya ifşa edilmemesi özelliği olarak atıf yapılan standart kapsamında tarif edilmektedir.

Kuruluşlarda bilgi güvenliğinin sağlanabilmesine destek sağlayan ve kolaylaştıran bir diğer kavram ise risk yönetimi bağlamında ele alınmaktadır. Risk yönetimi, kuruluşun iş süreçlerini etkileyecek risklerin belirli standart ve metodolojilere uygun olarak tariflenmesi, değerlendirilmesi, ihtiyaç duyulan kontrollerin, politika ve prosedürlerin hayata geçirilmesi ile olası kayıpların önlenmesi ya da azaltılması, izlenmesi ve gözden geçirilmesi International Organization for Standardization, 2018) olarak ifade edilebilmektedir.

Kurumsal risk yönetimine ilişkin COSO Treadway Komisyonuna göre en yaygın kabul görmüş tanım şöyledir; “Kurumsal risk yönetimi; kuruluşu etkileyebilecek potansiyel olayları tanımlamak, riskleri kuruluşun kurumsal risk alma profiline uygun olarak yönetmek ve kuruluşun hedeflerine ulaşması, finansal raporlamanın güvenilirliği, faaliyetlerin etkinliği ve verimliliği ve uygulanabilir yasa ve düzenlemelere uygunluk amaçları ile ilgili olarak makul bir derecede güvence sağlamak amacı ile oluşturulmuş;

kuruluşun yönetim kurulu, yöneticileri ve tüm diğer çalışanları tarafından etkilenen ve iç kontrolü de kapsayarak belirli bir strateji içinde tüm kuruluş çapında uygulanan sistematik bir süreçtir” (International Organization for Standardization, 2018).

Belirtilen sistematik sürecin üst çatısını oluşturan siber güvenlik mekanizmalarının kuruluşların Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerini belirleme bakımından önemi ülkemizde Aralık 2020 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe giren Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023) kapsamında ele alınmıştır. Strateji dokümanı bünyesinde siber güvenlik kavramı; “siber uzayı oluşturan bilişim sistemlerinin saldırılardan korunmasını, bu ortamda işlenen bilginin/verinin gizliliği, bütünlüğü ve erişilebilirliğinin güvence altına alınmasını, saldırıların ve siber olayların tespit edilmesini, bu tespitlere karşı tepki mekanizmalarının devreye alınmasını ve sonrasında ise sistemlerin yaşanan siber olay öncesi durumlarına geri döndürülmesini kapsayan faaliyetler bütünü” (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020) olarak tanımlanmıştır. Kuruluşların organizasyon mimarisi bünyesinde yer alan, stratejik ve operasyonel süreçlerini sürdürebilmelerini sağlayan kritik altyapılarının korunmasına yönelik mekanizmaların hayata geçirilmesi, siber risk yönetiminin ve acil durum planlarının geliştirilmesi Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi bakımından ihtiyaç duyulan gereksinimlerdir.

4.1.4. Akıllı üretim boyutu

Başarılı bir Endüstri 4.0 uygulaması için üretimin yüksek düzeyde otomatize edilmesi önemli gerekliliklerden biridir. Geleneksel üretimin aksine akıllı iş ekipmanları, üretim süreçlerini izler, kontrol eder ve üretim aşamasına da otonom olarak rehberlik ederler. Bu faaliyetlerin tamamı akıllı fabrika ortamını yaratmaktadır. Akıllı fabrika ortamında; üretim sistemleri ve lojistik sistemleri herhangi bir insan müdahalesine gerek duymaksızın büyük ölçüde kendi kendilerini yönetebilmektedir. Akıllı fabrikalar; aslında sanal ve fiziksel dünyayı BİT altyapısı sayesinde ve nesnelerin interneti marifetiyle yönetmeye dayanmaktadır. Endüstri 4.0 aynı zamanda; bilgi toplama, depolama ve bilgiyi yöneterek dijital modelleme süreçlerine dahil olmayı gerektirir. Böylelikle akıllı fabrikalarda bilgi yönetimi daha doğru ve kaynaklar daha verimli kullanılabilir hale gelmektedir. Bu verimliliğin sağlanabilmesi için; üretim sistemleri, bilgi sistemleri ve insanlar arasında kurgulanmış çapraz-kurumsal iş birliğine ihtiyaç duyulmaktadır (Lichtblau vd., 2015).

Akıllı üretimin genel kabul görmüş bir tanımı yoktur. Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'ne (NIST) göre akıllı üretim; fabrikada, tedarik ağında ve müşteri ihtiyaçlarında

değişen talep ve koşulları karşılamak için gerçek zamanlı olarak yanıt veren tamamen entegre, iş birliğine dayalı üretim sistemidir. Akıllı üretim, bugünün ve yarının üretim varlıklarını sensörler, bilgi işlem platformları, iletişim teknolojisi, veri yoğun modelleme, kontrol, simülasyon ve tahmine dayalı mühendislik ile entegre eder (Kusiak, 2017).

Akıllı üretim bünyesinde “zeka” barındıran bir kavram olup, üretim sistemlerinin mevcut teknoloji altyapısı sayesinde birbirleriyle iletişim halinde ilerleyebilen ve akıllı ürün üretilmesini sağlayan bir pratiktir. Akıllı üretim kavramı; siber-fiziksel sistemlere ilaveten, akıllı makineler, akıllı ürünler ve çalışanların karar verici aktivitelerinden ibarettir denilebilir. Geleceğin üretim makinelerine bakıldığında “akıl/zeka”nın ortak tema olduğu görülebilmektedir. Akıllı makineden kasıt; makinelerin (robotik unsurlar, teknolojik sistemler, yazılımlar vs.) nerede bulunduklarının, fonksiyonaltelerinin, tükettikleri kaynakların, operasyon maliyetlerinin ve mevcut kullanım durumlarının farkında olmaları demektir. Bu yeteneklerin kullanılabilmesi; firmaların iç süreçlerinde ve diğer paydaşlarıyla olan entegrasyon noktalarının tamamını çözmeleri durumunda rahatlıkla hayata geçirilebilecekleri bilinmelidir. Gerek makineler arası iletişimin sağlandığı akıllı fabrikalarda, gerekse teknoloji tabanlı sistemler arası entegrasyonlar sayesinde akıllı işletmelerde verimlilik artışı, birlikte çalışabilirlik ve karlılık artışı gibi kavramların pozitif ayrıştığı öngörülmektedir (Lichtblau vd., 2015).

Akıllı üretim tüm bu faydalarının yanında bazı uygulama zorluklarıyla karşı karşıyadır. Akıllı üretim sistemlerinin başarısı, sistem performansını optimize etmek için üretimi ve tedarik ağlarını kolayca ve hızlı bir şekilde yeniden yapılandırma becerisine bağlıdır. Bu tür sistemler belirsizlik ve anormal olaylarla etkili bir şekilde başa çıkmalı ve sürekli iyileştirmeyi sağlamak için geçmiş deneyimlerden ders almalıdır. Bu sistemler, küçük, orta ve büyük üreticiler arasında sorunsuz birlikte çalışabilirliği sağlamalıdır. Akıllı üretim sistemleri için gerekli olan ağı bağlı takım tezgahları, robotları ve ekipmanları entegre etmek ve garanti altına almak için yöntem, protokol ve araçların eksikliği, akıllı üretim sistemlerindeki sistem, alt sistem ve bileşenlerin karmaşıklığı uygulamada zorlukların yaşanmasına neden olmaktadır (Jung vd., 2016).

Bu tezde yapılan anket çalışması sonucunda firmaların büyük çoğunluğu Endüstri 4.0 uygulamalarının önündeki en büyük engel olarak gerekli kaynaklara ve bilgiye sahip olmadıklarını ifade etmişlerdir. Dolayısıyla firmalar ihtiyaçlarını daha iyi anlamak ve sağlam bir temel oluşturmak için sistematik değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç

duymaktadır. Yukarıda akıllı üretimin sahip olması gereken özellikler doğrultusunda modelde akıllı üretim boyutu iki alan ile ölçümlenmiştir;

- Dijital Modelleme ve Dijital İkiz
- Otonom Sistemler ve Robotik

Dijital Modelleme ve Dijital İkiz

Akıllı sistemler, üretim süreçlerindeki hataları büyük oranda ortadan kaldırılabilmek potansiyeline sahiptir. Bunun en önemli nedeni; sensörlerin partilerden alınan numunelerdeki hataları test etmek zorunda kalmak yerine her öğenin izlenmesine izin vermesidir. Akıllı sistemler bakım gereksinimlerini öngördüğünde, makine arıza süresi ve onarım maliyetleri büyük ölçüde azaltılabilecektir. Akıllı üretimin gerçekleşebilmesi için; fiziksel dünya ile dijital bileşenlerin entegre çalışabilmesi kritik öneme sahiptir. Bu anlamda dijital modelleme araçlarının, mühendislik ve karar verme sistem ve süreçlerine destek olabilmesi gerekmektedir.

Dijital ikiz, iş performansını optimize etmeye yardımcı olan fiziksel bir nesnenin veya sürecin geçmiş ve mevcut davranışının gerçek zamanlı bir dijital profilidir ve büyük, kümülatif, gerçek zamanlı ve gerçek dünyadaki veri ölçümlerine dayanmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi Endüstri 4.0'ın en önemli bileşeni olan siber-fiziksel sistemlerin gerçekleştirilmesi için anahtar bir teknoloji olarak kabul edilmektedir (Zhuang, Liu ve Xiong, 2018).

Ürün ve süreçlerin geliştirilmesi ve performanslarının ölçüldüğü simülasyon çalışmalarında deneysel modeller önemli bir yer kaplamaktadır. Deney tasarımı; bir süreç ya da sistemin girdilerinde değişiklik yapılarak çıktıların gözlemlenmesi ve analiz edilmesini sağlar (Montgomery, 2013). Ancak deneysel çalışmalarda sonuçların doğruluğu için doğru parametrelerin belirlenmiş olması ve parametreler arasında oluşabilecek etkileşimlerin öngörülmesi gerekmektedir. Doğru bir deney tasarımı gerçekleştirilmiş olsa bile bazen çok sayıda deney yapılması gerekir ki bu da zaman ve maliyet açısından kayıplara yol açmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi fabrika, ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde öngörülen kaynaklanabilecek sorunlar yerine ürün veya sürecin gerçek zamanlı performans verileri, sensör verileri, muayene verileri, yapılan bakımların tarihçesi, konfigürasyon değişiklikleri, parça değişimi ve garanti verilerinin izlenmesini sağlar. Böylelikle ürün veya sistemin performansı ve kullanım ömrü tahmin

edebilir, kendi kendini iyileştirme mekanizmalarını kullanarak ortaya çıkabilecek hasarları azaltabilir (Glaessgen ve Stargel, 2012). Dijital ikiz fiziksel bir nesnenin sanal bir görüntüsüdür ve bu görüntüde ürün ve sistemin içinde bulunduğu çevre de izlenebilmektedir. Böylece ürün ve sürece etki eden tüm faktörler gözlenebilmekte ve etkileri ölçülebilmektedir. Ürün geliştirmede bu etkiler tahmini değerlere göre hesaplanıp optimum sonuç bulunmaya çalışılır.

Endüstriyel sistemlerde önemli bir sorun da ürün ve sisteme ait bilgilerin yaşam döngüsü boyunca çeşitli formatlarda farklı araçlar tarafından üretilmesi ve tüketilmesidir. Diğer sistemlere kolay erişilebilir bilgi sağlamak için farklı sistemlerin ortak bir senkronizasyon platformuna entegre edilmesi gerekir. Farklı biçimlerdeki bilgiler nedeniyle bilgi akışı genellikle yaşam döngüsünün aşamaları boyunca kesilir. Bu durum yönetsel kararlarda yanlışlığa ya da eksikliğe ve ilgili bilgileri bulmak için önemli miktarda zaman kaybedilmesine yol açmaktadır. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) sistemleri, arayüzleri ve desteklenen protokolleri açısından heterojen olan çok sayıda cihazın verilerden daha akıllı eylemler elde etmek için tek bir sisteme bağlanmasını sağlar. Böylelikle bilgi akışı nedeniyle ortaya çıkacak olumsuz durumlar giderilmiş olur. Dijital ikizler; geçmiş, mevcut ve makine öğrenmesi sayesinde gelecekteki verilerden oluşur. Bu nedenle Endüstri 4.0 olgunluk modeli çerçevesinde işletme içerisinde verilerin toplanması, analizi ve karar sürecine dahil edilmesi önemli bir gösterge kabul edilmiştir.

Üretimde, çeşitli seviyelerde bir dijital ikiz kullanılabilir;

- Üretim sürecinde tek ve son derece kritik bir bileşene odaklanılabilir,
- Bir üretim hattında tek bir ekipman için oluşturulabilir,
- Tüm üretim hattını izlemek ve geliştirmek için kullanılabilir,
- Ürün ve proses tasarımı ve geliştirmesinden, imalata ve üretime, bitmiş ürünün müşteriler tarafından tüm yaşam döngüsü boyunca ve gelecekteki ürünlerin geliştirilmesi için dağıtımına ve kullanımına kadar tüm üretim sürecinde kullanılabilir.

Endüstri 4.0 olgunluk modeli kapsamında işletmelerde dijital ikizin varlığını, hangi seviyede kullanıldığının göstergesi olarak; ürünün üretilmeden önce dijital olarak modellenebilme düzeyi ile ürün ve üretim sürecinin gerçek zamanlı takip edilebilme düzeyi ölçümlenmiştir.

Otonom Sistemler ve Robotik

Akıllı otonom sistemler, otonomiye ön plana çıkaran kendi hedefleri doğrultusunda karar verebilen ve buna uygun hareket edebilen, değişen ortam şartlarına adapte olabilen ve diğer sistemlerle etkileşim kurabilen insan müdahalesine gerek duymayan sistemlerdir (Topçu, 2015). Modern imalat sanayinde önemli bir yere sahip olan robotik teknolojileri Endüstri 4.0'ın ortaya çıkması ile her geçen gün daha çok önem kazanmaya başlamıştır. Günümüz robotları her zamankinden daha akıllı, çok yönlü ve esnektir ve sabit otomasyon araçlarıyla bunları fabrika katında sunmanın maliyetleri düşüreceği öngörülmektedir. İş birliği robotlar (cobotlar), çalışanların tekrarlayan, tehlikeli ve ergonomik açıdan zorlu görevleri yerine getiren makinelerle güvenli bir şekilde etkileşim kurmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla gelişmiş işçi güvenliği ve daha düşük kayıp zaman maliyetleri gibi avantajlar sağlaması beklenmektedir. Endüstriyel robotik ve esnek otomasyon, işgücü piyasalarındaki ve pazardaki rekabetçi baskılar nedeniyle üreticiler için bir öncelik haline gelmektedir. Endüstri 4.0 devriminde öngörülen verimlilik ve etkinlik kazanımlarını elde etmek için makineler ve robotlar için yüksek oranda otomasyon gereklidir (Wu vd., 2013). Pfeiffer (2016), sensörler, yapay zeka ve makine öğrenimiyle akıllı robotların Endüstri 4.0 devriminin ilerlemesini yönlendiren anahtar teknolojilerden biri olduğunu vurgulamaktadır. Endüstri 4.0 olgunluk modeli kapsamında işletmelerde otonom sistemler ve robotiğin kullanım düzeyini ölçebilmek için; makineler arası iletişimin düzeyi, makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi, makinelerin IT tarafında kontrol edilebilme düzeyi araştırılmıştır.

4.1.5. Akıllı ürünler boyutu

Endüstri 4.0 vizyonu çerçevesinde; kendi kendini yönetebilen parçaların, kendisini imal edecek makinalarla iletişim kurabilmesi ve onlara bir sonraki aşamaya dair aksiyon siparişi vermesi gibi düşünülebilir. Bunun olabilmesi için ürünün bir önceki aşama, mevcut pozisyonu ve bir sonraki aşamada nerede olması gerektiğine dair bilgiyi bünyesinde barındırabilmesi gerektiği açıktır. Bahsi geçen bu bilgiler; nesnelerin bilgileri, izleme verileri ve ürün hafızasındaki bilgilerin toplanmasıyla anlamlandırılabilir. Entegre edilmiş ürün fonksiyonallikleri ve kendi kendine raporlayabilme yeteneği sayesinde, ürünlerin makinalarla ne aşamada ve nasıl aksiyon alacağına dair iletişim halinde olabilmesi başarılabılır. Bütüncül olarak sipariş ilerlemelerinin izlenebildiği durumda; ürünler otomatik olarak kendilerini tanımlayabilir ve nerede/ne zaman olabileceklerine karar verebilirler.

Endüstri 4.0 vizyonu bağlamında; geleneksel imalat yöntemlerine “akıl” katıldığı gibi ortaya çıkan ürüne de akıl katılması hedeflenmektedir. Bu sayede; müşterilere fonksiyonel rehberliği iletmek için bilgi taşıyan ve üretim sistemine geribildirim sağlayan sensörler, tanımlanabilir bileşenler ve işlemcilerle gömülü olarak piyasaya çıkmaktadır. Endüstri 4.0 altında yeni bir satınalma yöntemi sağlanarak müşterilere de birçok avantajlar sunulmaktadır. Örneğin onların fikirleri üretim sırasında herhangi bir zamanda alınabilir veya siparişlerini son dakikada bile olsa ücretsiz olarak değiştirebilirler. Öte yandan, akıllı ürünlerle müşterinin sadece ürünün üretim bilgisini bilmesine değil, aynı zamanda kendi davranışlarına bağlı olarak kullanım tavsiyesi almasına da olanak tanınmaktadır (Yıldız, 2018). Ürünlerin bu özelliklere sahip olabilmesi için sensör teknolojisi ile takip edilmesi ve sensörlerden gelen verilerin anlamlı bilgilere dönüşmesi gerekmektedir. Bu nedenle modelde akıllı ürünler boyutu 2 alan ile temsil edilmektedir;

- Sensör teknolojileri ve nesnelerin interneti,
- Büyük veri.

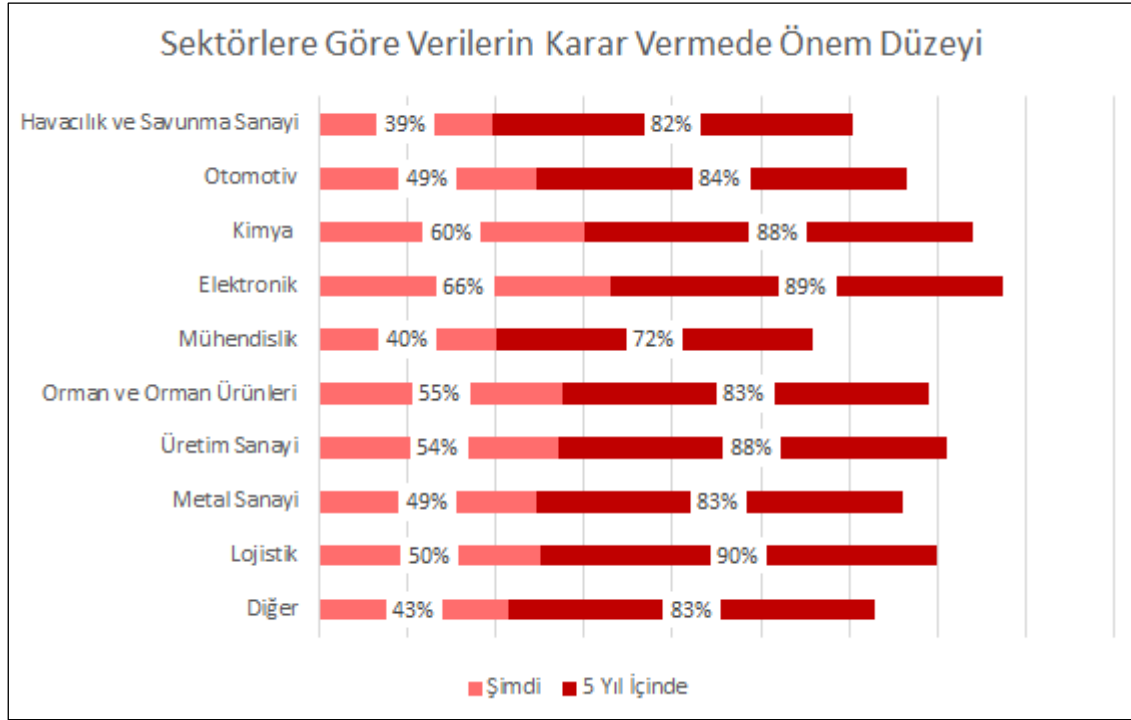
Sensör Teknolojileri ve Nesnelerin İnterneti

Mikroçipler veya sensörler gibi elektronik bileşenlerin fiyat düşüşleri nedeniyle nesnelere entegrasyonu ile paralel bir gelişme sağlanmıştır. Bu gelişme MES ya da ERP gibi merkezi bir kontrol sağlamak yerine daha dinamik bir kontrolü daha ekonomik bir şekilde yapmayı mümkün kılmaktadır. 1999 yılında Kevin Ashton tarafından çevreyi algılayabilen ve iletişim kurabilen nesneleri anlatmak için ortaya konulan “Nesnelerin İnterneti (IoT)” kavramı ile artan karmaşıklığı anlayıp ona hızlı bir şekilde yanıt verebilen sistemin kurulabilmesinin önü açılmıştır. Nesneleri kodlama ve izleme yeteneği, şirketlerin daha verimli olmalarını, süreçleri hızlandırmalarını, hatayı azaltmalarını, kayıpları önlemeyi ve IoT aracılığıyla karmaşık ve esnek organizasyon sistemlerini kullanmalarını sağlamıştır (Ferguson, 2002). Nesnelerin interneti; insandan insana, insandan nesneye ve nesneden nesneye iletişim sağlayan, otomatik düzenleme, bilgi, veri ve kaynakları paylaşma, ortamdaki durumlara ve değişikliklere karşı tepki verme ve hareket etme kapasitesine sahip açık ve kapsamlı akıllı bir küresel nesneler ağını ifade etmektedir (Madakam vd., 2015). Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan modelde firmaların sensör teknolojileri ve nesnelerin internetini kullanımlarını ölçümlemek için firmalara 4 soru sorulmuştur. Bu sorular; firmanın ürettiği ürünlerde sensör ve aktüatörlerin kullanım düzeyi, ürünün

sensörle hareket edebilme düzeyi, ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi, üretim sürecinin sensörlerle takip edilebilme düzeyi şeklinde olmuştur.

Büyük Veri

Doğru verilerin belirlenmesi ve toplanması, doğru amaçlarla kullanılması ve etkili bir şekilde analiz edilmesi, doğru Endüstri 4.0 kararlarının alınması için kritik öneme sahiptir. Veriler, dördüncü sanayi devriminin merkezinde yer almaktadır ancak kitlesel olarak büyüyen bilgi akışı, doğru analiz teknikleri olmadan çok az değer katmaktadır. Hızla artan sensör sayısı, gömülü sistemler ve bağlı cihazların yanı sıra değer zincirlerinin artan yatay ve dikey ağı, çok büyük bir sürekli veri akışı ile sonuçlanmaktadır. Veriler, farklı biçimlerde, birden çok kaynaktan gelir ve dahili verileri dış kaynaklardan gelen verilerle birleştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Verileri değer yaratmak amacıyla kullanmak için uzman bilgisine ve etkili veri analizine ihtiyaç vardır. Bu kadar çok veri giriş noktası şirketlerin veri güvenliği ile ilgili sorunlara proaktif bir yaklaşım sergilemesini gerektirmekte ve dijital güven oluşturmanı önemine işaret etmektedir (PwC, 2016). PwC tarafından yapılan araştırmaya göre dijitalleşme ve entegrasyon yolculuğunda zaten ileride olan şirketlerin veri analitiğini işe koyma olasılığının çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. İleri düzeyde dijitalleştirme ve entegrasyona sahip olanların %73'ü veri ve analitiğin karar verme süreçlerinde önemli bir rol oynadığını söylerken, düşük dijitalleştirme ve entegrasyon seviyelerine sahip olanlarda bu oran %38'dir.



Şekil 4.10. Sektörlere göre verilerin karar vermede önem düzeyi karşılaştırmalı grafik (PwC, 2016)

Operasyonel veri yani ham veri, anlamlı bir süreçten geçmeden kullanıldığında gerçek faydası ortaya çıkmayacaktır, o verilerin analiz edilerek anlamlı bilgiye evrilmesi çok kritiktir. Kurgulanacak sistemsel altyapı ile bu veriler karar destek süreçlerine dönüşebilecektir. Gerçek zamanlı olarak toparlanacak ham verilerin, bahsi geçen sistemsel altyapı sayesinde süreç zincirinin tamamında kullanılacak şekilde, üretim planlama yapılması, kontrol noktalarının kesin olarak tespit edilmesi ve daha esnek bir koordinasyon ile daha kaliteli iş kararları verilebilmesine olanak sağlayabilecektir.

Biriktirilmiş veri setleri ve bunlar üzerinden yapılan analizlerde; firmaların ürün yaşam döngüsünde iş modellerini revize etmelerine ve yeni hizmet sunabilmelerine imkan sağlayacak devasa potansiyeller ortaya konulmuştur. İlave ürün fonksiyonaliteleri; hem mevcut hem de gelecekteki müşteri beklentilerine cevap verebilecek stratejileri barındırmaktadır. Alan spesifik veri ise çok az firmanın öneminin farkında olduğu ve topladığı, gerçek katma değeri sağlayacak bir zenginliktir.

Önemli bir boyut olarak akıllı ürünler; kapsamlı bir sensör teknolojisi kullanılması suretiyle veri toplayabilmeyi hedeflemektedir. Bu hedef çerçevesinde toparlanacak verilerin tüm süreçlerden anlık ve canlı olarak toparlanabilmesi esastır. Burada

toparlanacak verilerin tamamı “big data” olarak yorumlanabilir. Bu noktada en kritik engel mevcut BİT sistemleri ve altyapı yetenekleridir. Bahsi geçen “big data” üzerinden anlamlı ve kullanılabilir bilgiye ulaşmak amacıyla analizler yapılmasına yarayan sistemler olmalıdır. Bu sistemlerin olabilmesi için de güçlü bilgisayar sistemleri barındırabilecek altyapılar olmalıdır.

Endüstri 4.0 vizyonu çerçevesinde işletmelerin yeni iş modellerini kurgularken, geleneksel iş modellerindeki üretimin veya yönetimin tüm aşamalarından veri toplayarak ve onları analiz ederek kıymetlendirmeyi hedeflemektedirler.

Bu anlamda veriye dayalı hizmetler çerçevesinde aşağıda verilen 3 fonksiyon firmalar tarafından karşılanabilmesi önem arz etmektedir;

- Veriye dayalı hizmetlerin erişilebilir olması,
- Veriye dayalı hizmetlerden gelir elde edilebilmesi,
- Toplanan verilerin kullanılabilmesi

Toplanan verinin firma bünyesinde kurgulanmış olan iş zekası uygulamaları marifetiyle anlamlandırılması, kıymetlendirilmesi ve müşteriye mevcut ürün ve hizmetlere ilave yeni bir satış kalemi olarak sunulabilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde sadece satış kanalı olarak değil, aynı zamanda üretim ve maliyet optimizasyonu açısından toplanan verinin işlenebilmesi ve analiz edilmesi sonucunda maliyet azaltıcı ve gelir artırıcı inisiyatiflere girdi teşkil etmesi beklenmektedir.

4.1.6. Akıllı süreçler boyutu

İşletmeler için artan ürün çeşitliliği, ürünlerin giderek daha da bireyselleşmesi ve teslimat sürelerindeki kısaltmalar temel zorluklar olmuştur. Geleneksel üretim sistemleri bu zorlukların üstesinden gelebilecek yeteneklere sahip değildir. Özellikle küreselleşmenin etkisiyle farklı coğrafyalarda bulunan temas noktaları nedeniyle üretim performansını artırabilmek ve gerçek zamanlı izleyip kontrol edebilmek için birbirine entegre edilmiş sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı süreçler Endüstri 4.0'ın ulaşmayı hedeflediği temel amaçlardan ikisini içerir; yatay entegrasyon ve dikey entegrasyon. Endüstri 4.0, dikey ve yatay üretim süreçlerinin entegrasyonunun ve ürün bağlantısının şirketlerin daha yüksek endüstriyel performans elde etmelerine yardımcı olabileceği yeni bir endüstriyel aşama olarak kabul edilir. Endüstri 4.0, ortaklar, tedarikçiler ve müşteriler arasındaki veri akışının yatay entegrasyonunun yanı sıra ürün geliştirmeden nihai ürüne kadar kuruluş

içindeki dikey entegrasyonla birlikte sanal ve gerçek dünyayı birleştirir. Sonuç, tüm süreçlerin tam olarak entegre olduğu gerçek zamanlı bir bilgi sistemidir. Tüketici trendlerindeki değişikliklerin hızı ve oranı Endüstri 4.0'ın önemli bir itici gücüdür çünkü müşteriler için değer yaratmak önemli bir konudur ve bu da müşterilerin en baştan itibaren sürece dahil edilmesi anlamına gelmektedir. Ürünler bireysel kullanıcıların tercihlerine cevap verecek şekilde yapılandırıldığından, üretim daha esnek ve daha kısa çevrim süresine sahip olmalıdır (Wang, 2016).

Endüstri 4.0 stratejisinin hayata geçirilmesi ve değer zincirinin yatay-dikey entegrasyonunun sağlanabilmesi için tüm komponent ve sistemlerin entegre şekilde çalışabilmesi en önemli gerekliliktir. Yatay entegrasyonun arkasında yatan temel fikir; tedarikçiden müşteriye kadar olan tüm değer zincirinin firma içi ve firmalar arası tüm paydaşlarla iletişim halinde olabilmesi demektir. Firmalar arası ağ iletişiminin sonucunda bütün ürün yaşam döngüsünün planlanabilmesi ve kontrol edilebilmesi için müşteri beklentilerinin iyi algılanması sağlanacaktır. Dikey entegrasyon sayesinde ise; firma içerisinde departmanların, satıştan, ürün geliştirmeye kadar üretim, finans ve satış sonrası gibi aktivitelerin tamamının entegre çalışabilmesi sağlanabilecektir. Bu şekilde kurgulanmış ve uygulamaya alınmış bir entegrasyonun; üretim sisteminin verimlilik artışı potansiyelini, üretim esnekliği ve kalitesini artıracakı açıktır (PwC, 2016). Şirketlerin yatay entegrasyonu ve fabrikanın dikey entegrasyonu, mühendislik sürecinin uçtan uca entegrasyonu için iki temel oluşturur. Yatay ve dikey entegrasyonun tam sağlanmasıyla bir ürünün geliştirilmesinden satış sonrasına kadar tüm yaşam döngüsü boyunca tüm değer zinciri içerisinde entegrasyonu uçtan uca mühendisliği ifade eder.

Akıllı sistemlerin entegre edilmesi sayesinde süreçler arası iletişimden elde edilen verilerin analiz edilebilmesi ve sensör teknolojilerinin bu anlamda kritik öneme sahip olduğu belirtilmelidir. Bu anlamda anlayışlar ve algılardan ziyade bu tür kesin verilerin kullanılması gelecek tahminlemesi yapılırken çok daha değerlidir (Lichtblau vd., 2015).

Akıllı süreçler boyutu endüstri 4.0 olgunluk modelinde 2 alan ile temsil edilmektedir;

- Yatay Entegrasyon,
- Dikey Entegrasyon.

Yatay Entegrasyon: İşletmeler arasında yeniden kaynak ve gerçek zamanlı bilgi alışverişi ile iş birliğinden oluşur (Brettel, Friederichsen, Keller, Rosenberg, 2014). Yatay ağdaki iş

birliği, dijital kanallar ve müşteriyle entegre edilen akıllı ürünler aracılığıyla genişletilerek, müşterilere daha yüksek değeri sunulmasına da olanak tanır (Kiel vd., 2016; Porter ve Heppelmann, 2014). Yatay entegrasyonla, şirketler verimli bir ekosistem oluşturabilir benzer şekilde müşterilere değeri sunmanın ve onlardan değeri elde etmenin yeni yollarıyla yeni iş modelleri geliştirilebilir (Kagermann vd., 2013). İşletmelerde bu alanla ilgili ölçümleme yapabilmek için model kapsamında şu beş soruya cevap aranmıştır;

- Tedarikçilerle, müşterilerle iletişimin entegrasyon düzeyi,
- Müşterilerden geri bildirim alma düzeyi,
- Müşterilerden alınan geri bildirimlerin kullanım düzeyi,
- Çoklu satış kanallarının kullanım düzeyi,
- Çoklu satış kanallarından müşterilerle etkileşim kurma düzeyi.

Dikey Entegrasyon: Bir organizasyondaki üretim ve yönetim seviyeleri arasındaki entegrasyonu temsil eden, bir organizasyonun farklı hiyerarşik seviyelerinde BİT ve operasyonel teknolojiler (OT) sistemlerinin entegrasyonunu ifade eder. Bir fabrika, aktüatör ve sensör, kontrol, üretim yönetimi, üretim ve kurumsal planlama gibi çeşitli fiziksel ve bilgilendirici alt sistemlere sahiptir. Esnek ve yeniden yapılandırılabilir bir üretim sistemi sağlamak için aktüatör ve sensör sinyallerinin kurumsal kaynak planlama (ERP) seviyesine kadar farklı seviyelerde dikey entegrasyonu gereklidir. Bu entegrasyon sayesinde akıllı makineler, farklı ürün türlerine uyum sağlamak için dinamik olarak yeniden yapılandırılabilen kendi kendine organize bir sistem oluşturur ve elde edilen verilerin analizi ile üretim sürecinin daha şeffaf hale getirilmesine olanak sağlanır (Wang vd., 2016). İşletmelerde bu alanla ilgili ölçümleme yapabilmek için model kapsamında şu beş soruya cevap aranmıştır;

- İşletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayan yazılımların kullanım düzeyi (CAD/CAM, ERP, MES, CRM)
- İşletme fonksiyonlarında kullanılan dijital araçların otomatik raporlama yapabilme düzeyi
- İşletme fonksiyonlarından verinin anlık toplanabilme düzeyi
- Firma içerisinde dikey entegrasyonun sağlanma düzeyi
- Lojistik süreçlerinin otonomlaşma düzeyi

4.2. Olgunluk Seviyelerinin Belirlenmesi

Bir olgunluk modeli, bir nesne sınıfı için bir dizi olgunluk seviyesinden oluşur. Ayrık aşamalar olarak şekillenen bu nesnelerin beklenen, istenen veya tipik bir evrim yolunu temsil eder. Tipik olarak, bu nesneler kuruluşlar veya süreçlerdir. En alt aşama, örneğin, söz konusu alanda çok az yeteneklere sahip bir kuruluşla karakterize edilebilen bir başlangıç durumunu temsil etmektedir. En yüksek aşama ise toplam bir olgunluk anlayışının bütününi temsil eder. İki uç nokta arasındaki evrim yolunda ilerlemek, kuruluşun yeteneklerine veya süreç performansına ilişkin sürekli bir ilerlemeyi içermektedir. Olgunluk modeli, evrim yolundaki konumun değerlendirilmesi için bir ölçek görevi görmektedir. Belirli bir olgunluk düzeyine ulaşmak için yerine getirilmesi gereken kriterleri ve özellikleri sağlamaktadır. Bir olgunluk değerlendirmesi sırasında, verilen kriterlere göre organizasyonun anlık görüntüsü alınır. Bulunan özellikler, uygun organizasyon-bireysel olgunluk seviyesini belirlemek için değerlendirilir (IT Governance Institute, 2007). Olgunluk seviyelerine ait temel yetkinlikler aşağıdaki gibidir;

Seviye 1- Başlangıç: Başlangıç düzeyi olarak tanımlanır. İş süreçleri ve organizasyonel görevler tanımlanmamıştır. Departmanlar arasında iletişim ve koordinasyon bulunmamaktadır. Teknoloji kullanımı ve alt yapısı gelişmiş düzeydedir.

Seviye 2-Farkında: Temel proje yönetimi kavramları tanımlanmıştır ve süreçler proje seviyesinde yazılı hale getirilmiştir. Veri planlaması ve yönetimi her proje için ayrı ayrı yapılır. Teknoloji altyapısı kurulmuştur ve desteği sağlanmıştır. Organizasyon içi bilgi paylaşımı mevcuttur. Karar analiz teknikleri kullanılarak kurum içindeki bilginin güncelliği sağlanır.

Seviye 3-Uygulayan: Müşteri/vatandaş ve veri standartlarına odaklılık sözkonusudur. Proje grup çalışması, operasyonel izleme ve kontrol ve eğitim programı yapılmaktadır. Organizasyon içinde bütünleşik yönetim ve mühendislik süreçleri sağlanmıştır. Müşteri verileri toplanır ve tanımlanmış süreç aşamalarında kullanılır. Veri güvenliği ve bilgi paylaşımı önemlidir. Projeler arasında veri ortak kullanımı mevcuttur.

Seviye 4-İyileştiren: Organizasyonlar arası bilgi paylaşımı için bilgi teknikleri kullanılır. Süreçler ve yeni teknolojiler sayısal olarak değerlendirilir. Veri tanımı ve toplanması organizasyon içinde standart hale getirilmiştir. Çalışanlar için sürekli öğrenme programı mevcuttur.

Seviye 5-Lider: Firma; insan, süreç, teknoloji ve organizasyonel anlamda sürekli iyileşme amacındadır. Süreç otomasyonuna yatırım yapılır. Organizasyon, hedeflerine ulaşmak için bilgi kullanım tekniklerini devamlı gözden geçirir. Yeni teknolojiler devamlı takip edilir ve uygulanır. Veriler, süreçlerin yenilenmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılır.

Endüstri 4.0 olgunluk modeli için likert ölçeği kullanılmış ve ölçüm değişkenleri 1’den 5’e kadar derecelendirilmiştir. Bütün boyutlardan elde edilen sonuçların ortalaması alındığında şirketlerin ortalama seviyeleri elde edilmiş ve bu ortalamalar 5 aşamalı bir olgunluk seviyesi ile eşleştirilmiştir. Olgunluk seviyeleri, alt ve üst limitleri Çizelge 4.2’de gösterildiği gibidir;

Çizelge 4.2. Olgunluk seviyeleri alt ve üst limitler

Olgunluk Seviyesi	Alt ve Üst Sınırlar
Başlangıç: Seviye 1	1-1,79
Farkında: Seviye 2	1,8-2,59
Uygulayan: Seviye 3	2,6-3,39
İyileştiren: Seviye 4	3,4-4,19
Lider: Seviye 5	4,2-5,00

Çizelge 4.3’de her boyut ve her seviye için karşılanması gereken gereklilikler verilmiştir;

Çizelge 4.3. Olgunluk seviyeleri için temel yetenekler

Başlangıç: Seviye 1 Temel Yetenekler	Strateji Yönetimi	Kuruluşun Endüstri 4.0’ın uygulanmasına yönelik herhangi bir stratejisi ve hedefi bulunmamakla birlikte kuruluş içerisinde Endüstri 4.0 ile ilgili bir farkındalık oluşmamıştır.
	Organizasyon Yönetimi	Şirket Endüstri 4.0 projelerini gerçekleştirebilecek ve yürütebilecek organizasyonel yapıya sahip değildir.
	Teknoloji Yönetimi	Şirket Endüstri 4.0 gereksinimlerini karşılayacak teknolojilere sahip değildir
	Akıllı Üretim	Şirket Endüstri 4.0 gereksinimlerini karşılayacak bir üretim teknolojisine sahip değildir.

Çizelge 4.3. (devam) Olgunluk seviyeleri için temel yetenekler

	Akıllı Ürünler	Şirket Endüstri 4.0 özelliklerini karşılayacak ürün yapısına sahip değildir.
	Akıllı Süreç	Kuruluş Endüstri 4.0 gereksinimlerini karşılayacak süreç yapısına sahip değildir.
Farkında: Seviye 2 Temel Yetenekler	Strateji Yönetimi	Kuruluş içerisinde Endüstri 4.0 ile ilgili bir farkındalık oluşmuştur. Teknolojiye ayrılan bütçe düşük düzeydedir. Organizasyon, üretim, ürünler ve hizmetlere yönelik henüz Endüstri 4.0 dönüşümü için gerekli stratejik hedefler belirlenmiş değildir.
	Organizasyon Yönetimi	Dijital becerilere sahip çalışanlar bulunmakla birlikte organizasyon Endüstri 4.0 dönüşümünün gerçekleşmesi için henüz uygun yapıya sahip değildir. BİT departmanı bulunmakta ve teknoloji odaklı projeler bu departman tarafından merkezi olarak yürütülmektedir. Yeni teknolojilerin kullanımına yönelik çalışan geliştirme programları planlanmamıştır.
	Teknoloji Yönetimi	Kuruluş temel faaliyetlerini yürütecek teknoloji alt yapısına sahiptir ancak departmanlar arası ve işletme dışı bilgi akışı sağlanamamaktadır. Veri yönetimi ile ilgili bir stratejiye sahip değildir.
	Akıllı Üretim	Ürün üretilmeden önce simüle edilememekte, üretimde otomasyonu sağlamaya yönelik teknolojiler bulunmamaktadır.
	Akıllı Ürünler	İşletme içinde sensör teknolojilerinden faydalanılmakta ancak sensörlerden elde edilen veriler henüz ürünün durumu, dış çevreye ait bilgiler ve ürünün çalışması ve kullanımını izleyebilecek seviyede değildir.
	Akıllı Süreç	Kuruluş içerisinde işletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlamak için yazılımlar mevcuttur. Kuruluş içerisinde işletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlamak için yazılımlar mevcuttur.

Çizelge 4.3. (devam) Olgunluk seviyeleri için temel yetenekler

		Ancak tedarikçiler ve müşteriler arasında gerçek zamanlı bilgi akışı mevcut değildir. Çoklu satış kanalları kullanılmamaktadır. Müşteri bilgileri toplanmakta ancak yönetilmemektedir.
Uygulayan: Seviye 3 Temel Yetenekler	Strateji Yönetimi	Kuruluş, Endüstri 4.0 ile ilgili bir farkındalığa sahiptir, buna yönelik bir strateji oluşturmuş ve hedefler belirlemiştir. Kuruluşun Endüstri 4.0 stratejisi çalışanlarla paylaşılmıştır.
	Organizasyon Yönetimi	Kuruluş organizasyon yapısının Endüstri 4.0 dönüşümünü gerçekleştirmek için yeniden yapılandırılması gerektiğinin farkındadır. Çalışanların Endüstri 4.0 projeleri için gerekli dijital beceriler kazanmasına yönelik gelişim ve eğitim programları planlanmıştır.
	Teknoloji Yönetimi	Kuruluş, dijitalleşme süreçlerini yönetebilecek teknolojik alt yapıya sahiptir. Yatay ve dikey entegrasyonu sağlayacak teknoloji yatırımında bulunmuştur. İşletme içindeki verilerin toplanması, izlenmesi ve analiz edilmesi için gerekli teknolojik araçlara ve alt yapı mevcut ancak verinin yönetimi ile ilgili bir stratejiye sahip değildir. Yeni teknolojilere yatırım planlaması yapılmıştır. Kuruluş; bilgisayar ve sunucuların, mobil cihazların, elektronik sistemlerin, ağların ve verilerin kötü amaçlı saldırılardan korunması gerektiğinin farkındadır ve buna yönelik adımlar atmıştır.
	Akıllı Üretim	Sensörler sayesinde elde edilen ve analiz edilen veriler ürünlerin geliştirilmesi ve yeni ürünlerin ortaya çıkması için modelleniyor ve gerçek zamanlı olarak simülasyonu düşük düzeyde sağlanmaktadır. Makineler BİT tarafından kontrol edilebilmekte ancak makineler arası iletişim mevcut değildir.
	Akıllı Ürünler	Üretilen ürünler diğer ürünler / platformlar, makineler ve harici sistemlerle iletişim kurabilir ve veri toplayabilir. Ürünler üretim boyunca izlenebilir.

Çizelge 4.3. (devam) Olgunluk seviyeleri için temel yetenekler

		Üründen elde edilen veriler toplanmakta ve raporlanmaktadır. Yeni ürün geliştirmede veri kullanımı düşük seviyededir.
	Akıllı Süreç	Tedarik zinciri süreçleri, temel veri paylaşımı ve iletişim açısından şirket, tedarikçiler ve müşteriler arasında entegre edilmiştir. Kullanımda olan birkaç yazılım sistemi vardır ve üretim sistemleri kısmen makine düzeyinde otomatiktir. Operasyon süreci izlenebilirliği, dijital ortamda makine seviyesinde (kısmi) sağlanır ve uçtan uca entegrasyon ile üretim özelleştirme seviyesinde düşük düzeydedir. Satış sonrası hizmetler sürecinde, şirket az sayıda veriden yararlanır ve birkaç alanda hizmet sunar.
	Strateji Yönetimi	Kuruluş teknoloji yatırımları ve Endüstri 4.0 dönüşümü için gerekli projeleri hayata geçirebilmek için bütçe planlaması yapmış ve Endüstri 4.0 dönüşümünü uygulamaya başlamıştır.
İyileştiren: Seviye 4 Temel Yetenekler	Organizasyon Yönetimi	Teknoloji projeleri merkezden değil OT/IT birimleri birlikte çalışacak şekilde yeniden yapılandırılmış ve her departmanda Endüstri 4.0 projelerini yönetecek insan kaynağı bulunmaktadır. Gerekli teknolojilerin kullanımı için beceri kazandırmaya yönelik eğitimler gerçekleştirilmektedir
	Teknoloji Yönetimi	Kuruluş, Endüstri 4.0 için gerekli teknolojik alt yapıya, araçlara ve güvenli ağlara sahiptir. Yatay ve dikey entegrasyon sağlanmıştır. Üretim süreçlerinden ve ürünlerden veriler toplamakta, işlenmekte ve analiz edilmekte ancak veriden değer üretimi gerçekleştirilmemiştir. Bulut hizmetlerinden faydalanılmaktadır. Yeni teknolojilere yatırım yapılmaktadır. İşletme; bilgisayar ve sunucuların, elektronik sistemlerin, ağların ve verilerin kötü amaçlı saldırılardan

Çizelge 4.3. (devam) Olgunluk seviyeleri için temel yetenekler

		korunması gerektiğinin farkındadır ve buna yönelik adımlar atmıştır.
	Akıllı Üretim	Sensörler sayesinde elde edilen ve analiz edilen veriler ürünlerin geliştirilmesi ve yeni ürünlerin ortaya çıkması için modelleniyor ve gerçek zamanlı olarak simülasyonu sağlanmaktadır. Firma bilgi ve ürün akışını optimize edebilmek için değer zinciri boyunca (tedarikçilerden müşterilere kadar) gerçek zamanlı olarak iletişim kurabilmekte, veri elde edebilmekte ve süreçlerini kontrol edebilmektedir. İşletme içerisinde tüm departmanlar arasında iş birliğini sağlayarak malzeme, ürün ve bilgi akışını optimize etmek için gerçek zamanlı iletişim kurulmuş, veri akışı sağlanmıştır.Makineler arası iletişim sağlanabilmiştir.
	Akıllı Ürünler	Ürünler veri toplayabilir. Topladıkları verileri sistemlerinde veya bulutta tutabilirler. Elde edilen verilerden tahmin analizi yapılmasına olanak verir. Ürünler, müşteriye ulaşıncaya kadar üretim ve dağıtım arasında hareket ettikçe izlenebilir. Şirket, üründen elde edilen verilere göre yeni ürün veya hizmet geliştirebilir.
	Akıllı Süreç	Tedarik zinciri süreçleri şirket ile tedarikçiler ve şirket ile müşteriler arasında entegre edilmiştir. Kullanımda olan birden fazla yazılım sistemi vardır. Yatay ve dikey entegrasyon gerçek zamanlı sağlanmış, müşteri, satış ve pazarlama verileri sistemeden otomatik olarak elde edilmektedir. Lojistik süreçler yarı otomatize durumdadır.
Lider: Seviye 5 Temel Yetenekler	Strateji Yönetimi	Kuruluş, Endüstri 4.0 stratejisini uygulamakta, proje süreçlerini gözden geçirmekte ve iyileştirmektedir.
	Organizasyon Yönetimi	Kuruluş tüm birimlerinde dijital ve analitik becerilere sahip iş gücüne sahiptir ve bunun sürekliliğini sağlamaya yönelik planlar gerçekleştirmiştir.

Çizelge 4.3. (devam) Olgunluk seviyeleri için temel yetenekler

	Teknoloji Yönetimi	İşletme Endüstri 4.0 süreçlerini yürütebilecek teknoloji alt yapısına ve onları kullanabilecek yetkinliğe sahiptir. . Yatay ve dikey entegrasyon kesintisiz ve gerçek zamanlı olarak sağlanmıştır.Bilgi güvenliğini sağlayacak yazılım ve standartlar mevcuttur. İşletme içerisinde süreçlerden elde edilen veriler bulut sunucusu üzerinde depolanmakta ve gerçek zamanlı erişimi sağlanmaktadır. Veriden değer elde edilebilmekte ve yeni iş modelleri gerçekleştirilebilmektedir. İşletme içerisinde kullanılan farklı türden cihazların birbiri ile iletişimini mümkün kılan, nesnelerin birbiri ile iletişimi sağlayan, nesnelerden veri üretimini mümkün kılan teknolojiler kullanılmaktadır ve bun ayrılan bütçe ile sürekli güncellenmektedir.
	Akıllı Üretim	Üretilirlik ve ürünün kullanım koşulları, ürün geliştirme sırasında yüksek düzeyde simüle edilir. Hem işletme içinde kalan hem de dışında olan farklı aşamalar gerçek zamanlı olarak birbirleriyle iletişim halinde yürütülebilmektedir. Makinalar insan müdahalesine gerek kalmadan kendi kendini yönlendirebilir, birbirleriyle iletişim kurabilir, tanımlanan görevleri yerine getirebilir ve kendini onarabilir.
	Akıllı Ürünler	Ürünler diğer sistemlerle iletişim kurabilir, veri toplayabilir ve sistemlerinde/bulutta tutabilir. Ürünlerin üzerinde ürün veya bulut uygulamalarının çalıştığı bir platform bulunur. Ürünler, tüm kullanım ömürleri boyunca izlenebilir.
	Akıllı Süreç	Tedarik zinciri sistemleri, gerçek zamanlı olarak şirket, tedarikçiler ve müşteriler arasında gerçek zamanlı olarak tamamen entegredir ve uçtan uca iletişim sağlanmıştır. Kullanılan birçok yazılım sistemi vardır. Kuruluş müşteri, satış, pazarlama süreçlerinden elde ettiği verileri yeni ürünlere dönüştürebilmektedir. Lojistik süreçleri otomatize olmuştur.

5. ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK ENDEKSİ

Endüstri 4.0 olgunluk endeksi firmalara; dijital dönüşüm sürecinde mevcut durumlarını görmelerini, bir üst seviyeye geçebilmeleri için atılması gereken adımları belirlemek amacıyla bir yol haritası sunmayı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında endeks tahminlerinde kullanılan yaklaşımlardan bir olan yapısal eşitlik modellemesi kullanılmıştır. Çalışmada olgunluk modeli geliştirmek için bir başlangıç aşaması, modelin yapısını tasarlamak ve test etmek için geliştirme aşaması ve son olarak da gerçek hayattaki uygulamada doğrulamak için bir uygulama aşamasından oluşan çok yönlü bir yöntem kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle Becker'in olgunluk modeli oluşturmak için ortaya koyduğu adımlara uygun olarak sistematik bir literatür araştırması ve incelemesi yapılmıştır. Ardından literatürdeki bilgiler ve uzman görüşmeleri ışığında Bölüm 4'de açıklanan kavramsal model oluşturulmuştur. Kavramsal model ile olgunluk modelinde hangi boyutların (gizli değişkenler) yer alacağı ve bu boyutlara ait ölçüm değişkenlerinin neler olacağı belirlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde yapısal eşitlik modellemesi ile ilgili genel bilgiler aktarıldıktan sonra ilk aşama olarak kavramsal modele uygun olarak veriler toplanmış ve ölçüm modeli kurulmuştur. Faktör analizi kullanılarak kurulan ölçüm modeli ile ölçüm değişkenleri test edilmiş, uyum istatistikleri sağlandıktan sonra yapısal model kurulmuştur. Ölçüm modeli LISREL yazılımı ile kodlanmış ve maksimum olabilirlik algoritması ile çözümlenmiştir. Yapısal modelin kurulmasıyla ölçüm değişkenlerinin ağırlıkları elde edilmiş ve Endüstri 4.0 olgunluk endeksi hesaplanmıştır. Ardından otomotiv sektöründe üç farklı firmada uygulama gerçekleştirilmiştir. Yapısal eşitlik modelinde elde edilen ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına ilaveten Endüstri 4.0 olgunluk modelinin boyutlarının da sektörler göre farklı ağırlıklara sahip olabileceği ön görülmüştür. Bu nedenle boyutların ağırlıklarının hesaplanması için otomotiv sektöründen uzman görüşleri alınarak çok kriterli karar verme tekniği olan analitik hiyerarşi prosesi (AHP) metodu kullanılmıştır.

5.1. Yapısal Eşitlik Modeli

Bilişim Sistemleri (BS) disiplini, bir yandan donanım ve yazılım arasındaki etkileşim ile karakterize edilen sistemlerle diğer yandan da bireyler, gruplar ve kuruluşlarla ilgilenir. Teknolojinin benimsenmesi, kabulü ve başarısının yanı sıra bunların elde edilebileceği koşullar BS araştırması tarafından ele alınan tipik konulardır. Bu soyut kavramlar için doğrudan ölçümler veya birimler mevcut olmasa da, istatistiksel yöntemler bu değerleri

diğer ilgili değişkenlerden türetebilir. Bu yapılar genellikle yalnızca bir dizi gösterge aracılığıyla ölçülebilen, gizli değişkenler olarak modellenir. Yapısal eşitlik modelleri, bu gizli değişkenler arasındaki ilişkileri tanımlar. BS araştırmalarında yapısal eşitlik modellerine 1994 yılından itibaren Information Systems Research (ISR) ve Management Information Systems Quarterly (MISQ) gibi alanın önde gelen dergileri de olmak üzere artan bir ilgi bulunmaktadır (Urbach ve Ahlemann, 2010).

5.1.1. Tanımı ve tarihsel gelişimi

Yapısal eşitlik modellemesi; gözlenen değişkenler yardımı ile gizli yapıları ölçerek bu ölçülen ve ölçülemeyen değerler arasındaki neden-sonuç ilişkisini ortaya koyan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir (Bolat, 2009). Yapısal Eşitlik Modelleri, değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri anlamayı amaçlayan çalışmalarda sıklıkla kullanılan, "gizli" değişkenler, "gösterge" değişkenler ve “yan” değişkenler içeren birbiriyle ilişkili regresyon denklemlerini incelemek için kullanılmaktadır. Gözlemlenemeyen değişkenleri tanımlamak için gizli değişkenler veya faktör terimleri kullanılır. Faktör analizi (açımlayıcı ve doğrulayıcı) ve yapısal eşitlik modelleme (YEM), gözlenen değişkenler arasındaki kovaryansı inceleyerek gözlenen değişkenlerin sayısını daha az sayıda gizli değişkene indirgemek için kullanılmaktadır (Schreiber vd., 2010). YEM'ler, önceden varsayılan nedensel ilişkiler üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri test ettikleri için diğer modelleme yaklaşımlarından farklılık gösterir. Karmaşık teorilerin test edilmesine olanak sağlaması, ölçüm hatalarını hesaba katması ve doğrudan ölçülemeyen değişkenleri analize dahil etmesi gibi özellikleri yöntemin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Raykov ve Marcoulides, 2006:1).

YEM terimi tek bir istatistiksel tekniği belirtmez daha çok; Yol Analizi, Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA), Tam Yapısal Regresyon Modeli, Çoklu-Grup YEM ve Gizli Büyüme Modelleme gibi bir model ailesini içermektedir. (Orcan, 2013). Yapısal eşitlik modellemesi birbiri ile ilişkili ve birden çok istatistiksel tekniği barındıran bir yöntemler topluluğu olduğundan gelişimi tek bir kaynağa dayanmamaktadır (Kline, 2011:91). Yöntem, regresyon analizi, yol analizi ve doğrulayıcı faktör analizi modelleri sırasını izleyerek tarihsel bir süreç içerisinde gelişmiştir (Schumacker ve Lomax, 2010:1-11). Karl Pearson, korelasyon katsayısını ortaya koyduktan beş yıl sonra 1901 yılında temel bileşenler analizinin temellerini atmış, 1904 yılında Charles Spearman, Pearson'ın korelasyon katsayısını, birbiriyle ilişkili maddeleri gruplamak ve tanımlamak için kullanmış ve faktör

analizi çalışmasını yayınlamıştır (Schumacker and Lomax, 2010:4-5). Spearman'ın öncülüğünü yaptığı faktör analizi tekniği, yirminci yüzyılda yapısal eşitlik modellerinin geliştirilmesinde oldukça etkili olmuştur. Yol analizinin çıkışı biyometri alanında olmuş ve bir yol diyagramı oluşturarak değişkenler arasındaki nedensel ilişkiyi bulmayı amaçlamıştır (Wright, 1918). Psikometride ortaya çıkan doğrulayıcı faktör analizi ise tutum ve memnuniyet gibi gizli psikolojik özellikleri tahmin etme amacına sahiptir (Spearman, 1904). 1970'lerin başlarında bu yöntemler birleştirilerek (Jöreskog, 1973; Jöreskog ve Goldberger 1975) sosyal bilimler, işletme, tıp ve doğa bilimleri gibi birçok alanda popüler hale gelmiştir.

YEM'e olan ilgi genellikle gizli faktörlerle temsil edilen teorik yapılar nedeniyle. Teorik yapılar arasındaki ilişkiler, faktörler arasındaki regresyon veya yol katsayıları ile temsil edilir. Faktör analizi ve yol analizi yaklaşımları K. Jöreskog, J. Keesling ve D. Wiley tarafından 1970'lerin başında çalışmalarına entegre edilmiştir. Bentler tarafından JWK modeli olarak adlandırılan bu analiz modeli daha sonra K. Jöreskog ve D. Sörbom tarafından LISREL (LInear Strucrual RELation model) olarak bilinen ilk bilgisayar yazılımının ortaya çıkmasını sağlamıştır (Kline, 2011:15). Günümüzde LISREL'in dışında YEM için özel oluşturulmuş Amos, Mplus, CALIS/TCALIS, Mx, EQS, SEPATH, RAMONA bilgisayar programları da mevcuttur.

5.1.2. Temel kavramlar

Yapısal eşitlik modellemesinde kullanılan çok sayıda sembol ve terim bulunmaktadır. Bu bölümde kullanılan terimler ve anlamları, semboller ve gösterimlerine değinilmiştir.

Değişkenler

Yapısal eşitlik modellerinin temel elemanı parametredir. Parametreler bilinmeyen değerleri temsil ettiği için kestirilir. Gözlenen ve gizli (örtük) olan iki geniş değişken sınıfı vardır (Şen, 2019).

Gözlenen (Observed, Manifest) Değişkenler: Doğrudan gözlenebilen, ölçülebilen ve kaydedilen verilerdir. Bu değişkenlerin değerleri örneklemden doğrudan gözlenmekte veya toplumda doğrudan gözlenebilme olanağına sahiptir.

Gizli (Latent) Değişkenler: Direkt olarak gözlenemeyen veya ölçülemeyen değişkenlere gizli değişkenler adı verilmektedir. Gizli değişkenler direkt gözlenemediği için doğrudan ölçülememektedir. Bu nedenle gizli değişken gözlenen bir değişkene bağlanarak

ölçülmektedir. Gözlenen veya ölçülen değişkenler genellikle bir gizli değişkenin göstergeleri olabilir. Yapısal eşitlik modellerinde değişkenler gözlenen veya gizli değişken olarak tanımlanabileceği gibi bağımlı veya bağımsız değişken olarak da tanımlanmaktadır.

Bağımlı Değişken: Değeri başka değişkenlerin etkileri ile oluşan/etkilenen ve gözlenebilen değişkenlerdir.

Bağımsız Değişken: Değeri rasgele koşullar altında oluşan ve bağımlı değişkenin değerinin oluşmasında etkili olan, gözlenebilen değişkenlerdir (Schumacker ve Lomax, 2010; Bayram, 2013).

İçsel (Endojen, Endogenous) Değişkenler: Modeldeki dışsal değişkenler tarafından doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenen ve bağımlı değişkenler gibi algılanabilecek gizli değişkenlerdir. Diğer değişkenler üzerine bağımlı olarak modellenirler. İçsel değişkenlerin değerlerinin değişimi model ile açıklanamaz. Bunun yerine modeldeki diğer dış faktörlerden etkilendiği kabul edilmektedir.

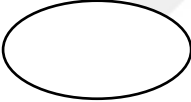
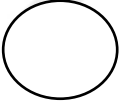
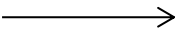
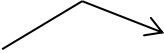
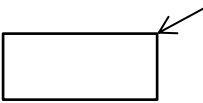
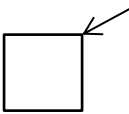
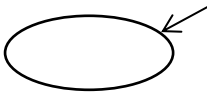
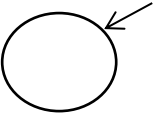
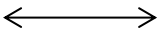
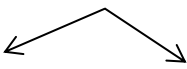
Dışsal (Eksojen, Exogenous) Değişkenler: Modelde yer alan diğer değişkenlerin değerlerini etkileyen ve bağımsız değişkenler gibi algılanabilecek gizli değişkenlerdir. Dışsal değişkenlerdeki değerlerin dalgalanması model ile açıklanabilir. Çünkü bütün gizli değişkenler model belirlenmesinde yer almaktadır (Byrne, 2010:5).

Arabulucu (Mediator) Değişken: İki değişken arasındaki önemli nedensel ilişkinin modelde dikkate alınmayan başka bir değişkenden kaynaklandığında bu değişkene arabulucu değişken denir (Bayram, 2013).

Yol diyagramı ve analizi

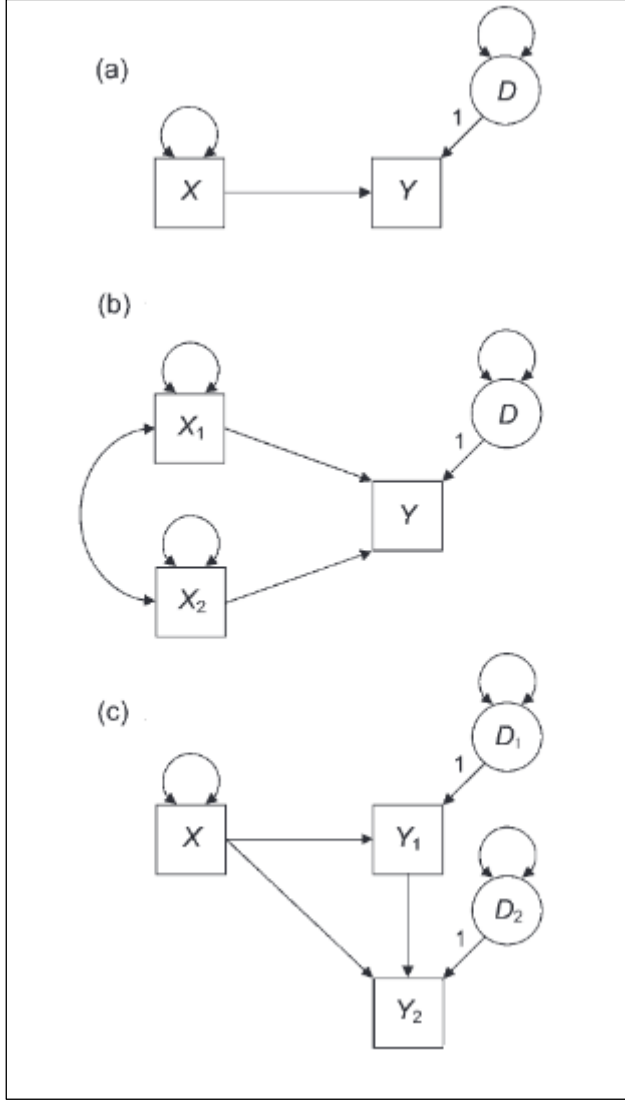
Yapısal eşitlik modellemesinin tarihsel "ana ögesi" bilinmeyen parametreleri tahmin etmek ve önceden belirlenmiş bir değişkenler ağı arasındaki karşılıklı ilişkileri haritalamak için bir kullanılan bir yol analizidir (Denis ve Legerski, 2006). Yol analizi, biyometrisyen Sewall Wright tarafından ortaya atılmış ve çoklu değişkenler arasındaki ilişkileri ölçmek için geliştirilmiştir (Wright 1918). Hem dolaylı hem de doğrudan nedensel etkilerle yapısal hipotezin test edilmesi ve geliştirilmesinde çok güçlüdür. Yol analizi, değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri açıklamaktadır. Nedensel ilişkileri açıklarken daha çok "nedensellik modelleme" olarak da ifade edilen değişkenler arasındaki kuramsal ilişkilerin keşfedilmesini amaçlamaktadır (Schumacker ve Lomax, 2010: 49). Yol analizinin diğer bir

işlevi, bir değişkenin bir sonucu başka bir değişken yoluyla doğrudan ve dolaylı olarak etkileyebileceğini varsayan arabuluculuktur. Yapısal eşitlik modelleri genellikle yol diyagramı ile görselleştirilir. Bir yol diyagramı çizerek bir YEM analizi başlatmak hala geleneksel bir yol olarak kabul edilmektedir. Bir yol diyagramı, oklarla birbirine bağlanan kutular ve dairelerden oluşur. Wright'ın gösteriminde, gözlemlenen (veya ölçülen) değişkenler bir dikdörtgen veya kare kutu ile ve gizli (veya ölçülemeyen) faktörler bir daire veya elips ile temsil edilir. Modelde nedensel ilişkileri tanımlamak için tek başlı oklar veya 'yollar' kullanılır; okun başlangıcındaki değişken, ucundaki değişkene neden olur. Çift başlı oklar, nedensel bir yorum olmaksızın kovaryansları veya korelasyonları gösterir. İstatistiksel olarak, tek başlı oklar veya yollar regresyon katsayılarını ve çift başlı oklar kovaryansları temsil etmektedir (Hox ve Bechger, 1999). Aşağıda Şekil 5.1'de gösterilen diyagramlarda kullanılan şekiller ve açıklamaları verilmiştir;

Gösterim	Açıklama
 veya 	Gözlenen Değişken
 veya 	Gizli Değişken
 veya 	Bir değişkenin diğer bir değişken üzerindeki etkisi
 veya 	Gözlenen değişkendeki ölçüm hatası
 veya 	Gizli değişkendeki hata
 veya 	İki değişken arasında kovaryans

Şekil 5.1. Yol diyagramı sembol gösterimi (Raykov ve Marcoulides, 2006:9)

Bir yol modeli, gözlenen değişkenler için yapısal bir modeldir ve yapısal bir model, etki önceliği hakkındaki hipotezleri temsil eder. Aşağıda temel yol diyagramları üç farklı örnek üzerinden verilmiştir;



Şekil 5.2. Temel yol modelleri (Kline, 2011:104)

Şekil 5.2. (a) 'daki yol modeli, X'in Y'nin bir nedeni olduğu hipotezini temsil etmektedir. Şekilde, X'ten Y'ye işaret eden tek ok başının ($\rightarrow$) bulunduğu çizgi, karşılık gelen doğrudan etkiyi temsil eder. Doğrudan etkilerin istatistiksel tahminleri regresyon katsayıları olarak yorumlanan yol katsayılarıdır. Şekil 5.2. (a) 'daki X değişkeni dışsaldır çünkü nedenleri modelde gösterilmemiştir. Buna göre sembol, X'in değişkenlik göstermekte serbest olduğu gerçeğini temsil eder. Buna karşılık, Şekil 5.2. (a) 'daki Y değişkeni X değişkeni tarafından açıklandığı (yordandığı) için içseldir ve bu nedenle değişkenlik göstermez.

Şekil 5.2. (b) 'deki yol modeli, bağlantılı nedenlerin hipotezini temsil etmektedir. Hem X_1 hem de X_2 , Y 'nin açıklayıcı nedenleridir ve bu dışsal değişkenlerin ortak değiştiği varsayılmaktadır. Bununla birlikte, model X_1 ve X_2 'nin neden birlikte değiştiğini açıklamamaktadır.

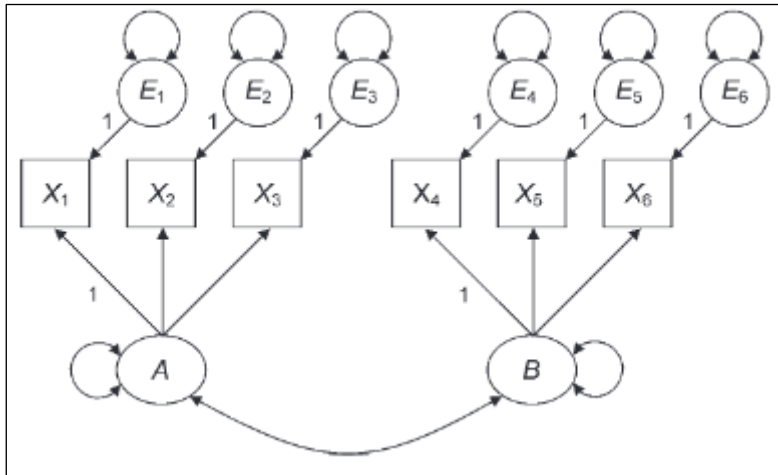
Şekil 5.2. (c) 'deki yol modelinde, diğer gözlenen değişkenlerden Y_2 içsel değişkeni üzerinde iki doğrudan etki bulunmaktadır; biri dışsal değişken X ve diğeri diğer içsel değişken olan Y_1 . Dolaylı etkiler, önceki değişkenlerin sonraki değişkenler üzerindeki nedensel etkilerinden bazılarını "iletildiği" varsayılan bir veya daha fazla araya giren değişkenleri veya aracı değişkenleri içermektedir. Şekil 5.2. (c) 'deki model, X değişkeninin Y_2 'yi hem doğrudan hem de Y_1 üzerinden dolaylı olarak etkilediğini ifade etmektedir. Bu dolaylı etki, üç değişkenli zincire yani; $X \rightarrow Y_1 \rightarrow Y_2$ 'ye karşılık gelir. Doğrudan etkiler YEM'de tahmin edildiği gibi, dolaylı etkiler de tahmin edilebilir (Kline, 2011:104-106).

Faktör analizi

Faktör analizi; birbiriyle ilişkili çok sayıda değişkeni bir araya getirerek kavramsal olarak anlamlı daha az sayıda yeni değişkenleri (faktörler, boyutlar) bulmayı amaçlayan çok değişkenli bir istatistik yöntemidir (Büyüköztürk, 2002). Değişkenlerin kovaryans yapısını inceleyerek bu değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmayı ve bu ilişkiye dayanarak değişkenleri faktör ya da boyut adıyla gruplandırmayı amaçlamaktadır (Daniel, 1998'den aktaran; Büyüköztürk, 2002). Bir başka ifadeyle faktör analizi gözlenen ve aralarında korelasyon bulunan X veri matrisindeki p değişkenden gözlenemeyen fakat değişkenlerin bir araya gelmesi ile ortaya çıkan sınıflamayı yansıtan rastgele faktörleri ortaya çıkarmayı amaçlar. Türetilen bu yeni değişkenlere faktör adı verilir (Özdamar, 2010). Faktör analizinin amacı; çok sayıdaki değişkenin sınıflandırılmasını sağlamaktır. Değişkenler sınıflandırılırken aralarındaki ilişkiler kullanılır. Birbiri ile güçlü ilişkiye sahip değişkenler aynı faktör grubunda yer alırlar.

Faktör analizi, açıklayıcı faktör analizi (AFA) ve doğrulayıcı faktör analizi (DFA) olarak ikiye ayrılır. Açıklayıcı faktör analizi faktör ya da boyutların teorik olarak daha önceden belli olmadığı durumlarda kullanılır ve bir grup değişken için bir faktör modeli ya da yapısı belirler (Bandalos, 1996'dan aktaran; Doğan, Soysal ve Karaman, 2017:375). AFA çoğunlukla teorileri test etmekten daha ziyade teori üreten bir teknik olarak düşünülmektedir (Stevens, 2002). Bu yönüyle AFA üretilen bilgileri doğrulamaktan

ziyade, hipotezleri test etmek için kullanılır. Doğrulayıcı faktör analizi ise; teori üreten bir modelden daha çok teori test eden bir modeldir. Doğrulayıcı faktör analizinde araştırmacı analizden önce bir model kurar. Bu model, hangi değişkenlerin hangi boyutlarla ve hangi boyutların birbirleriyle ilişkili olduğunu belirtir. Böylece model kuramsal ya da deneysel bir temele dayandırılmış olur (Doğan vd., 2017). Doğrulayıcı faktör analizi gizli faktörler ve bir dizi ölçülen gösterge (veya öğeler) arasındaki önceki ilişkileri incelemek için kullanılmakta ve gizli değişkenler ile ilgili kuramların test edilmesinde ve daha üst seviyede kullanılan oldukça geniş bir tekniktir (Tabachnick ve Fidell, 2014). Araştırmacıların analizi yapmadan önce faktör yapısı hakkında hipotezleri vardır. Spesifik olarak, birkaç gizli faktör içeren bir model öne sürerler ve hangi ölçülen değişkenin hangi faktörün göstergesi olduğunu bilirler (Kline, 2011). Bir DFA modeli, ölçülen göstergeler ve gizli faktörler arasında önerilen ilişkilerin veriler tarafından desteklenip desteklenmediğini değerlendirir. Açımlayıcı faktör analizinde belirlenen faktörler ile kuramsal olarak ortaya konulan faktörler arasında uyum olup olmadığı DFA ile araştırılır. Bu bağlamda DFA, AFA ile elde edilen yapıların, yapı geçerliğini değerlendirmek amacıyla kullanılır (Kline, 2011:112). Aşağıdaki Şekil 5.3’de standart bir DFA modeli gösterimi çizilmiştir;



Şekil 5.3. Standart doğrulayıcı faktör analizi gösterimi (Kline, 2011:112)

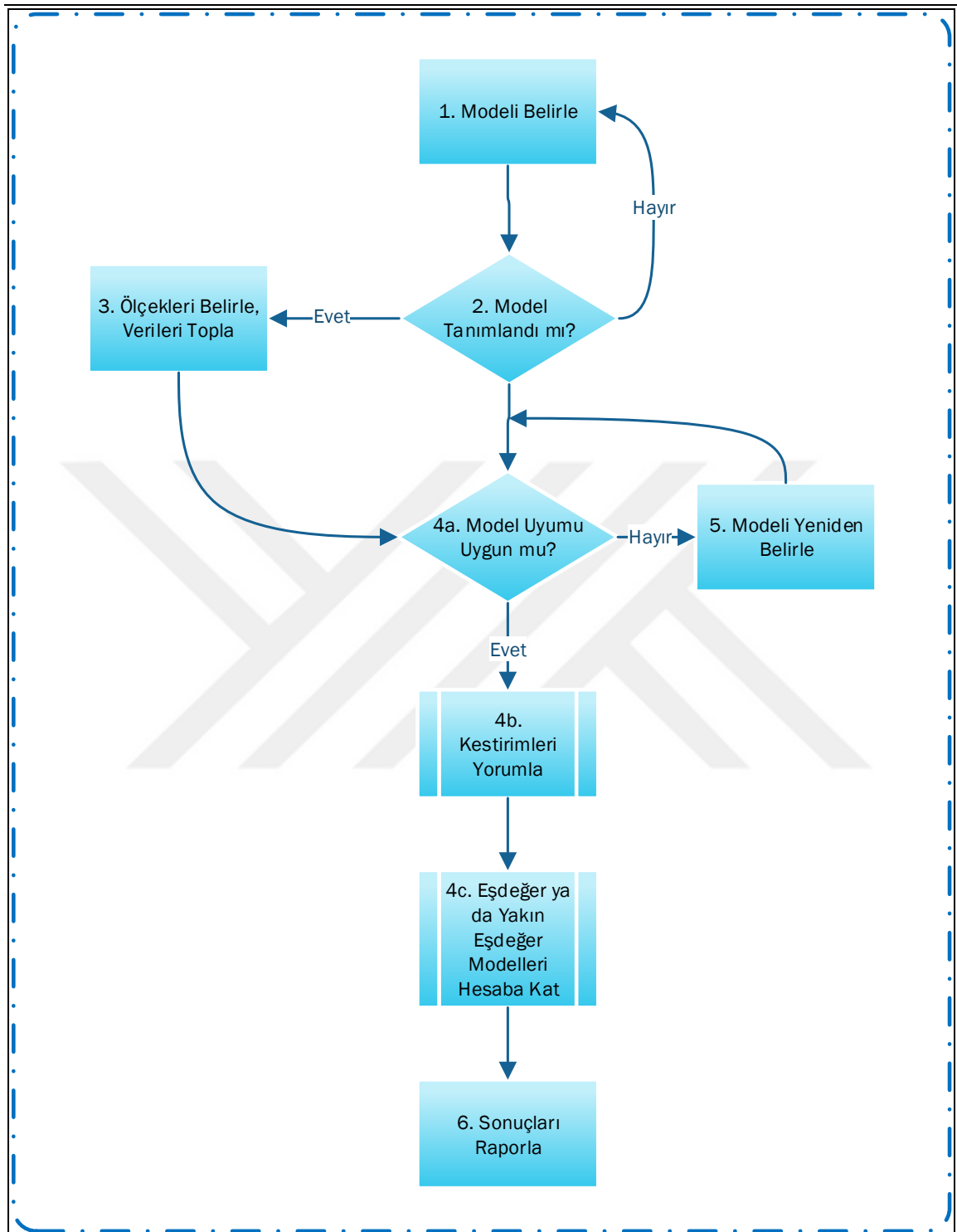
5.1.3. Yapısal eşitlik modelinin varsayım ve aşamaları

Yapısal eşitlik modelinin ilk aşamasında konu ile ilgili teori, araştırma ve bilgiler kullanılarak teorik model belirlenir. İkinci aşamada yol diyagramı yardımıyla yapısal eşitlikler tanımlanır. Üçüncü aşamada örneklem seçilir ve veri toplanır. Dördüncü aşamada eşitliklerde tanımlanan parametrelerin tahminleri yapılır. Daha sonra hesaplanan uyum

iyiliği indeksleri değerlendirilir, bu değerlendirme sonucunda model kabul edilir ya da reddedilir (Yılmaz ve Varol, 2015). YEM çalışmalarının en temel özelliği tamamen teoriye dayalı olmalarıdır. Hemen her YEM çalışmasında araştırmacının veri toplamaya başlamadan önce, teorik bir çerçeve oluşturmuş olması gerekmektedir. Bir dizi değişkene sahip olan araştırmacı, bu değişkenler arasındaki olası ilişki örüntüsünü belirlemek zorundadır. YEM analizi ile bu örüntünün veri tarafından doğrulanıp doğrulanmadığı incelenmektedir (Çapık, 2014).

Kline “Principles and Practice of Structural Equation Modeling” adlı kitabında yapısal eşitlik modeli oluşturmak için Şekil 5.4’de verilen akış diyagramında gösterildiği gibi 6 temel adım olduğunu söylemektedir;

- Modelin belirlenmesi,
- Modelin tanımlanması,
- Parametrelerin tahmini,
- Modelin uyumunun test edilmesi ve değerlendirme,
- Model modifikasyonu (modification)
- Sonuçların raporlanması

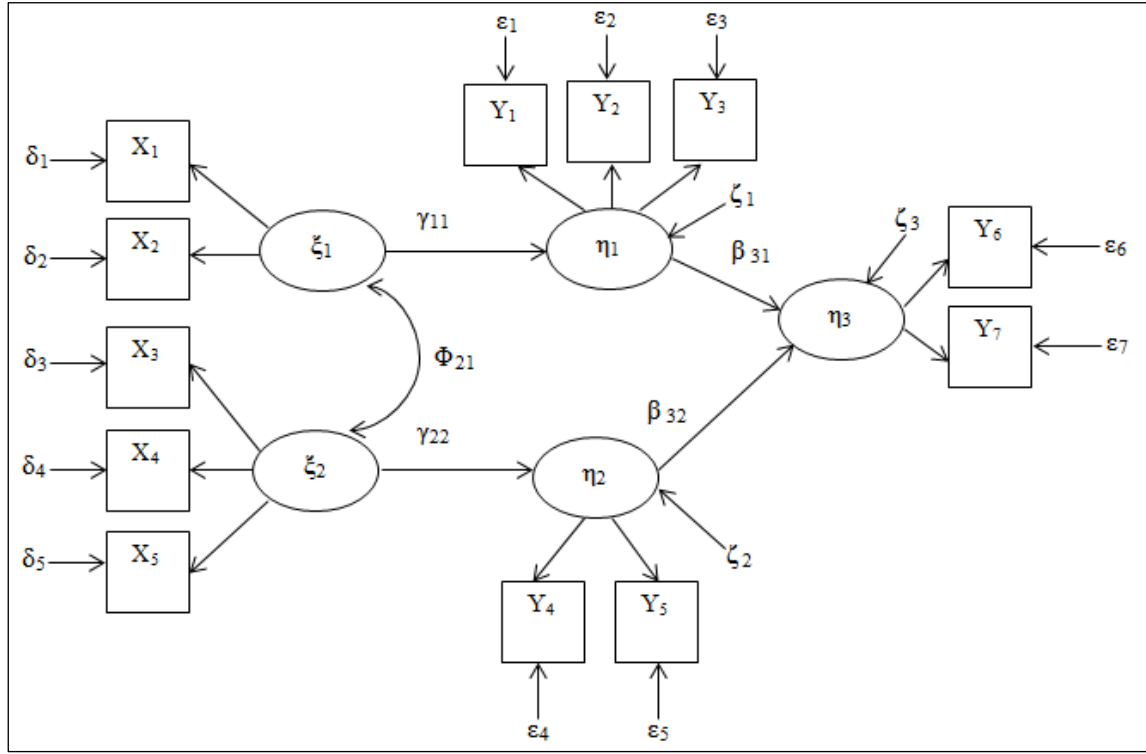


Şekil 5.4. YEM temel adımlar akış şeması (Kline, 2011:92)

Modelin belirlenmesi

Model belirleme aşaması birden fazla değişken arasındaki ilişkileri açıklamak üzere mevcut teorileri, araştırma ve bilgileri kullanarak teorik modelin oluşturulma aşamasıdır. Genel olarak yol analizi ve denklemlerin tanımlanmasını içerir. Bu denklemler daha sonra

bilgisayar programları aracılığıyla örnek veriler kullanılarak tahmin edilen gözlenen veya gizli değişkenler arasındaki varsayılan ilişkilere karşılık gelen modelin parametrelerini tanımlar. Aşağıda Şekil 5.5.'de ölçme ve yapı modellerini içeren tipik bir yapısal eşitlik modeli örneği verilmiştir;



Şekil 5.5. Tipik bir yapısal eşitlik modeli (Rigdon'dan alıntılan Altaban, 2013)

Yukarıdaki modelde gizli (örtük) değişkenler ovaler ile gösterilmiş ve gözlenen (gösterge) değişkenler kutularla temsil edilmiştir. Şekil 5.5.'de ξ_1 , ξ_2 , η_1 , η_2 ve η_3 gizli değişkenler olup ξ_1 , ξ_2 bağımsız değişkenlerken η_1 , η_2 ve η_3 'ün iki, ξ_2 ve η_1 'in üç gözlenen değişken yoluyla temsil edildiği görülmektedir. ξ_1 , ξ_2 bağımsız değişkenlerken η_1 , η_2 ve η_3 bağımlı değişkenlerdir. Şekil 5.5; η_1 'in ξ_1 , η_2 'nin ξ_2 , η_3 'ün de η_1 ve η_2 tarafından açıklandığını iddia eden bir modelin test edilmesi için kurulan yapısal modeli temsil etmektedir. Y_i ($i = 1,2,3$); içsel gizli değişkenlerin göstergelerinin vektörüdür. Benzer şekilde X , dışsal gizli değişkenlerin göstergelerinin vektörüdür. δ_i , $i = 1,2$ ve ϵ_i , $i = 1,2, \dots, 7$ gösterge değişkenlerin ölçüm hataları vektörüdür. Gizli değişkenler arasındaki yol katsayıları vektörleri ise β ve γ ile gösterilmiştir. Şekilde verilen diyagramda yer alan görsellerin ifadesi aşağıdaki gibidir ve YEM gösterimlerinin tam listesi Çizelge 5.1.'de verilmiştir (Newsom, 2012'den alıntılan; Altaban, 2013).

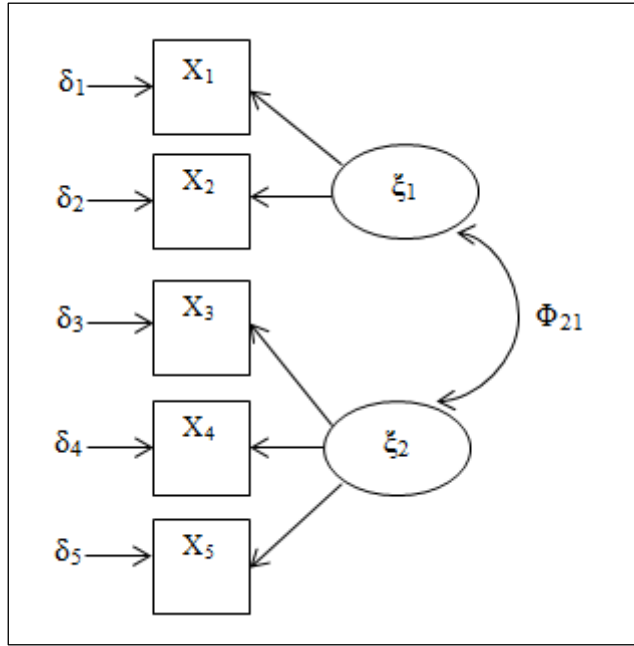
Parametre Sembolü (Latince Küçük Sembol)	Matriks Sembolü (Latince Büyük Sembol)	Açıklama
λ_x, λ_y	Λ_x, Λ_y	Dışsal ve içsel gizli değişkenler için faktör yükleri
ϕ	Φ	Dışsal gizli değişkenlerin kovaryansları
ψ	Ψ	İçsel dağılımlar arasındaki kovaryanslar
γ	Γ	Dışsal değişkenlerden içsel değişkenlere regresyon katsayısı
β	B	İçsel gizli değişken için regresyon katsayısı
-----	A	Yol katsayıları matrisi
δ, ϵ	Θ_δ (aynı zamanda Δ şeklinde de kullanılır), Θ_ϵ	Dışsal ve içsel değişkenler için ölçüm hataları
ξ	Matris olarak kullanılmaz, sadece faktör adlandırılmasında	Dışsal gizli değişkenler
η	Matris olarak kullanılmaz, sadece faktör adlandırılmasında	İçsel gizli değişkenler
ζ	Matris olarak kullanılmaz, sadece adlandırma bozukluğunda	İçsel değişkenler için yapısal hatalar
x, y	Matrislerde kullanılmaz, sadece farklı değişkenlerde	Bağımlı ve bağımsız gözlenen değişkenler
-----	Σ	Kovaryans matrisi

Çizelge 5.1. LISREL YEM gösterimi (Newsom, 2012'den alıntılan; Altaban, 2013)

Modelin belirlenmesi aşamasında; gözlenen değişkenler ve sayıları, ortak faktörler ve aralarındaki varyans ve kovaryanslar, gözlenen değişkenler ve gizli faktörler arasındaki ilişkiler, artık değişkenler arasındaki ilişkiler ve değişkenler ve kovaryanslar belirlenmiş olmalıdır (Şen, 2013).

Yapısal bir denklem modeli belirlemek bir veya daha fazla regresyon denklemini formüle etmekten farklıdır. Çünkü çok sayıda bağımsız değişken ve karmaşık bir dizi denklemle

bağılantılı bağımlı değişkenler vardır. Yapısal modelin analizinin anlamlı olabilmesi için önce ölçme modelinin uygun bir şekilde belirtilmesi ardından da yapı modelinin kurulması gerekir. Ölçme modeli; modelin ölçülen değişkenlerini gizli faktörlerle ilişkilendiren faktör analitik kısmıdır. Yapı modeli ise; modelin değişkenlerini veya faktörlerini birbiriyle ilişkilendiren regresyon kısmıdır (tahmin). Şekil 5.6'da verilen tipik YEM örneği içerisindeki ölçme modeli aşağıdaki gibidir;



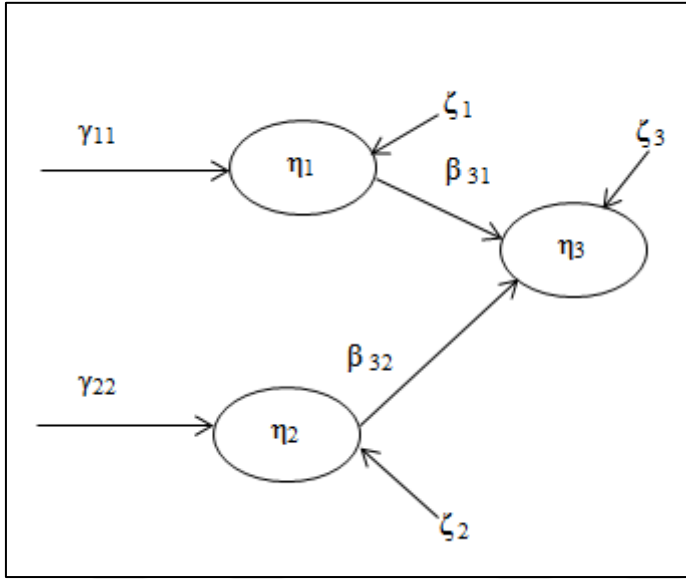
Şekil 5.6. Ölçme modeli (Rigdon'dan alıntılan Altaban, 2013)

Ölçme modeline ait denklemler Eş. 5.1 ve Eş. 5.2'de gösterildiği gibidir;

$$y = A_{y(pxm)} * \eta_{(mx1)} + \varepsilon_{(px1)} \quad (5.1)$$

$$X_{(qx1)} = A_{x(qxn)} * \xi_{(nx1)} + \delta_{(qx1)} \quad (5.2)$$

Şekil 5.5'de yer alan tipik YEM gösteriminde modelin değişkenlerini veya faktörlerini birbiriyle ilişkilendiren kısmını ifade eden yapı modeli ise modelin aşağıdaki şekilde belirtilen kısmından elde edilecektir;



Şekil 5.7. Yapı modeli (Rigdon'dan alıntılıyan Altaban, 2013)

Bu yapı modelinden elde edilen yapısal eşitlik Eş. 5.3'deki gibi olacaktır;

$$\eta_{(mx1)} = B_{(mxm)} * \eta_{(mx1)} + \Gamma_{(mxn)} * \xi_{(nx1)} + \zeta_{(mx1)} \quad (5.3)$$

Ölçüm ve yapı modelinin bir araya gelmesiyle yapısal eşitlik modeli oluşturulmuş olur. Şekil 5.5'de gösterilen model 5 faktör 12 madde içermektedir. Toplam 14 bağımsız değişken (hatalar bağımsız değişken olarak kabul edilmektedir; 2 faktör ve 12 hata) ve 3 bağımlı değişken bulunmaktadır. 12 hata vardır ve hatalar faktörler tarafından açıklanamayan varyansları temsil etmektedir.

Modelin tanımlanması

Bir modelin tanımlı olabilmesi için modelin istatistiki açıdan bazı gereksinimleri karşılaması gerekmektedir. Bryne model tanımlamayı gözlemlere uyumlu tek bir parametre setinin var olup olmadığının araştırılması olarak ifade etmiştir (Byrne, 2010). Bir yapısal eşitlik modelinin sağlaması gereken iki koşul vardır. Bu koşullar gerekli ama modelin tanımlı olabilmesi için yeterli değildir;

1. Model serbestlik derecesi (df) sıfır ve sıfırdan büyük olmalıdır
2. Her gizli değişkene bir ölçek atanmalıdır

Bir modelde serbest parametre sayısı kadar gözlem değeri olmalıdır. Eğer serbest parametre sayısı gözlem (dolayısıyla eşitlik) sayısına eşitse serbestlik derecesi sıfıra eşittir

ve model tam tanımlanmıştır. Çünkü bu durumda parametrelerin alabileceği tek bir değer vardır ve model kestirimi yapılabilir. Eğer gözlem sayısı parametre sayısından büyükse serbestlik derecesi de sıfırdan büyüktür bu durumda model aşırı tanımlanmıştır. Modelin aşırı tanımlandığı durumlarda model kestirimi yapılabilir fakat model hatalı olabilir. Çünkü parametreler bu durumda birden çok değere sahip olabilir. Fakat gözlem sayısı parametre sayısından az ve tüm parametrelerini benzersiz bir şekilde tahmin etmenin mümkün olmadığı bir model söz konusuysa model eksik tanımlanmış demektir. Eksik tanımlanmış modellerde model kestirimi yapılamaz çünkü parametrelere ait değerlerin neler olduğunu kestirebilecek yeterli gözlem (eşitlik) bulunmamaktadır (Kline, 2011). Hata terimleri de dahil olmak üzere tüm gizli değişkenlerin ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Yüklerden biri ya da faktör varyansı 1'e sabitlenerek ölçeklendirilebilir.

Parametrelerin tahmini

Parametre tahmininin amacı; örneklem kovaryans matrisi (S) ile model kovaryans matrisi ($\Sigma(\theta)$) arasındaki farkı minimum yapan uyum fonksiyonuna ulaşmaktır. Eğer aradaki fark sıfırsa iki matris arasında mükemmel uyum vardır. Kestirimdeki amaç; bilinmeyen parametre değerlerini bulmaktır. Teorik kovaryans matrisinin, ampirik kovaryans matrisine mümkün olduğu kadar yakın olması istenmektedir. Üretilen ve gözlemlenen kovaryans matrislerinin yeterince yakın olması durumunda, yinelemelerin “yakınsanmış” olduğu söylenir ve işlem sona erer (Şen, 2013). Uyum fonksiyonunu hesaplamanın farklı yolları bulunmakta ve bunlar parametre tahmin yöntemleri olarak bilinmektedir. Model ve parametre kestirimi için en çok kullanılan yöntemler; maksimum olabilirlik (maximum likelihood-ML), ağırlıklandırılmış en küçük kareler (weighted leastsquares-WLS) ve genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemidir (generalized leastsquares-GLS) (Raykov ve Marcoulides, 2006). Parametre tahmin süreci YEM’de bilgisayar programları aracılığı ile yapılmaktadır. Modelin veriye uyumunu test etmede kullanılan yöntemler sonucunda model veriye iyi uyum gösteriyorsa parametre kestirimleri yorumlanır. Parametre kestirim yöntemleri kullanılarak; standartlaştırılmış (ya da standartlaştırılmamış) faktör yükleri, faktör varyansları, faktör kovaryansları, bozulmalar ve hatalar için tahmini değerler elde edilir (Şen, 2013).

Modelin uyumunun test edilmesi ve değerlendirme

Model test istatistiği, örneklem kovaryans matrisinin model kovaryans matrisine yeterince yakın olup olmadığını yani uyumunun ölçüldüğü ve uyum iyiliği adı verilen istatistiklerdir.

YEM’de bu uyumu ölçen çok sayıda istatistik bulunmaktadır. Model uyumu değerlendirilirken elde edilen uyum istatistiği değerleri ile parametrelerin özellikleri de dikkate alınır. Uyum iyiliği istatistikleri genellikle standartlaştırılmıştır ve 0 ile 1.0 arasında değer almaktadır. 1.0 mükemmel uyumu göstermektedir. YEM’de uyum indekslerini 4 grupta toplamak mümkündür (Kline, 2011);

Mutlak Uyum: Model tarafından açıklanan örneklem verilerine ait matrisdeki kovaryansların oranıdır ve modelin örneklem verilerini ne kadar iyi ürettiğini yani örneklem kovaryans matrisi ile test edilen modelden elde edilen kovaryans matrisi arasındaki benzerliği göstermektedir. Ki-kare testi(χ^2), GFI (Goodness of fit index), AGFI (Adjusted goodness of fit index), RMR (Rootmean square residual),SRMR (Standardized root mean square residual) mutlak uyum istatistikleri olarak gösterilebilir.

Artımlı Uyum: Temel model ile test edilen modelin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Bu nedenle karşılaştırmalı uyum indeksleri olarak da bilinir. İstatistiksel bir temel model ile test edilen model karşılaştırıldığında araştırmacının modelinin uyumundaki göreceli iyileşmeyi gösterir. Artan uyum kriterleri arasında Normlaştırılmış Uyum İndeksi (NFI), Artan Uyum İndeksi (IFI), Normlaştırılmamış Uyum İndeksi (NNFI) ve Karşılaştırmalı Uyum İndeksi (CFI) istatistikleri verilebilir.

Tutumluluk Düzeltmesi: Karşılaştırılan modeller içerisinde daha sade olanın tercih edilmesidir. Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (RMSEA), McDonald’s Uyum İndeksi (MFI), Akaike Bilgi Kriteri (AIC) gibi ölçütler yer almaktadır.

Öngörücü Uyum: Orijinal örneklemle aynı büyüklükteki ve aynı popülasyondan rastgele alınan varsayımsal tekrar örneklerindeki model uyumunu tahmin eden öngörücü uyum indeksleri de vardır. Bu indeksler, örneğe dayalı değil, nüfus temelli olarak görülebilir ancak çoğu YEM uygulaması bunun kapsamına girmemektedir.

Aşağıdaki çizelgede literatürde sıklıkla kullanılan model uyum ölçütleri ve bunlarla ilgili kritik değerler verilmektedir;

Çizelge 5.2. Uyum istatistikleri (Karaman, 2019)

Model Uyum Kriteri	İyi Uyum	Kabul Edilebilir Uyum
Mutlak Uyum İndeksleri		
χ^2 / sd	$0 \leq \chi^2 / sd \leq 2$	$2 \leq \chi^2 / sd \leq 3$
GFI	$0.95 \leq GFI \leq 1$	$0.90 \leq GFI < 0.95$
AGFI	$0.90 \leq AGFI \leq 1$	$0.85 \leq AGFI < 0.90$
SRMR	$0 \leq SRMR \leq .05$	$.05 < SRMR \leq 0.10$
RMSEA	$0 \leq RMSEA \leq .05$	$.05 < RMSEA \leq .08$
Artımlı Uyum İndeksleri		
NFI	$0.95 \leq NFI \leq 1$	$0.90 \leq NFI < 0.95$
NNFI	$0.97 \leq NNFI \leq 1$	$0.95 \leq NNFI < 0.97$
CFI	$0.97 \leq CFI \leq 1$	$0.95 \leq CFI < 0.97$
Kısıtlı Uyum İndeksleri		
AIC	AIC < doymuş ve bağımsız model AIC değeri	
CAIC	CAIC < doymuş ve bağımsız model CAIC değeri	
ECVI	ECVI < doymuş ve bağımsız model ECVI değeri	

Model modifikasyonu

Model uyumu yeterince iyi değilse daha iyi uyum elde edebilmek amacıyla YEM modellerinde iyileştirme yapılabilir. Modifikasyon endeksleri (MI) artık değerler ve yerel uyum (localfit) hakkında bilgiler sunar. Böylelikle modeldeki problemleri tespit edilerek modelde anlamlı olmayan parametrelerin modelden çıkarılmasına veya modele eklenmesi anlamlı olacak parametrelerin modele eklenmesine karar verilmektedir. t istatistik değeri t tablo değeri ile karşılaştırılarak ve Wald istatistiği kullanılarak parametre modelden çıkarılabileceği gibi bir parametreyi modele eklemek için de en yüksek modifikasyon indeksi (Modification Index-MI) değerini seçmek, en yüksek parametre değişim istatistiğini (Expected Parameter Change-EPC) seçmek, Lagrange çarpanları (Lagrange Multiplier-LM) istatistiği kullanılabilir (Byrne, 2010).

Sonuçların raporlanması

Çalışma sonunda araştırmacı yukarıda bahsi geçen her adımı ve modelin uyum istatistiklerini raporlar. Boomsma (2000), Hoyle ve Panter (1995), McDonald ve Ho (2002) ve Thompson (2000) çalışma sonuçlarının raporlanması ile ilgili yönergelerin yer aldığı

çalışmalar yayınlamışlardır. Schumacker ve Lomax (2010) sonuçların raporlanması ile ilgili bir kontrol listesi hazırlamışlar ve raporlama yaparken aşağıdaki verilerin sonuç raporunda bulunmasını tavsiye etmişlerdir;

- Teorik modeli destekleyen bir literatür incelemesi,
- Kullanılan yazılım programının sürümü,
- SEM modeli analizinin türü,
- Korelasyon matrisi, örneklem büyüklüğü, ortalamalar ve değişkenlerin standart sapmalarına ait sonuçlar,
- Teorik modelin diyagramı,
- Sonuçların yorumlanması için kullanılan uyum istatistikleri değerleri.

Yapısal eşitlik çalışmalarında sonuçların raporlanması daha sonra yapılacak çalışmalar için modelin tekrarlanması ya da doğrulanması için önemli bulunmaktadır.

5.2. Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksinin Belirlenmesi

Bir ya da daha fazla değişkenin zaman, mekan veya diğer özelliklere göre gösterdiği nispi değişimlerin ölçülmesinde kullanılan oranlar endeks olarak tanımlanmakta, birden fazla oranın oluşturduğu serilere ise endeks serisi adı verilmektedir (Arda, 2008:111-112). Endeksleri bir araya getirirken yaşanan en büyük zorluk, tam olarak nelerin endeks ölçümüne dahil edileceği ve dahil edilenlerin ağırlıklarının ne olacağı konusudur (Bishop, 2013). Ekonomik göstergelerin yorumlanması, demografik özelliklerin incelenmesi, üretim faktörlerinin incelenmesi gibi stratejik işlerde kullanılan endeksler aynı zamanda karar vericiler için verilen kararlara olan etkisinden dolayı önemli bir göstergedir (Aktepe, 2015). Endeks ölçümü yapılan alanlardan biri de dijital dönüşüm yetkinliğidir. Dijital dönüşümle ilgili yapılan endekslerden bazıları; Dünya Ekonomik Forumu tarafından “Ağ Hazırlık Endeksi (NRI)”, Avrupa Komisyonu tarafından oluşturulan “Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI)”, Oxford Economics ve Accenture tarafından dijital teknolojilerin ekonomik büyümeyi nasıl etkilediğini ölçen “Dijital Yoğunluk Endeksi (DDI)”, McKinsey Global Institute (MGI) tarafından sektörlerin dijital durumunu ölçmek için kullanılan ve en önemli ölçüm örneklerinden biri olan “Industry Digitalization Index” olarak sıralanabilir. Endüstri 4.0 için genel kabul görmüş bir endeks modeli olmamakla birlikte Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi (ACATECH) tarafından hazırlanan

“Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi” 4 bileşenden oluşmaktadır; bilgi sistemleri, kaynaklar, organizasyon ve kültür.

Ülkemizde Endüstri 4.0 çalışmaları dijital dönüşüm başlığı altında yürütülmektedir. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın “Türkiye’nin Sanayi Devrimi “Dijital Türkiye” Yol Haritası raporuna göre yeni bir sanayi devrimi niteliğinde olan imalat sanayinin dijital dönüşümü bundan önceki sanayi devrimlerinde olduğu gibi sanayinin işleyişinde köklü ve küresel ölçekte değişime yol açabilecek potansiyele sahip olduğu için son derece önemli görülmektedir. Rapora göre imalat sanayinin dijitalleşmesi; en genel hatlarıyla nesnelerin interneti, yapay zekâ, ileri analitik gibi dijital teknolojiler ile robotik sistemler, eklemeli imalat gibi ileri üretim teknolojilerinin imalat sanayinde giderek artan nispette ve farklı şekillerde kullanılması süreci olarak tanımlanmıştır. Dijital dönüşümün sadece imalat sanayini değil aynı zamanda ekonominin diğer sektörlerini ve sosyal hayatı da etkileyeceği, siber-fiziksel sistemlerde yaşanan gelişmelerle ortaya çıkan dördüncü sanayi devrimi ile özellikle üretim, ulaşım ve hizmetler gibi birçok alanı kapsayan yeni bir dijital ekonomi kavramından bahsedilmeye başlandığı vurgulanmıştır. Raporda ayrıca; Dünya Ekonomik Forumuna (WEF) göre (2016) dijital dönüşümün sosyal ve ekonomik açılardan yaratacağı değer 10 yıllık dönemde toplam 100 trilyon dolar olacağı öngörüldüğü, dijitalleşmenin diğer sektörlerle beraber toplam net ekonomik faydasının yaklaşık 30 trilyon dolar olacağının tahmin edildiği belirtilmiştir (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2018).

Kuruluşların ve iş modellerinin yaygın dijitalleşmesi, günümüzün küresel ekonomisini yeniden şekillendiren en güçlü trendlerden biridir. Süreçleri sayısallaştırma dürtüsü, hem hayatta kalma hem de büyüme için eşit derecede önemli olan, daha yüksek organizasyonel performans elde etme ve rekabet avantajları oluşturma gibi güçlü bir varsayımla beslenmektedir (Peppard ve Ward, 2016). Dijitalleşmeye dahil olan kuruluşlar, temel olarak yatırımların önceliklendirilmesi ve gerçek değeri anlama ile ilgili birçok sorunla karşı karşıyadır. Her iki konu için de, dijital çözümlerin önceden ve sonradan uygulanması için somut çıktıları değerlendirmek ve bunların uygun şekilde ölçülmesini sağlamak için bir dizi ölçütün geliştirilmesi ve yönetilmesi kritik önem taşır. Firmaların derecelendirilmelerinde finansa dayalı sayısal değerlendirmeler artık zayıf kalmakta kriz dönemlerinde şirketlerin sadece finansal gücünün krizle baş etmede yeterli olmadığı, bu finansal gücü yaratan yönetsel ve faaliyetler sürecinin de önem kazandığı gözlemlenmiştir (Yıldız, 2014). Kar ve zarar tablosunun tüm boyutlarında verimlilik iyileştirmeleri beklenir; gelir yaratma (yeni müşteriler, yeni satışlar, daha yüksek çapraz

satış oranı ve daha düşük kayıp), iyileştirilmiş maliyetler (otomatik süreçler, kesintisiz işleme, daha kısa üretim süresi) ve daha iyi risk yönetimi (kesin ve zamanında veriler kullanılarak kanıtlanmış puanlama, daha az operasyonel sorun, gelişmiş risk modellemesi) (Kotarba, 2017). Endüstri 4.0'ın mevcut zorlukları, yöneticileri bu tür değişikliklere hazırlıklı olup olmadıklarını konusunda karar almaya zorlamaktadır. Genellikle organizasyonlarında durumun ne olduğunu ve yakın gelecekte hangi teknolojiye yatırım yapmaları gerektiği ile ilgili sorulara yanıt ararlar. Bu nedenle, bu çalışma firmaların Endüstri 4.0 bağlamında mevcut iş durumunun nasıl değerlendirileceğini ve analiz edileceğini tartışmaktadır.

Sayısallaştırma, analog bilgileri dijital formata dönüştürme sürecidir. Daha geniş anlamda dijitalleşme; bilgi üretmek, işlemek, paylaşmak ve işlem yapmak için dijital teknolojilerin büyük ölçüde benimsenmesiyle tetiklenen ekonomik ve sosyal dönüşüm olarak tanımlanmaktadır. Dijitalleşme, ağ erişim teknolojilerinin, yarı iletken teknolojilerinin ve yazılım mühendisliğinin evrimine dayanır ve kullanımlarından kaynaklanan yayılma etkilerinden yararlanır. Ölçütler açısından bakıldığında, bu yeni döneme doğru ilerlemeyi ölçen çoğu endeks, yakın zamana kadar kablosuz telefon penetrasyonu, internete erişim ve geniş bant benimseme gibi ölçütlere odaklanmıştır. Özellikle, dijital yoğun toplumlara geçiş sadece teknolojinin benimsenmesiyle değil, aynı zamanda bu teknolojilerin kullanımıyla da ilişkilidir (Katz, Koutroumpis ve Callorda, 2013).

Katz vd.'ne göre; önemli bir etki elde etmek için, dijitalleşmenin belirli bir ulusun ekonomik ve sosyal dokusu içinde geniş çapta yayılması gerekir. Bunun gerçekleşmesi için, üç düzeyde benimsenmesi gerekir; bireyler, ekonomik işletmeler ve toplumlar. Bu koşulun gerçekleşmesi için sayısallaştırmanın birkaç koşulu yerine getirmesi gerekir. Birincisi; ölçeklendirilebilir etkiye izin vermesi için ekonomik olması gerekir. Buna ek olarak, her yerde bulunabilmeli ve birden çok sabit ve mobil ses ve veri cihazıyla erişilebilir olmalıdır. Son olarak, etkili kullanımlarını engellemeyen büyük miktarda bilgiyi hızlı bir şekilde iletmek için yeterli kapasite sağlayarak güvenilir olması gerekir (Katz vd., 2013). Şirketlerde dijital dönüşümün ölçülmesi yalnızca teknoloji penetrasyonunu değil aynı zamanda dijitalleşmenin tam etkisini anlamak için kullanımını da kapsamalıdır. Endüstri 4.0 dijital süreç dönüşümü; bilgi teknolojilerini geliştirme, yatay ve dikey entegrasyonu sağlayarak uçtan uca dijital mühendisliği gerçekleştirmek, otomasyon ve robotik ile büyük

veri kümelerini toplama, depolama, analiz etme ve dijital ikizler sayesinde bunları simüle ederek yeni iş modelleri geliştirebilmek için akıllı sensörlerin kullanımını içerir.

Bu amaçla, bu çalışmada altı kapsayıcı bileşene dayalı bir bileşik endeks geliştirilmiştir: strateji yönetimi, organizasyon yönetimi, teknoloji yönetimi, akıllı üretim, akıllı süreçler, akıllı ürünler. Bu bileşenler 21 alanı kapsamaktadır (ayrıntılı bilgi 4. Bölümde verilmiştir). Endüstri 4.0 bileşenleri oldukça karmaşık ve birbiriyle iç içe geçmiş durumdadır. Bahsi geçen bu altı boyut firma içerisinde gözlenemediği için doğrudan ölçülemezler. Bu nedenle boyutların ölçülebilmesi için bu boyutlarla ilişkili gözlenebilir değişkenler tanımlanmıştır. Endüstri 4.0 bileşenleri gibi karmaşık yapıların test edilmesini, bileşenler arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmasını, tek seferde birçok analizin yapılmasını sağladığı ve ilişkilerle ilgili araştırmacıya önerilerde bulunduğu için Endüstri 4.0 olgunluğunun ölçülmesinde yapısal eşitlik modellemesi kullanılmıştır.

5.3. Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi İçin Geliştirilen Model

Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen modelin uygulama aşamaları anlatılmaktadır. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli oluşturulurken ilk önce doğrudan gözlenip ölçülemeyen gizli değişkenler ve gizli değişkenleri yansıtan ölçüm değişkenlerinin yer aldığı kavramsal model oluşturulmuştur. Kavramsal model ışığında bir anket çalışması yürütülerek veriler toplanmıştır. Toplanan verilerden elde edilen bilgiler doğrultusunda Doğrulamalı Faktör Analizi uygulanarak LISREL’de ölçüm modeli geliştirilmiştir. Ölçüm modelinin uyum istatistikleri sağlandıktan sonra gizli değişkenler arası ilişkilerin belirlenmesi için yapısal model oluşturulmuş ve elde edilen denklemler sonucunda endeks hesabı gerçekleştirilmiştir.

5.3.1. Endüstri 4.0 olgunluk endeksi kavramsal modeli

Gizli değişkenler ve ölçüm değişkenlerinin belirlendiği aşama olan kavramsal model oluşturulurken literatürde yer alan Endüstri 4.0 Olgunluk Modelleri, Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi Modelleri ve Dijital Dönüşüm Olgunluk Endeksi modelleri incelenmiştir. Literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda geliştirilen kavramsal modelde yer alan boyutlar yani gizli değişkenler şöyledir (Bölüm 4’de boyutlara ilişkin detaylı bilgi verilmiştir);

Strateji Yönetimi: Bu boyutta firmaların Endüstri 4.0 ya da dijitalleşme ile ilgili bir stratejilerinin olup olmadığı varsa bu stratejinin uygulanma düzeyi sorgulanmaktadır.

Organizasyon Yönetimi: Bu boyutta firmanın Endüstri 4.0 için yeterli bilgi ve beceri düzeyine sahip personel varlığının düzeyi ile çalışan ve organizasyon geliştirme için yapılan faaliyetlerin düzeyi sorgulanmaktadır.

Teknoloji Yönetimi: Bu boyutta firmanın teknolojik alt yapısı, teknoloji kullanımından elde ettiği değer, teknoloji kullanımından ortaya çıkabilecek güvenlik açıklarına ilişkin alınan önlemlerin düzeyi sorgulanmaktadır.

Akıllı Üretim: Bu boyutta üretim departmanının otonomlaşıma düzeyi sorgulanmaktadır.

Akıllı Ürünler: Bu boyutta üretilen ürünlerin kendi kendine hareket edebilme, karar verebilme ve veri üretme düzeyi sorgulanmaktadır.

Akıllı Süreçler: Bu boyutta ürünün tedarikten müşteriye ulaşana kadar yaşam eğrisi boyunca gerçek zamanlı gerçekleşen entegrasyon düzeyi sorgulanmaktadır.

Modelde geliştirilen gizli değişkenler ve ölçüm değişkenleri Çizelge 5.3.'de gösterilmiştir;

Çizelge 5.3. Ölçüm değişkenleri ve bağlı olduğu gizli değişkenler

Boyut (Gizli Değişken)	Alt Alan	Ölçüm değişkeni (Kriterler)
Strateji Yönetimi	Farkındalık	Endüstri 4.0'ın firma içinde farkındalık ve bilinme düzeyi
	Planlama	Endüstri 4.0 için belirlenmiş bir stratejinin varlığı ve hedeflerin düzeyi
	Uygulama	Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanma düzeyi
	İzleme	Endüstri 4.0 stratejisinin gözden geçirme ve iyileştirme düzeyi
	Yatırım	Endüstri 4.0 için bütçeden ayrılan payın düzeyi
	İnsan Kaynakları	Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların yetkinlik düzeyi
		Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların bilgi ve beceri düzeyi

Çizelge 5.3. (devam) Ölçüm değişkenleri ve bağlı olduğu gizli değişkenler

Organizasyon Yönetimi	Organizasyon Geliştirme	Endüstri 4.0'a yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi
		Yeni teknolojilerin kullanımına yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi
	Çalışan Geliştirme	Endüstri 4.0 kapsamında çalışanların yeni teknolojilere adapte olma düzeyi
Teknoloji Yönetimi	Teknoloji Stratejisi	Endüstri 4.0 kapsamında yeni teknolojilere yapılacak yatırım ve yaklaşım düzeyi
	Teknoloji Yetkinlik	Bilişim sistemlerinin kullanım etkinliğinin düzeyi
	Veri Yönetimi	Veri tabanı kullanımının etkinlik düzeyi
		Ürünlere ait verilerin kullanım düzeyi
		Firma içinde farklı birimlerde üretilen verinin entegrasyon düzeyi
		İşletme içerisinde elde edilen verilerin analiz edilme düzeyi
		İşletme içerisinde elde edilen verilerin iş süreçlerinde kullanım düzeyi
		Verilerin stratejik karar almada kullanılma düzeyi
		Firma içerisindeki süreçlerde verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilme düzeyi
	Network Altyapısı	Üretim sürecinin dijital ağlarla entegrasyon düzeyi
	Bulut Bilişim	Bulut hizmetlerinin kullanım düzeyi
	Cihaz ve Uygulamalar	Çalışanlarla makinalar arasında bilgi transferini sağlayacak ara elemanların kullanım düzeyi
	Siber Güvenlik	Bilgi güvenliği standartlarının kullanım düzeyi

Çizelge 5.3. (devam) Ölçüm değişkenleri ve bağlı olduğu gizli değişkenler

Akıllı Üretim	Dijital Modelleme ve Dijital İkiz	Ürünün üretilmeden önce dijital olarak modellenebilme düzeyi
		Ürün ve üretim sürecinin gerçek zamanlı takip edilebilme düzeyi
	Otonom Sistemler ve Robotik	Makineler arası iletişimin düzeyi
		Makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi
		Makinelerin BİT tarafından kontrol edilebilme düzeyi
Akıllı Ürünler	Sensör Teknolojileri ve Nesnelerin İnterneti	Ürünün sensörle hareket edebilme düzeyi
		Ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi
		Sensör ve aktüatör kullanım düzeyi
		Üretim sürecinin sensörlerle takip edilebilme düzeyi
	Büyük Veri	Veri elde etmek için ürünün sahip olduğu ek fonksiyonların düzeyi
Akıllı Süreçler	Yatay Entegrasyon	Tedarikçilerle, müşterilerle iletişimin entegrasyon düzeyi
		Müşterilerden geri bildirim alma düzeyi
		Müşterilerden alınan geri bildirimlerin iş süreçlerinde kullanım düzeyi
		Çoklu satış kanallarının kullanım düzeyi
		Çoklu satış kanallarından müşterilerle etkileşim kurma düzeyi
	Dikey Entegrasyon	İşletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayan yazılımların kullanım düzeyi
		İşletme fonksiyonlarında kullanılan dijital araçların otomatik raporlama yapabilme düzeyi
		İşletme fonksiyonlarından verinin anlık toplanabilme düzeyi
		Firma içerisinde dikey entegrasyonun sağlanma düzeyi

5.3.2. Anketin uygulanması

Firmaların Endüstri 4.0 seviyelerini ölçmeye yönelik hazırlanan ankette firma ile ilgili genel bilgilerin toplanmasına yönelik 7, Endüstri 4.0 seviyelerini ölçmeye yönelik 49 olmak üzere toplam 56 soru bulunmaktadır. Anket soruları EK-1’de verilmiştir. Sorular geliştirilen olgunluk modelini oluşturan 6 ana alanın her birini ölçmeye yönelik olacak şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen pilot ölçek veri toplama yöntemi bakımından “tanımlayıcı”, “açık uçlu” ve “5’li likert” olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmıştır.

- Tanımlayıcı sorular, firma yetkinliklerinin, potansiyeli ile olan ilişkisinin belirlenmesi amacıyla firma hakkında genel bilgilerin alınması,
- Açık uçlu sorular, durum tespitine yönelik varlık-yokluk ve her boyut için genel değerlendirmenin yapılması,
- 5’li likert soruları ise mevcut durumun sıklık düzeyini ayrıca soruda yer alan aktivitenin potansiyel önem derecesini ölçmeye yönelik dizayn edilmiştir.

Faktör analizi uygulamaları için gereken minimum örneklem büyüklüğü konusunda Doğan vd. (2017) inceledikleri alan yazında şu sonuca ulaşmışlardır; “Sunulan öneriler genel olarak iki kategoride toplanmaktadır. Önerilerden biri mutlak örneklem büyüklüğünün önemli olduğunu belirtir. Bu yaklaşıma göre minimum örneklem büyüklüğünün Gorsuch (1983) ve Kline (1979) en az 100; Tabachnick ve Fidell (2007) en az 150; Guilford (1954) en az 200; Cattell (1978) en az 250 ve Norusis (1994) en az 300 olmasını gerektiğini belirtmişlerdir.” Bu veriden yola çıkarak 100 ile 300 arasında örneklem büyüklüğünün bu çalışma için yeterli olacağına karar verilmiştir. Model doğrultusunda hazırlanan anket firmalara e-mail aracılığıyla gönderilmiş ve 145 firmadan Google Forms aracılığıyla yanıt alınmıştır. İlâveten; yüzyüze temas kurulan firma yetkilileri ile benzer teknolojik altyapı kullanılarak, 10 anket daha elde edilerek, toplam 155 firma sürece dahil edilmiştir. Belirtilen e-mail aracılığıyla elde edilen yanıtlardan 6 tanesi eksik bilgiler içerdiğinden 149 anket analize tabi tutulmuştur.

5.3.3. Ölçüm modeli ve yapısal modelin oluşturulması

Bu aşamada kavramsal modelde elde edilen gizli değişkenler için belirlenen ölçüm değişkenleri DFA kullanılarak test edilmiştir. Ölçüm modelinin oluşturulması ve test edilmesi LISREL programında yapılmıştır. Ölçüm değişkenleri ve bağlı oldukları gizli değişkenler Çizelge 5.4.’de gösterilmiştir;

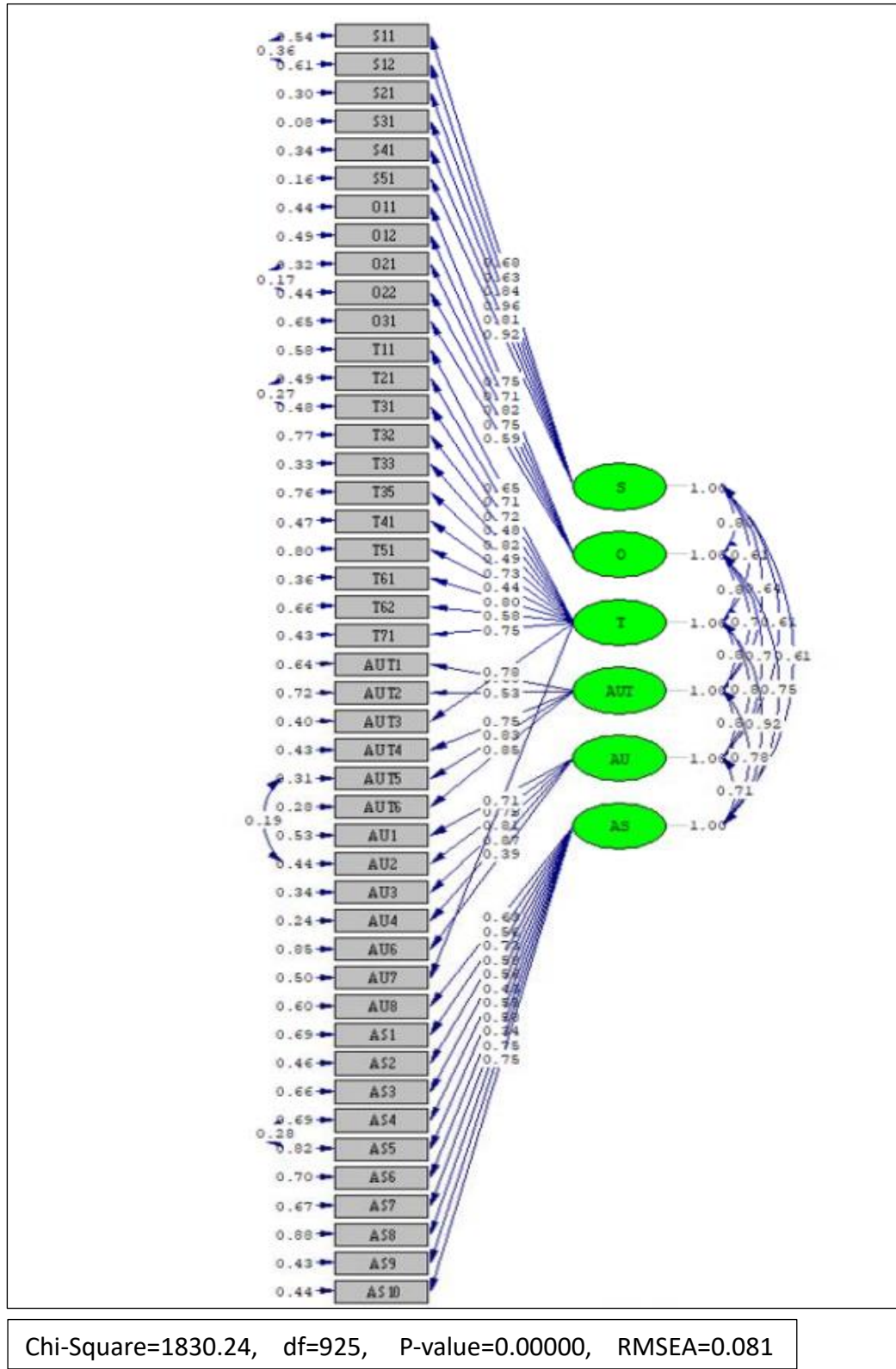
Çizelge 5.4. Ölçüm modeli değişkenleri

No	Ölçüm değişkeni	Modeldeki kodu	Bağlı Olduğu Gizli Değişken ve Kısaltmaları
1	Endüstri 4.0 in firma içinde farkındalık/bilinme düzeyi	S11	Strateji
2	Endüstri 4.0 stratejisinin belirlenme düzeyi	S12	Yönetimi [S]
3	Endüstri 4.0 için belirlenmiş hedeflerin düzeyi	S21	
4	Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanma düzeyi	S31	
5	Endüstri 4.0 stratejisinin gözden geçirme ve iyileştirme düzeyi	S41	
6	Endüstri 4.0 için bütçeden ayrılan payın düzeyi	S51	
6	Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların yetkinlik düzeyi	O11	Organizasyon
7	Endüstri 4.0'a yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	O12	Yönetimi [O]
8	Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların bilgi ve beceri düzeyi	O21	
9	Yeni teknolojilerin kullanımına yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	O22	
10	Endüstri 4.0 kapsamında çalışanların yeni teknolojilere adapte olma düzeyi	O31	
11	Endüstri 4.0 kapsamında yeni teknolojilere yapılacak yatırım ve yaklaşım düzeyi	T11	Teknoloji Yönetimi
12	Bilişim sistemlerinin kullanım etkinliğinin düzeyi	T21	[T]
13	Veri tabanı kullanımının etkinlik düzeyi	T31	
14	Ürünlere ait verilerin kullanım düzeyi	T32	
15	Firma içinde farklı birimlerde üretilen verinin entegrasyon düzeyi	T33	
16	İşletme içerisinde elde edilen verilerin analiz edilme düzeyi	T34	
17	İşletme içerisinde elde edilen verilerin iş süreçlerinde kullanım düzeyi	T35	
18	Verilerin stratejik karar almada kullanılma düzeyi	AUT3	
19	IT departmanının gerçek zamanlı veri elde etme düzeyi	AU7	
20	Üretim sürecinin dijital ağlarla entegrasyon düzeyi	T41	
21	Bulut hizmetlerinin kullanım düzeyi	T51	

Çizelge 5.4. (devam) Ölçüm modeli değişkenleri

22	Çalışanlarla makineler arasında bilgi transferini sağlayacak ara elemanların kullanım düzeyi	T61	
23	Sahip olunan teknolojilerin düzeyi	T62	
24	Bilgi Güvenliği standartlarının kullanım düzeyi	T71	
25	Ürün üretilmeden önce dijital olarak modellenebilme düzeyi	AUT1	Akıllı Üretim [AUT]
26	Ürün ve üretim sürecinin gerçek zamanlı takip edilebilme düzeyi	AUT2	
27	Makineler arası iletişimin düzeyi	AUT4	
28	Makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi	AUT5	
29	Makinelerin IT tarafında kontrol edilebilme düzeyi	AUT6	
30	Ürünün sensörle hareket edebilme düzeyi	AU1	Akıllı Ürünler
31	Ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi	AU2	[AU]
32	Sensör ve aktüatör kullanım düzeyi	AU3	
33	Üretim sürecinin sensörlerle takip edilebilme düzeyi	AU4	
34	Veri elde etmek için ürünün sahip olduğu ek fonksiyonların düzeyi	AU6	
35	Tedarikçilerle, müşterilerle iletişimin entegrasyon düzeyi	AS3	Akıllı Süreçler
36	Müşterilerden geri bildirim alma düzeyi	AS4	[AS]
37	Müşterilerden alınan geri bildirimlerin kullanım düzeyi	AS5	
38	Çoklu satış kanallarının kullanım düzeyi	AS6	
39	Çoklu satış kanallarından müşterilerle etkileşim kurma düzeyi	AS7	
40	İşletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayan yazılımların kullanım düzeyi	AS8	
41	İşletme fonksiyonlarında kullanılan dijital araçların otomatik raporlama yapabilme düzeyi	AS9	
42	İşletme fonksiyonlarından verinin anlık toplanabilme düzeyi	AS10	
43	Firma içerisinde dikey entegrasyonun sağlanma düzeyi	AS1	
44	Lojistik süreçlerinin otonomlaşıma düzeyi	AS2	
45	Ürünlerin geliştirilmesinde tedarikçilerden elde edilen verilerin kullanım düzeyi	AU8	

Lisrel ile geliştirilen DFA modelinin standart çözümü Şekil 5.8.'de gösterilmektedir;



Şekil 5.8. Olgunluk modeli doğrulayıcı faktör analizi (ölçüm modeli)

Şekil 5.8’de gösterilen doğrulayıcı faktör analizi örneğinde S, O, T, AUT, AU ve AS gizli değişkenleri S11, S12 vd. gibi gözlenen değişkenler ile ölçülmeye çalışılmıştır. Doğrulayıcı faktör analizi sorularına göre; değişkenler tasarlanan olgunluk modeline uyum göstermektedir. Boyutlardan sorulara giden oklar soruların boyutlara uygunluk derecesini göstermektedir. Bu değerler 1’e yaklaştıkça uygunluk derecesi artmaktadır.

Modelin uyum istatistikleri incelendiğinde soruların hepsinin boyutlara uygun olduğu ortaya çıkmıştır ve uyum istatistiklerine bakıldığında modelin kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Yapısal eşitlik modellemesi için uyum istatistikleri ve bu çalışma modelinde elde edilen değerler Çizelge 5.5’de verilmiştir;

Çizelge 5.5. Yapısal eşitlik modeli uyum istatistikleri değerleri

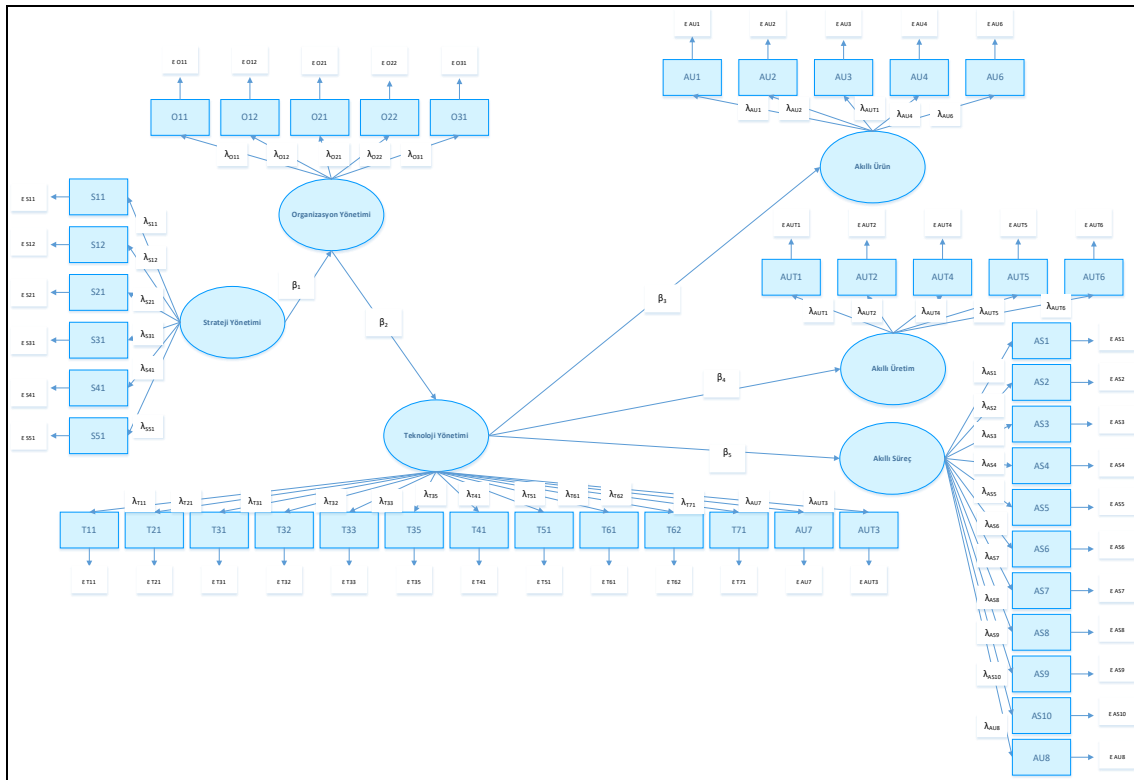
Uyum İndeksleri	İyi Uyum Değerleri	Kabul Edilebilir Uyum Değerleri	Model Değerleri	Uyum Durumu	Referans
χ^2/df	≤ 3	$\leq 3 - 5$	1,94	İyi Uyum	Bollen, 1989
NFI	$\geq 0,95$	0,90-0,949	0,93	Kabul Edilebilir Uyum	Bentler, 1992
NNFI	$\geq 0,95$	0,90-0,949	0,96	İyi Uyum	Schumacker and Lomax, 2010
CFI	$\geq 0,95$	0,90-0,949	0,96	İyi Uyum	Hu and Bentler, 1999
GFI	$\geq 0,90$	0,85-0,89	0,85	Kabul Edilebilir Uyum	Schumacker and Lomax, 2010
AGFI	$\geq 0,90$	0,85-0,89	0,91	İyi Uyum	Schumacker and Lomax, 2010
RMSEA	$\leq 0,05$	0,06-0,08	0,08	Kabul Edilebilir Uyum	McCallumm, Browne and Sugawara, 1996
SRMR	$\leq 0,05$	0,06-0,08	0,08	Kabul Edilebilir Uyum	Kline, 2011

Modelde uyum istatistikleri yukarıdaki şartları sağlamış ancak 2,1 çıkan ki-kare/df oranının iyileştirilmesine karar verilmiştir. Ki-kare/df oranını iyileştirebilmek için 3 değişkenin öngörülen boyutu değiştirilerek modelin önerdiği boyutlara geçmiş 2 soru da modelden çıkarılmıştır; AUT3-T ye AU7-T ye, AU8 –AS ye geçirilerek AU5 ve T22 çıkarıldı.

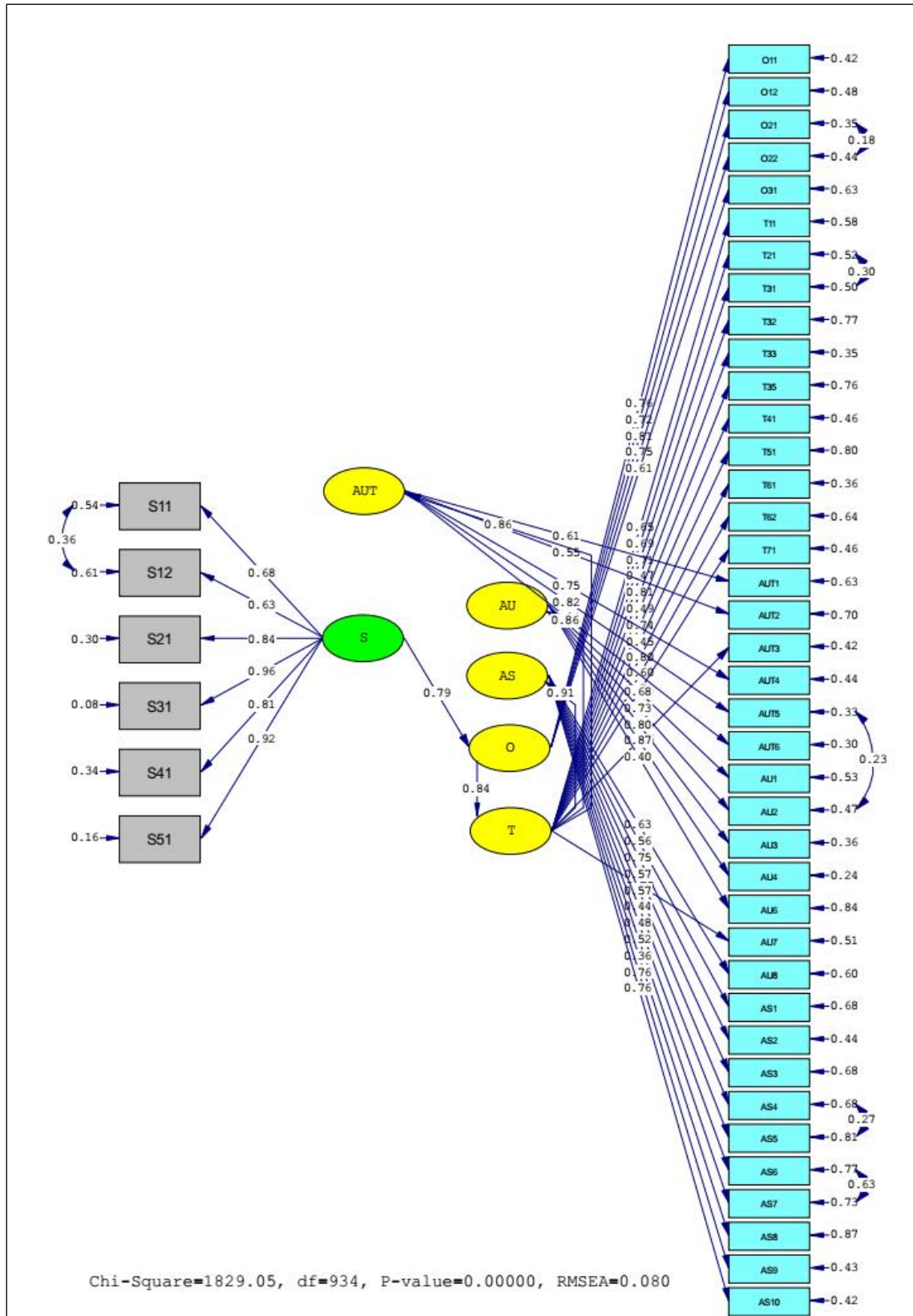
Uyum istatistikleriyle birlikte modelin geçerliliğini test etmek için t-değerleri kontrol edilmiştir. %95 güvenirlilik ile t-değerlerinin sağlaması gereken şart 1,96 dan büyük olması gerekliliğidir. Modelde yer alan tüm değerler bu şartı sağlamaktadır (t-değerlerinin yer aldığı LISREL çıktısı EK-2 de verilmiştir).

Yapısal Eşitlik Modelinin Oluşturulması

Uyum istatistikleri ve t-değerlerinin sağlanmasının ardından yapısal model oluşturulmuştur. Doğrulamalı faktör analizi çalışmalarında gösterge değişkenlerin gizli değişkenler tarafından nasıl tanımlandığı gösterilmeye çalışılırken yapısal eşitlik modelinde gözlenmeyen değişkenlerin aralarındaki ilişki araştırılır. Modelde yer alan gizli değişkenler ve ölçüm değişkenlerini gösteren yapısal model aşağıdaki şekilde gösterilmiştir;



Olgunluk modeline ilişkin teorik modelin yapısal eşitlik modeli Şekil 5.10'da görüldüğü gibidir;



Şekil 5.10. Tasarlanan olgunluk modelinin yapısal eşitlik modeli

Modelde “Strateji Yönetimi” boyutu dışsal değişken, “Organizasyon Yönetimi”, “Teknoloji Yönetimi”, “Akıllı Üretim”, “Akıllı Ürünler” ve “Akıllı Süreç” boyutları içsel değişkenlerdir. Modelde görülen oklar soruların boyutlar üzerinde ne kadar etki ettiğini göstermektedir. Bu değerler 1’e ne kadar yakınsa soruların boyutlar üzerindeki etkisi de o kadar fazladır. Endeks hesaplaması, her bir değişkenin her bir boyuta olan etkisini o değişkenin ağırlığı kabul edilerek yapılmıştır.

5.3.4. Endüstri 4.0 olgunluk endeksinin hesaplanması

Modelde elde edilen sonuçlara göre Endüstri 4.0 olgunluk endeks hesaplaması yapılmıştır. Her boyut için hesaplanan olgunluk endeksi sonuçları aşağıdaki Eş. 5.4 ile hesaplanmıştır;

$$E_j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{w_{ji} \cdot \bar{y}_{ji}}{w_{ji}} \cdot \frac{100}{k} \quad (5.4)$$

Buna göre her bir boyutun endeks değerleri şöyledir;

Strateji Yönetimi

Çizelge 5.6. Strateji yönetimi boyutu olgunluk endeksi

Strateji Yönetimi					
Ölçüm Değişkeni	w	$\bar{y}$	$w \cdot \bar{y}$	Endeks Değeri	Endeks Değeri (%)
S11	0,68	3,268	2,222		
S12	0,63	2,945	1,855		
S21	0,84	2,302	1,934		
S31	0,96	1,886	1,810		
S41	0,81	1,913	1,549		
S51	0,92	1,946	1,790		
Toplam	4,84		11,160	2,306	46,12

Türkiye geneli Endüstri 4.0 Olgunluk endeksi çalışmasının strateji yönetimi boyutu özelindeki durum Çizelge 5.6.’da görülebilmektedir. Anket kapsamında sorulan sorulara 149 firma tarafından verilen cevapların ortalama puanlarını değerlendirdiğimizde, ülkemizde Endüstri 4.0 olgunluk modeli çerçevesinde stratejik plan geliştirilmesi, uygulanması ve izlenmesi konularının arzu edilen düzeyde gerçekleştirilemediği değerlendirilmektedir.

Türkiye'nin mukayeseli üstünlüğünü sağlayacak sektör olan imalat sanayinin dijital dönüşümüne yönelik etkili politika ve stratejilerin geliştirilmesi ve bunların hayata geçirilmesi oldukça önemlidir.

Bu nedenle, işgücünün yeni yetenek ve beceriler kazanmasına yönelik strateji ve politikalar giderek artan bir önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, dijital dönüşümle birlikte verimlilik, kalite, hız, esneklik artışı sağlamak ve işgücü kaybına karşı yeni önlemler geliştirmek isteyen gelişmiş birçok ülke dijital dönüşüm ile ilgili politika ve stratejiler geliştirerek dijital yol haritalarını hazırlamıştır.

İmalat sanayinde dijital dönüşümden temel beklenti, imalat sanayi işletmelerinin üretim süreçlerini ve iş modellerini, dijital teknolojilerin getirdiği hız, verimlilik, esneklik ve kalite artışı sağlayan uygulamalardan azami ölçüde faydalanabilecek şekilde geliştirerek ülkemizde yaratılan katma değerin artırılması ve ülkemizin rekabetçiliğinin geliştirilmesidir.

Organizasyon Yönetimi

Çizelge 5.7. Organizasyon yönetimi boyutu olgunluk endeksi

Organizasyon Yönetimi					
Ölçüm Değişkeni	w	$\bar{y}$	$w \cdot \bar{y}$	Endeks Değeri	Endeks Değeri (%)
O11	0,76	3,067	2,331		
O12	0,72	2,671	1,923		
O21	0,81	1,899	1,538		
O22	0,75	2,275	1,706		
O31	0,61	3,248	1,981		
Toplam	3,65		9,479	2,597	51,94

Teknoloji Yönetimi

Çizelge 5.8. Teknoloji yönetimi boyutu olgunluk endeksi

Teknoloji Yönetimi				
Ölçüm Değişkeni	w	$\bar{y}$	$w \cdot \bar{y}$	
T11	0,65	2,993	1,945	Endeks Değeri
T21	0,69	3,403	2,348	
T31	0,71	3,255	2,311	
T32	0,47	4,134	1,943	
T33	0,81	3,013	2,440	
T35	0,49	3,443	1,687	
T41	0,74	3,074	2,275	
T51	0,45	2,604	1,172	
T61	0,8	3,101	2,480	
T62	0,6	2,703	1,622	
T71	0,68	2,959	2,012	
AU7	0,57	2,899	1,652	
AUT3	0,87	3,262	2,838	
Toplam	8,53		26,725	3,133
				62,66

Akıllı Üretim

Çizelge 5.9. Akıllı üretim boyutu olgunluk endeksi

Akıllı Üretim				
Ölçüm Değişkeni	w	$\bar{y}$	$w \cdot \bar{y}$	
AUT1	0,61	3,067	1,871	Endeks Değeri
AUT2	0,55	2,671	1,469	
AUT4	0,75	1,899	1,424	
AUT5	0,82	2,275	1,865	
AUT6	0,86	3,248	2,793	
Toplam	3,59		9,422	2,624
				52,48

Akıllı Ürünler

Çizelge 5.10. Akıllı ürünler boyutu olgunluk endeksi

Akıllı Ürünler				
Ölçüm Değişkeni	w	$\bar{y}$	w. $\bar{y}$	
AU1	0,68	2,497	1,697	Endeks Değeri
AU2	0,73	2,101	1,533	
AU3	0,8	2,403	1,922	
AU4	0,87	2,470	2,149	
AU6	0,4	3,356	1,342	
Toplam	3,48		8,643	2,484
				49,68

Akıllı Süreç Yönetimi

Çizelge 5.11. Akıllı süreç boyutu olgunluk endeksi

Akıllı Süreç				
Ölçüm Değişkeni	w	$\bar{y}$	w. $\bar{y}$	
AS1	0,56	3,389	1,898	Endeks Değeri
AS2	0,75	2,738	2,053	
AS3	0,57	2,960	1,687	
AS4	0,7	3,698	2,588	
AS5	0,44	3,772	1,659	
AS6	0,48	3,033	1,456	
AS7	0,52	3,007	1,564	
AS8	0,36	3,483	1,254	
AS9	0,76	2,979	2,264	
AS10	0,76	3,356	2,55	
AU8	0,63	3,396	2,139	
Toplam	6,53		21,112	3,233
				64,66

Her boyuta ait endeks sonuçları şu şekilde özetlenebilir;

$$E_S = 46,12$$

$$E_O = 51,94$$

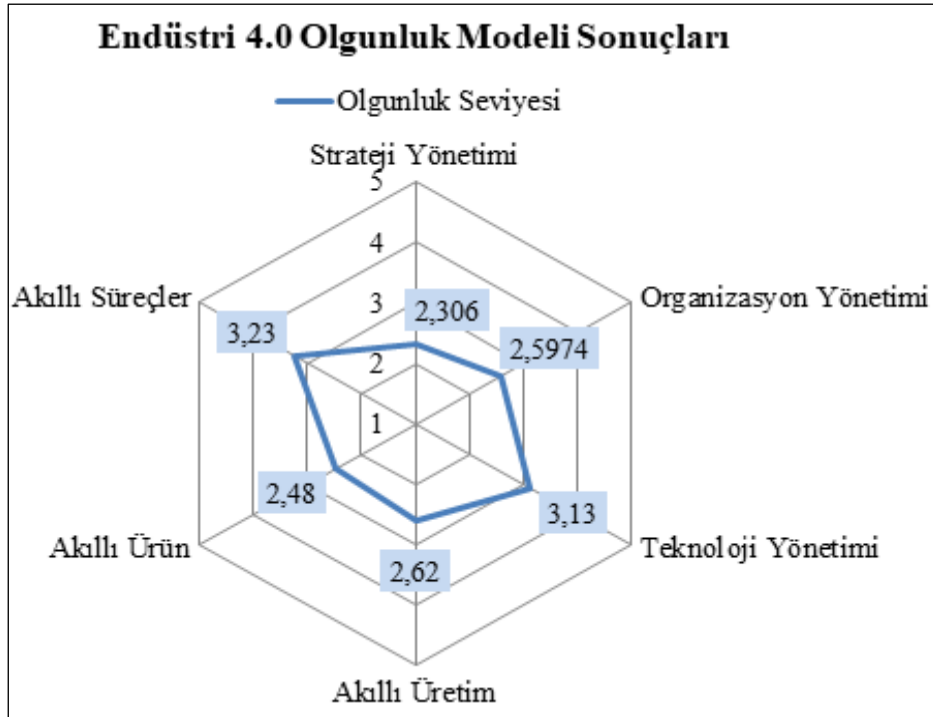
$$E_T = 62,66$$

$$E_{AUT} = 52,48$$

$$E_{AU} = 49,68$$

$$E_{AS} = 64,66$$

Yapılan çalışma sonucunda Endüstri 4.0 boyutlarına ait olgunluk seviyeleri Şekil 5.11’de görüldüğü gibidir. Genel olgunluk seviyesi 5 üzerinden 2,729 ve yüzde olarak 54,58 bulunmuştur. Boyutlar içerisinde en yüksek değer 3,233 ile “Akıllı Süreçler” boyutu olurken onu 3,133 ortalamaıyla “Teknoloji Yönetimi” boyutu takip etmiştir. Teknoloji yönetimi boyutuna ait bu sonuç, şirketlerin mevcut durumda dijital araçları kullandıklarını ve teknolojik alt yapılarını güçlendirmeye önem verdiklerini göstermektedir. Akıllı süreçler boyutundaki farkın ise firmaların dikey entegrasyon kapsamında iş süreçlerini ve yatay entegrasyon kapsamında tedarik zincirini yönetmeye yönelik ERP programları nedeniyle sahip oldukları altyapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Endeks değeri en düşük olan boyut 2,306 ile “Strateji Yönetimi” boyutu olmuştur. Bu sonuç, şirketlerin Endüstri 4.0 konusunda oluşturulmuş stratejik bir planın henüz beklenen olgunluk düzeyinde olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.11. Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi radar grafiği

Her bir boyuttan elde edilen endeks skorlarının ortalaması alınarak modele ait genel Endüstri 4.0 endeksi hesaplanmıştır. Endüstri 4.0 endeks modeli hesaplanırken tüm boyutların eşit öneme sahip olduğu kabul edilerek Eş. 5.5 ile hesaplanmıştır;

$$E_{OM} = \frac{E_S + E_O + E_T + E_{AUT} + E_{AU} + E_{AS}}{6} \quad (5.5)$$

Bu eşitliğe göre Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi 2,729 başka bir deyişle %54,58 olarak bulunmuştur.

5.3.5. Sonuçların Yorumlanması

Çalışmanın bu bölümünde ölçüm değişkenlerinin ilgili boyuttaki önem derecesi sıralaması ve endeks skorlarındaki değişimi yorumlamak için gizli değişkenler arası ilişkiler incelenmiştir.

Strateji Yönetimi Boyutu: Strateji yönetimi gizli değişkenini yansıtan 6 ölçüm değişkeninin ağırlıklara (önem derecesine) göre sıralanması aşağıdaki gibidir;

Çizelge 5.12. Strateji yönetimi boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması

Model Kodu	Ölçüm Değişkeni Açıklaması	Ağırlık
S31	Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanma düzeyi	0,96
S51	Endüstri 4.0 için bütçeden ayrılan payın düzeyi	0,92
S21	Endüstri 4.0 için belirlenmiş hedeflerin düzeyi	0,84
S41	Endüstri 4.0 stratejisinin gözden geçirme ve iyileştirme düzeyi	0,81
S11	Endüstri 4.0 ın firma içinde farkındalık ve bilinme düzeyi	0,68
S12	Endüstri 4.0 stratejisinin belirlenme düzeyi	0,63

Yukarıda verilen önem derecelerine göre strateji yönetimi boyutunu en çok etkileyen ölçüm değişkeni stratejinin uygulanma düzeyi hemen ardından bütçeden ayrılan pay gelmektedir.

Organizasyon Yönetimi Boyutu: Organizasyon yönetimi gizli değişkenini yansıtan 5 ölçüm değişkenin ağırlıklara (önem derecesine) göre sıralanması aşağıdaki gibidir;

Çizelge 5.13. Organizasyon yönetimi boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması

Model Kodu	Ölçüm Değişkeni Açıklaması	Ağırlık
O21	Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların bilgi ve beceri düzeyi	0,81
O11	Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların yetkinlik düzeyi	0,76
O22	Yeni teknolojilerin kullanımına yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	0,75
O12	Endüstri 4.0'a yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	0,72
O31	Endüstri 4.0 kapsamında çalışanların yeni teknolojilere adapte olma düzeyi	0,61

Elde edilen sıralamaya göre organizasyon yönetimi boyutunda en önemli değişken Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların bilgi ve beceri düzeyidir. İkinci sırada çalışanların yetkinlik düzeyi onun hemen ardından ise yeni teknolojilere ve Endüstri 4.0'a yönelik yapılan eğitimlerin düzeyleri gelmektedir.

Teknoloji Yönetimi Boyutu: Teknoloji yönetimi gizli değişkenini yansıtan 13 ölçüm değişkenin ağırlıklara (önem derecesine) göre sıralanması aşağıdaki gibidir;

Çizelge 5.14. Teknoloji yönetimi boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması

Model Kodu	Ölçüm Değişkeni Açıklaması	Ağırlık
AUT3	Verilerin stratejik karar almada kullanılma düzeyi	0,87
T33	Firma içinde farklı birimlerde üretilen verinin entegrasyon düzeyi	0,81
T61	Çalışanlarla makinalar arasında bilgi transferini sağlayacak ara elemanların kullanım düzeyi	0,8
T41	Üretim sürecinin dijital ağlarla entegrasyon düzeyi	0,74
T31	Veri tabanı kullanımının etkinlik düzeyi	0,71
T21	Bilişim sistemlerinin kullanım etkinliğinin düzeyi	0,69
T71	Bilgi Güvenliği standartlarının kullanım düzeyi	0,68
T11	Endüstri 4.0 kapsamında yeni teknolojilere yapılacak yatırım ve yaklaşım düzeyi	0,65
T62	Teknolojik altyapının yeterlilik düzeyi	0,60
AU7	IT departmanının gerçek zamanlı veri elde etme düzeyi	0,57
T35	İşletme içerisinde elde edilen verilerin iş süreçlerinde kullanım düzeyi	0,49
T32	Ürünlere ait verilerin kullanım düzeyi	0,47
T51	Bulut hizmetlerinin kullanım düzeyi	0,45

Yukarıda verilen ağırlıklara göre teknoloji boyutunda en yüksek önem derecesine sahip ölçüm değişkeninin veriden değer elde edilmesini sağlayan verilerin stratejik karar almada kullanım düzeyi olmuş onun hemen ardından elde edilen verinin firmanın departmanları arasında entegre edilme ve veri tabanı kullanım düzeyi gelmiştir.

Akıllı Üretim Boyutu: Bu boyutu yansıtan 5 ölçüm değişkeni ve ağırlıklarına (önem derecesine) göre sıralanması:

Çizelge 5.15. Akıllı üretim boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması

Model Kodu	Ölçüm Değişkeni Açıklaması	Ağırlık
AUT6	Makinelerin IT tarafında kontrol edilebilme düzeyi	0,86
AUT5	Makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi	0,82
AUT4	Makineler arası iletişimin düzeyi	0,75
AUT1	Ürün üretilmeden önce dijital olarak modellenebilme düzeyi	0,61
AUT2	Ürün ve üretim sürecinin gerçek zamanlı takip edilebilme düzeyi	0,55

Yukarıdaki sıralamaya göre akıllı üretim boyutunda en fazla öneme sahip olan ölçüm değişkeni makinelerin otonomlaşıma düzeyini ölçen makinelerin IT tarafından kontrol edilebilme düzeyi olmuş hemen ardından makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi ile makineler arası iletişimin düzeyi gelmiştir.

Akıllı Ürünler Boyutu: Bu boyutu yansıtan 5 ölçüm değişkeni ve ağırlıklarına (önem derecesine) göre sıralanması:

Çizelge 5.16. Akıllı ürünler boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması

Model Kodu	Ölçüm Değişkeni Açıklaması	Ağırlık
AUT6	Makinelerin IT tarafında kontrol edilebilme düzeyi	0,86
AUT5	Makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi	0,82
AUT4	Makineler arası iletişimin düzeyi	0,75
AUT1	Ürün üretilmeden önce dijital olarak modellenebilme düzeyi	0,61
AUT2	Ürün ve üretim sürecinin gerçek zamanlı takip edilebilme düzeyi	0,55

Yukarıdaki sıralamaya göre akıllı ürünler boyutunda en fazla öneme sahip olan ölçüm değişkeni sensörlerle takip edilebilme düzeyi olmuş hemen ardından sektör ve aktüatörlerin kullanım düzeyi gelmiştir.

Akıllı Süreçler Boyutu: Bu boyutu yansıtan 10 ölçüm değişkeni ve ağırlıklarına (önem derecesine) göre sıralanması:

Çizelge 5.17. Akıllı süreç boyutu ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına göre sıralaması

Model Kodu	Ölçüm Değişkeni Açıklaması	Ağırlık
AS10	İşletme fonksiyonlarından verinin anlık toplanabilme düzeyi	0,76
AS9	İşletme fonksiyonlarında kullanılan dijital araçların otomatik raporlama yapabilme düzeyi	0,76
AS2	Lojistik süreçlerinin otonomlaşıma düzeyi	0,75
AS4	Müşterilerden geri bildirim alma düzeyi	0,7
AU8	Ürünlerin geliştirilmesinde tedarikçilerden elde edilen verilerin kullanım düzeyi	0,63
AS3	Tedarikçilerle, müşterilerle iletişimin entegrasyon düzeyi	0,57
AS1	Firma içerisinde dikey entegrasyonun sağlanma düzeyi	0,56
AS7	Çoklu satış kanallarından müşterilerle etkileşim kurma düzeyi	0,52
AS6	Çoklu satış kanallarının kullanım düzeyi	0,48
AS5	Müşterilerden alınan geri bildirimlerin kullanım düzeyi	0,44
AS8	İşletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayan yazılımların kullanım düzeyi	0,36

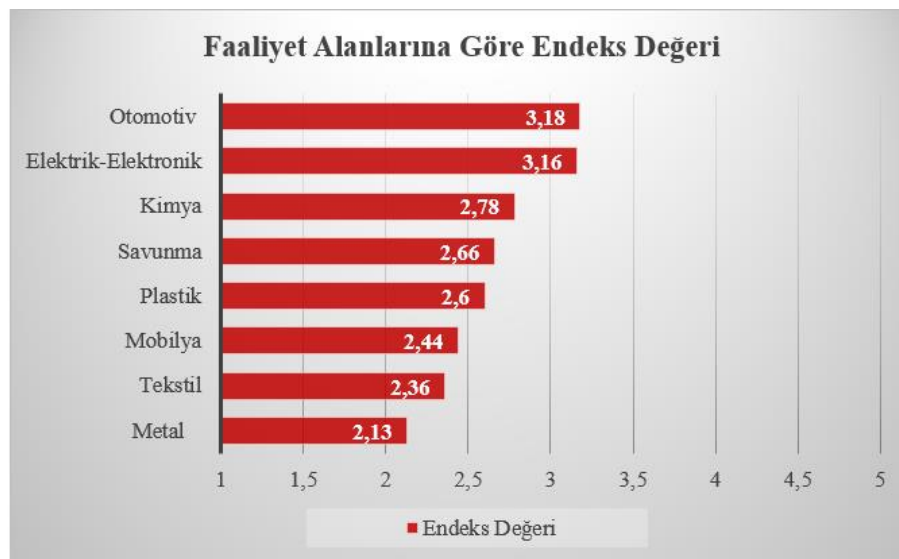
Yukarıdaki sıralamaya göre akıllı süreç boyutunda en fazla öneme sahip olan ölçüm değişkeni işletme fonksiyonlarından anlık veri toplanabilme düzeyi ve dijital araçlardan otomatik raporlama yapabilme düzeyi olmuştur.

Endeks skorları değişiminin yorumlanması: Yapısal eşitlik modellerinde incelenen bir diğer veri de gizli değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren determinasyon (R^2) katsayılarıdır. R^2 etkilenen gizli değişkendeki değişikliğinin (varyansın) yüzde kaçının etkileyen gizli değişken tarafından açıklandığını gösteren bir istatistiktir ve değişimin geriye kalan kısmı diğer nedenlerden kaynaklanmaktadır (Aktepe, 2015). Gizli değişkenler arasındaki ilişkilerin düzeyi aşağıdaki tabloda verilmiştir;

Çizelge 5.18. Gizli değişkenler arasındaki ilişki

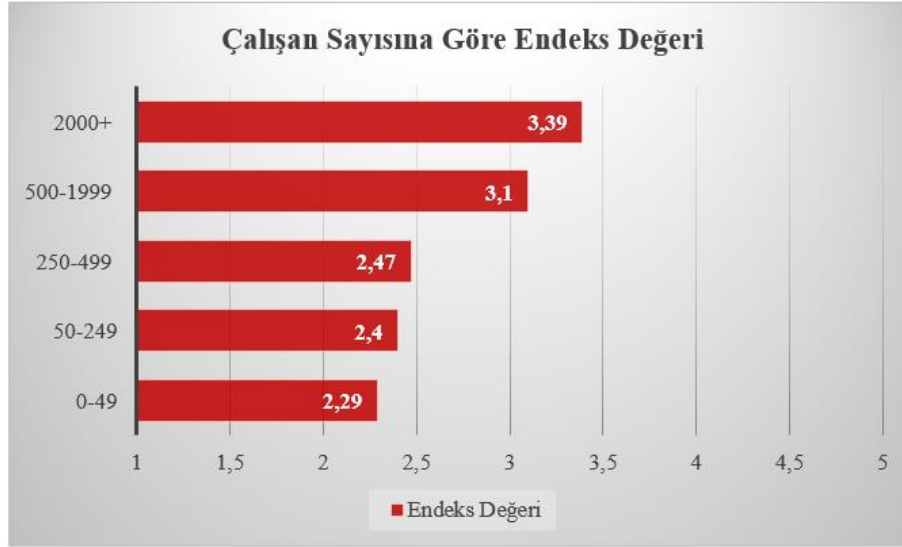
Yapısal İlişki	R ² Değeri	Yorumlanması
Strateji Yönetimi: Organizasyon Yönetimi	0.79	Organizasyon yönetimi boyutundaki değişimin %79'u strateji yönetimi boyutuyla açıklanabilmektedir.
Organizasyon Yönetimi: Teknoloji Yönetimi	0.84	Teknoloji yönetimi boyutundaki değişimin %84'ü organizasyon yönetimi boyutuyla açıklanabilmektedir.
Teknoloji: Akıllı Ürünler	0.86	Akıllı ürünler boyutundaki değişimin %86'sı teknoloji yönetimi boyutu tarafından açıklanmaktadır.
Teknoloji: Akıllı Üretim	0,86	Akıllı üretim boyutundaki değişimin %86'sı teknoloji yönetimi boyutu tarafından açıklanmaktadır.
Teknoloji: Akıllı Süreç	0,91	Akıllı süreç boyutundaki değişimin %91'i teknoloji yönetimi boyutu tarafından açıklanmaktadır.

Sektörlere Göre Endeks Değerleri; Çalışmaya katılan firmalar faaliyet gösterdiği alanlara göre sınıflandırıldığında elde edilen endeks değerleri şöyledir;



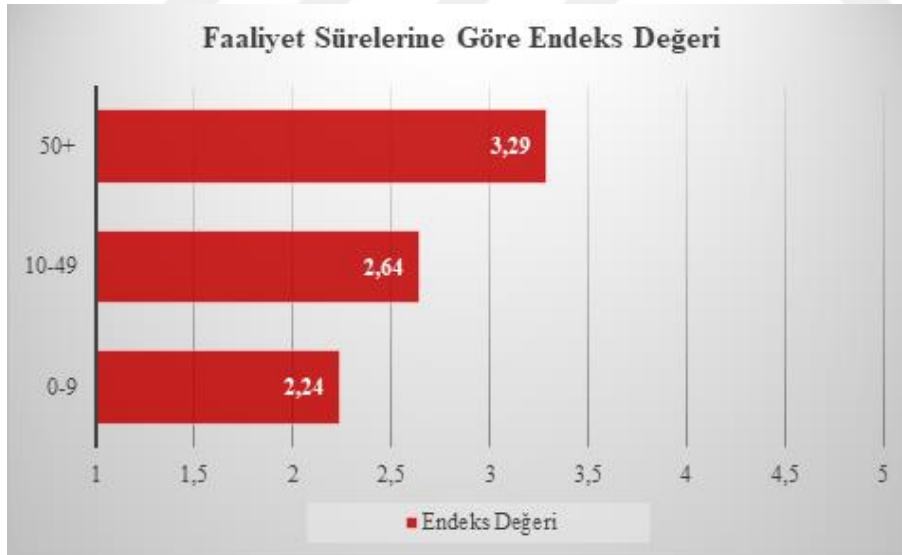
Şekil 5.12. İşletmelerin faaliyet alanlarına göre endeks değerleri

İşletmelerin Büyüklüklerine Göre Endeks Değerleri; Çalışmaya katılan firmalar çalışan sayılarına göre sınıflandırıldığında elde edilen endeks değerleri aşağıdaki gibidir;



Şekil 5.13. İşletmelerin çalışan sayılarına göre endeks değerleri

İşletmelerin Faaliyet Sürelerine Göre Endeks Değerleri; Çalışmaya katılan firmalar faaliyet sürelerine göre sınıflandırıldığında elde edilen endeks değerleri aşağıdaki gibidir;



Şekil 5.14. İşletmelerin faaliyet sürelerine göre endeks değerleri

Ankete katılan firmalara ilişkin, firmaların faaliyet süresi, çalışan sayısı, faaliyet alanları ve bulundukları bölgeleri içeren betimsel istatistikler ise şöyledir;

Çizelge 5.19. Anketlere ilişkin betimsel istatistikler

Değişken		Frekans	Yüzde
Faaliyet Süresi (Yıl)	0-10	30	20
	11-20	35	24
	21-30	30	20
	31-40	22	15
	41-50	12	8
	50 +	20	13
Çalışan Sayısı	0-100	74	50
	101-500	34	23
	501-1000	8	5
	1000+	33	22
Faaliyet Alanı	Metal	39	26
	Tekstil	19	13
	Elektrik-Elektronik	16	11
	Plastik/Ambalaj	13	9
	Otomotiv	12	8
	Savunma Sanayi	12	8
	Kimya	9	6
	Gıda	9	6
	Mobilya/Ağaç	8	5
	Enerji	4	3
	Diğer	8	5
Bölge	Marmara	63	42
	İç Anadolu	51	34
	Akdeniz	20	14
	Ege	7	5
	Karadeniz	4	3
	Güneydoğu Anadolu	2	1
	Doğu Anadolu	2	1

Ankete katılan firmalardan %10'u firmalarının bulunduğu sektörün rekabet avantajı için Endüstri 4.0' a geçmelerini gerekli görmezken %50'si gerekli ve çok gerekli bulmuştur. Firmaların Endüstri 4.0'a geçişte önlerindeki en büyük engeli, "yüksek yatırım maliyetleri" (%67) ve "kalifiye eleman eksikliği" (%65) olarak görmüşlerdir. Üst yönetimin desteğinin eksikliği, ihtiyaç hissedilmemesi ve başarısızlık endişesi de diğer engeller olarak görülmüştür.

5.4. Bütünleşik Yapısal Eşitlik Modeli ve Analitik Hiyerarşi Süreci ile Otomotiv Sektörü Pilot Uygulanması

Çalışmanın bu bölümünde yapısal eşitlik modeli sonucunda kurgulanmış olan Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli üç ayrı firma verileri çerçevesinde çalıştırılmıştır. Tez çalışması kapsamında geliştirilmiş alan Endüstri 4.0 olgunluk modelinin 6 boyut ve bu boyutları ölçen 45 alt boyutu bulunmaktadır. Çalışmanın bundan önceki bölümünde alt boyutların her birinin Endüstri 4.0 olgunluk endeksinin hesaplanmasında farklı ağırlıklara sahip olabileceği kabul edilmiş ve bu ağırlıkların belirlenmesi için yapısal eşitlik modelinden faydalanılmıştır. 149 işletmeye ait veriler LISREL programında analiz edilmiş ve alt boyutların herbirinin ağırlıkları bağlı oldukları boyutların ağırlıkları eşit kabul edilerek genel bir Endüstri 4.0 olgunluk endeks değeri hesaplanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde ise Endüstri 4.0 olgunluk boyutlarının her sektör için farklı ağırlıklara sahip olabileceği kabul edilerek Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) metodu ile otomotiv sektöründe bir pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. Otomotiv sektöründe çalışan 9 uzman; strateji yönetimi, organizasyon yönetimi, teknoloji yönetimi, akıllı üretim, akıllı ürünler ve akıllı süreçten oluşan 6 boyutun kendi aralarında Endüstri 4.0 olgunluğuna etkisini ikili karşılaştırma ölçeğine göre değerlendirmişlerdir (AHP uzman görüşü uygulama formu örneği Ek-3' de verilmiştir).

Ortaya çıkan verilerle Türkiye ortalamasına dair verilerin karşılaştırılması da ayrıca verilmiştir. Firmaların aynı sektörden olmaları ortaya çıkan sonuçların yorumlanabilmesinde fayda sağlayabileceği öngörülmüştür.

5.4.1. Analitik hiyerarşi prosesi

Analitik hiyerarşi prosesi 1980 yılında karmaşık ve çok kriterli teknik ve yönetsel sorunların çözülmesine yardımcı olmak için Saaty tarafından geliştirilmiştir. Karmaşık problemleri karar verici uzmanların bilgi ve deneyimine dayanarak varmış olduğu

yargılarla ikili karşılaştırmalar düzeyine ayırmaktadır. Karar verici uzmanlar kriterlerin önem derecelerini Saaty tarafından geliştirilen karşılaştırma ölçeğine göre yaparak her kriterin diğerine göre önem derecesini belirlemektedir. AHP objektif yargılarla birlikte sübjektif yargıların da değerlendirilmesine olanak sağladığından belli bir konuda uzman kişilerin görüşlerinin bir araya gelmesiyle ortak bir yargıya ulaşmak mümkündür (Saaty, 2004).

AHP yöntemi sağıktan mühendisliğe çok sayıda alanda kullanılmaktadır. Emrouznejad ve Marra (2017) AHP ile ilgili yapmış oldukları literatür araştırmasında AHP'nin gelişimini üç döneme ayırarak incelemişlerdir. 1979-1990 arasını kapsayan ilk dönemde yapılan çalışmalar modelin matematik temellerini araştırmaya yöneliktir ve bu dönem daha çok aralarında Saaty, Vargas ve Harker'in de bulunduğu birkaç yazar grubu ile karakterize edilmiştir. Bu dönemde matematiğin dışında az sayıda da olsa işletme ve yönetim, ekonomi ve sağık alanlarında çalışmalar bulunmaktadır. 1991-2001 dönemini içeren ikinci dönemde AHP'ye olan ilgi ve bu ilgiye bağılı olarak AHP uygulamalarından etkilenen disiplinler de artış göstermiştir. Bu dönem matematik, bilgisayar ve işletme biliminin dışında çevre bilimi, makine mühendisliği, malzeme bilimi, sağık bilimleri, lojistik, eğitim bilimleri, üretim bilimi ve sosyal bilimler alanında da AHP'ye olan ilgi artmıştır. 2002-2017 arasındaki üçüncü dönemde ise bu disiplinlerdeki ilgiye ek olarak AHP'nin diğerk çok kriterli karar verme teknikleri ile bütünleşik olarak kullanımı öne çıkmıştır.

AHP metodu dört aşamadan oluşmaktadır ve ilk önce çalışmanın amacı daha sonra amaca uygun olarak kriterlerin belirlenmesi gerekir. Kriterler belirlendikten sonra karar vericinin yargılarını içeren ikili karşılaştırmalar yapılır ve bu karşılaştırmalar neticesinde ağırlıklar belirlenir. Saaty tarafından geliştirilen ikili karşılaştırma ölçeği Çizelge 5.20. de verilmiştir;

Çizelge 5.20. AHP karşılaştırma ölçeği (Saaty ve Vargas, 2012:6)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Her iki faktörde aynı öneme sahiptir
2	Zayıf veya hafif önemli	
3	Biraz önemli	Karar vericinin deneyim ve muhakemesine göre bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir
4	Biraz fazla önemli	
5	Kuvvetli derecede önemli	Karar vericinin deneyim ve muhakemesine göre bir faktör diğerine göre kuvvetle daha önemlidir
6	Kuvvetli dereceden fazla önemli	
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede kuvvetle daha önemlidir
8	Çok çok kuvvetli derecede önemli	
9	Son derece önemli	Bir faktör diğerinden olabilecek en yüksek derecede önemlidir
Ters Değerler	Eğer faktör i, faktör j ile karşılaştırıldığında yukarıdaki sayılardan birine sahipse o zaman faktör j, faktör i ile karşılaştırıldığında da çarpma işlemine göre tersi olan değere sahip olmalıdır	Mantıklı varsayım

İkili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.21’de gösterildiği gibi matris formlarına dönüştürülür.

Çizelge 5.21. Karşılaştırma matrisi

Kriter	A ₁	A ₂	A ₃	...	A _n
A ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	...	a _{1n}
A ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	...	a _{2n}
A ₃	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	...	a _{3n}
.	.	.	.	.	.
A _n	a _{n1}	a _{n2}	a _{n3}	...	a _{nn}

Karşılaştırma matrisi oluşturulurken satırların sütunlara göre önem dereceleri yazılır. Dolayısıyla a_{ij} değeri i. satırdaki kriterin j. sütundaki kritere göre ne derecede önemli olup olmadığını göstermektedir. Her kriter kendi ile kıyaslandığında eşit öneme sahip olacağından köşegende yer alan tüm elemanlar 1 değerini alacaktır. w_{ij} i. faktörün j. faktöre olan ağırlığını belirtmekte olup her a_{ij} elemanı aşağıdaki formülle hesaplanan değerleri alacaktır;

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad \forall i, j. \quad (5.6)$$

Dolayısıyla ikili karşılaştırmalarda i. kriterin j. kritere göre önem derecesi j. kriterin i. kritere göre önem derecesini de belirlemekte ve birbirinin tersi olmaktadır yani;

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad \forall i, j = 1, 2, 3 \dots n \text{ için} \quad (5.7)$$

Böylelikle köşegen değerleri bir olan aşağıdaki A birim matrisleri elde edilecektir (Saaty, 2004);

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{21} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Karşılaştırma matrisi birden çok uzmanın görüşü alınarak elde edilmişse matrislerin ağırlıklı ortalaması ya da geometrik ortalaması alınarak nihai karşılaştırma matrisi elde edilir. Bu çalışmada geometrik ortalama alınmıştır. Karşılaştırma matrisi elde edildikten sonra normalizasyon işlemi yapılır. Normalize edilmiş matrisin elde edilmesi için matristeki her elemanın değeri, bulunduğu sütundaki elemanların toplamına bölünür. Faktör sayısı (n) kadar sütun vektörü oluşturulur. A matrisine ait sütun vektörleri b_i ile ifade edilsin. Bu durumda b_i sütun vektörü oluşturulurken aşağıdaki denklemden yararlanılır;

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (5.8)$$

Bütün sütunlara ait b_i sütun vektörlerinin bir araya getirilmesiyle normalize edilmiş matris bulunmuş olur. Normalize edilmiş C matrisi b_{ij} değerlerinden oluşacaktır (Saaty, 2004);

$$C = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

C matrisinin elde edilmesinden sonra faktörlerin kendi aralarındaki ağırlıklarını belirleyebilmek için C matrisinin her satırının ortalamaları alınarak öncelik vektörü W hesaplanır. W sütun vektörü hesaplanırken aşağıdaki denklem kullanılır;

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (5.9)$$

Denklemden elde edilen sonuçların W vektörüne yerleştirilmesiyle normalize edilmiş öz vektör elde edilir. Elde edilen bu vektör her faktörün ağırlığını göstermektedir ve aşağıdaki gibi gösterilebilir (Saaty, 2004);

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

AHP metodunun son adımını elde edilen ağırlıkların tutarlılıklarının ölçülmesidir. Bu adımda karar vericilerin faktörler arasında yaptığı karşılaştırmaların tutarlılık derecesi ölçülmektedir. Elde edilen hesaplamalar sonucunda tutarlılık oranı 0,10'dan küçükse verilen kararların tutarlı olduğu sonucuna varılır. Tutarlılığın ölçülmesi için Saaty tarafından Tutarlılık Endeksi (Consistency Index) ortaya konulmuştur. Tutarlılık endeksinin hesaplanması için Tutarlılık Oranından (Consistency Ratio) faydalanılır. Tutarlılık Endeksi (CI) aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5.10)$$

λ_{max} karar matrisinin maksimum özdeğeridir. λ_{max} değeri; öncelikler matrisinin her elemanın öncelik vektörü elemanlarına bölünerek elde edilen matrisin ortalamasının alınmasıyla bulunur. λ_{max} değerinin denklemde yerine konulmasıyla CI elde edilir. Tutarlılık oranını ifade eden CR'nin bulunabilmesi için Saaty tarafından geliştirilen Rastgele Tutarlılık İndeksinden (Random Index-RI) yararlanılır. RI değerleri karşılaştırılan faktör sayısına göre değişiklik göstermektedir. Değerler Çizelge 5.22'de gösterildiği gibidir;

Çizelge 5.22. Rasgele tutarlılık indeksi (RI) (Saaty ve Vargas, 2012:9)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Tutarlılık endeksinin (CI) karşılaştırılan faktör sayısına karşılık gelen RI değerine bölünmesiyle tutarlılık oranı CR elde edilecektir;

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5.11)$$

CR oranı 0,10'dan küçük olduğu takdirde AHP sonucu tutarlı kabul edilecektir.

5.4.2 Otomotiv sektörü pilot uygulaması

Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi hesaplanırken firmalardan elde edilen anket verileri çerçevesinde kurulan yapısal eşitlik modelini merkeze alan bir metodoloji üretilmiştir. Bu metodoloji kapsamında 45 ölçüm değişkenine ait ağırlıklar hesaplanmıştır. Türkiye geneli olgunluk endeksi hesaplanırken her sektörün farklı gereksinimleri olduğu dikkate alınarak 6 boyutun ağırlıkları eşit kabul edilmiştir. Anket çalışmaları kapsamında 10'dan fazla sektörden elde edilen veriler bulunmaktadır. Dolayısıyla boyut ağırlıkları sektörlerin spesifik ihtiyaçlarına göre değişim gösterebileceği değerlendirilmiş ve otomotiv sektöründe pilot olarak AHP yöntemi ile boyutların ağırlıklandırılması yapılmıştır. Böylelikle çalışmanın Türkiye geneli olgunluk endeksi hesaplamalarına ilaveten sektörel olarak da özelleştirilebileceği gösterilmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında yapısal eşitlik modeli ile elde edilen alt boyut ağırlıklarına ilaveten AHP yöntemi ile de her ana boyutun ağırlıkları hesaplanmıştır. Ağırlıkların belirlenebilmesi için otomotiv sektöründe çalışan 9 uzmandan görüş alınmıştır. 9 uzmanın görüşleri sonucunda karar matrisi oluşturulmuştur. Uzmanlara uygulanan anket EK-3’de verilmiştir. Elde edilen veriler MS-Excel kullanılarak analiz edilmiş (EK-4) ve boyutlara ait ortalama ağırlıklar aşağıdaki gibi bulunmuştur;

Çizelge 5.23. Otomotiv sektörü faktör ağırlıkları

Boyut	Strateji Yönetimi	Organizasyon Yönetimi	Teknoloji Yönetimi	Akıllı Üretim	Akıllı Ürünler	Akıllı Süreç
Ağırlık	0,24909	0,18019	0,21622	0,11269	0,08649	0,15532

Bu sonuçlara göre otomotiv sektöründe Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi için en önemli bulunan boyut Strateji Yönetimi boyutu olmuştur. Onun hemen ardından Teknoloji Yönetimi üçüncü olarak da Organizasyon Yönetimi gelmiştir. Bu üç boyut ile model kapsamındaki diğer üç boyut (akıllı üretim, akıllı ürünler, akıllı süreç) arasındaki ağırlıklandırılmış puan dağılımı yaklaşık olarak %64-%36 civarında olduğu görülmüştür. Yapısal eşitlik modeli ve AHP metodu ile entegre bir şekilde elde edilen ağırlıklara göre otomotiv sektöründe faaliyet gösteren üç firmaya pilot uygulama yapılmıştır. Uygulama sonuçları Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25’de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Endüstri 4.0 olgunluk modelinin üç farklı pilot firma uygulama sonuçları

No	Olgunluk Boyutu	Ağırlık	Firma A	Firma B	Firma C
1	Strateji Yönetimi	0,24909	4,83	3,16	1,54
2	Organizasyon Yönetimi	0,18019	3,60	3	1,99
3	Teknoloji Yönetimi	0,21622	4,03	3,30	3,48
4	Akıllı Üretim	0,11269	4	3,14	3
5	Akıllı Ürünler	0,08649	3,56	2,89	3,13
6	Akıllı Süreç	0,15532	3,60	3,56	2,52
Ağırlıklı Aritmetik ortalama			4,04	3,20	2,49
Endüstri 4.0 Ortalama Olgunluk Değeri Yüzde (%)			80,8	64	49,8

Çizelge 5.24’de verilen sonuçlara göre Firma A “İyileştiren” seviyede iken Firma B “Uygulayan”, Firma C ise “Farkında” olgunluk seviyesine sahiptir (Çizelge 5.25). Firmaların olgunluk seviyelerine göre sahip oldukları yetkinliklere ait detaylı bilgi Bölüm 4.3.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Endüstri 4.0 pilot uygulaması firmalar olgunluk seviyeleri

	Olgunluk Değeri	Olgunluk Seviyesi	Seviye Açıklaması
Firma A	4,04	Seviye 4-İyileştiren	Bkz. Bölüm 4.2
Firma B	3,20	Seviye 3-Uygulayan	Bkz. Bölüm 4.2
Firma C	2,49	Seviye 2-Farkında	Bkz. Bölüm 4.2

Firma A; 50 yılı aşkın süredir otomotiv sektöründe faaliyet gösteren, ihracat hacmi yüksek, çalışan sayısı ve ürettiği ciro miktarı itibariyle büyük ölçekli firmalar kategorisinde yer almaktadır. Firma A, Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli alt kriterleri itibariyle değerlendirildiğinde, ortaya çıkan sonuçların ve ağırlıklandırılmış verilerinin tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Firma A için yapılan pilot uygulama sonucunda Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli kapsamındaki analiz bulguları aşağıdaki gibidir;

- *Strateji Yönetimi*, boyutu altında yer alan stratejik planlama, uygulama ve izleme fonksiyonlarının tamamını yerine getirebilme farkındalığı olan, bu bilgiler ışığında yatırımlarını yönlendiren firma olup 4,83 olgunluk endeks değerine sahiptir.
- *Organizasyon Yönetimi*, boyutu altında yer alan insan kaynakları ve organizasyon geliştirme konularında ortalamanın üzerinde yer alırken, çalışan geliştirme alt kriteri kapsamında iyileştirmeye açık alanları olduğu görülebilmektedir. Ayrıca bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,60 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Teknoloji Yönetimi*, boyutu altında yer almakta olan teknoloji stratejisine ayrıca spesifik bir yer verdiği, teknoloji yetkinliği konusunda başarılı olduğu, network altyapısı ve bulut bilişim yeteneklerine sahip olduğu, teknolojik cihazları kullanarak veri yönetimi ve analizi yapabildiği, bütün bunların bilgi güvenliği gereksinimlerine uygun olarak koruyabildiği görülebilmektedir. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 4,03 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.

- *Akıllı Üretim*, boyutu altında yer verilmiş olan alt kriterler kapsamında, dijital modelleme ve dijital ikiz yetkinliğini yerine getirmek için kurumsal kapasitelerinin geliştirilmiş olduğu, otonom sistemler ve robotik altyapı gereksinimlerine sahip oldukları görülebilmektedir. Akıllı üretim boyutu kapsamındaki alt kriterlerin analizi yapıldığında, ürünün üretilmeden önce dijital olarak modellenebildiği, üretim sürecinin gerçek zamanlı olarak takip edilebildiği, tesis kapsamındaki makineler arası iletişimin olduğu ve bunun teknolojik entegrasyonunun sağlandığı anlaşılmaktadır. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 4,00 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Akıllı Ürünler*, boyutu altında yer verilmiş olan alt kriterler çerçevesinde, sensör teknolojileri ve nesnelerin interneti altyapısına sahip olduğu, elde edilen büyük verinin analiz edilebileceği teknolojik ve beşeri yetkinliklerin olduğu anlaşılabilmektedir. Üretilmekte olan ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi konusunda iyileştirmeye açık alanların olduğu tespit edilebilmektedir. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,56 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Akıllı Süreç*, boyutu altında kurgulanmış olan alt kriterler kapsamında, yatay ve dikey entegrasyonun sağlanabildiği, dolayısıyla firma içerisindeki üretim, yönetim ve tedarik değer zincirinin verimli bir şekilde çalıştığı görülebilmekle birlikte, başta lojistik süreçlerinde iyileştirmeye açık alanlar tespiti yapılmak üzere dikey entegrasyon seviyesinde geliştirilmesi gereken süreçler tespit edilebilmektedir. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,60 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.

Endüstri 4.0 için geliştirilen olgunluk modeli Firma A'ya uygulandığında alt kriterler detayında elde edilen endeks değerleri aşağıdaki Çizelge 5.26'daki gibidir. Her boyutun ağırlık değeri, ölçüm değişkenlerinin neler olduğu, ölçüm değişkenlerinin ağırlıkları ve model tarafından üretilen değerleri incelenebilmektedir.

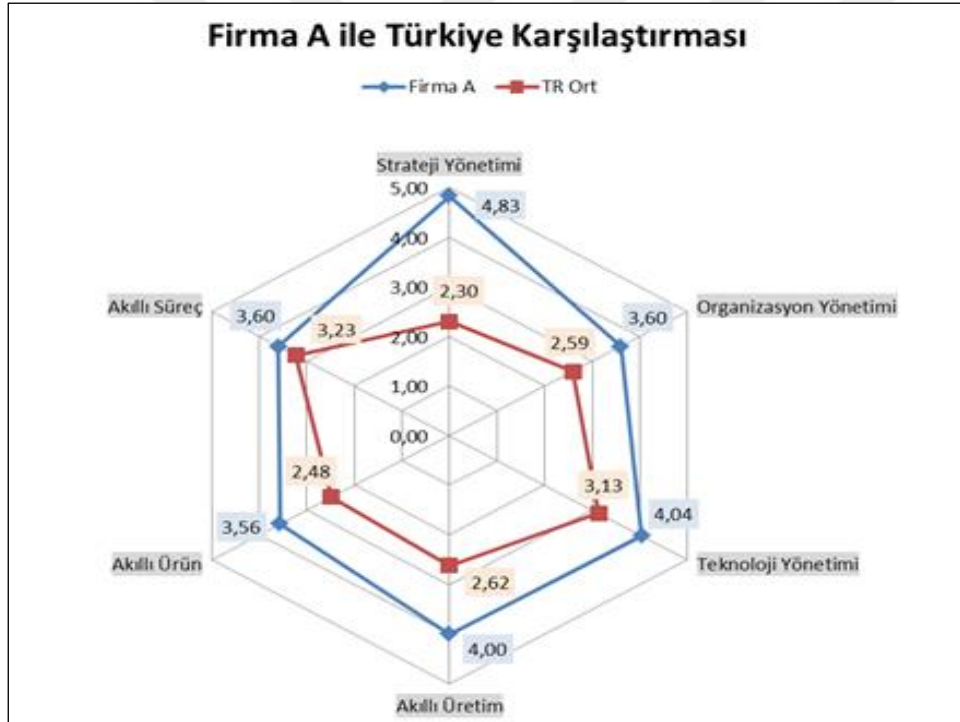
Çizelge 5.26. Firma A pilot uygulama sonuçları

Boyutlar	Boyut Ağırlığı	Ölçüm değişkeni	Modeldeki kodu	Ağırlık	Firma A Değerleri
Strateji Yönetimi [S]	0,249094	Endüstri 4.0'ın firma içinde farkındalık ve bilinme düzeyi	S11	0,68	5
		Endüstri 4.0 stratejisinin belirlenme düzeyi	S12	0,63	5
		Endüstri 4.0 için belirlenmiş hedeflerin düzeyi	S21	0,84	5
		Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanma düzeyi	S31	0,96	5
		Endüstri 4.0 stratejisinin gözden geçirme ve iyileştirme düzeyi	S41	0,81	4
		Endüstri 4.0 için bütçeden ayrılan payın düzeyi	S51	0,92	5
Organizasyon Yönetimi [O]	0,18019	Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların yetkinlik düzeyi	O11	0,76	4
		Endüstri 4.0'a yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	O12	0,72	3
		Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların bilgi ve beceri düzeyi	O21	0,81	4
		Yeni teknolojilerin kullanımına yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	O22	0,75	3
Akıllı Üretim [AUT]	0,112689	Ürün üretilmeden önce dijital olarak modellenebilme düzeyi	AUT1	0,61	4
		Ürün ve üretim sürecinin gerçek zamanlı takip edilebilme düzeyi	AUT2	0,55	4
		Makineler arası iletişimin düzeyi	AUT4	0,75	4
		Makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi	AUT5	0,82	4
		Makinelerin IT tarafında kontrol edilebilme düzeyi	AUT6	0,86	4
		Ürünün sensörle hareket edebilme düzeyi	AU1	0,68	4

Çizelge 5.26. (devam) Firma A pilot uygulama sonuçları

Akıllı Ürünler [AU]	0,086491	Ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi	AU2	0,73	3
		Sensör ve aktüatör kullanım düzeyi	AU3	0,8	3
		Üretim sürecinin sensörlerle takip edilebilme düzeyi	AU4	0,87	4
		Veri elde etmek için ürünün sahip olduğu ek fonksiyonların düzeyi	AU6	0,4	4
Akıllı Süreçler [AS]	0,155316	Firma içerisinde dikey entegrasyonun sağlanma düzeyi	AS1	0,56	3
		Lojistik süreçlerinin otonomlaşma düzeyi	AS2	0,75	2
		Tedarikçilerle, müşterilerle iletişimin entegrasyon düzeyi	AS3	0,57	3
		Müşterilerden geri bildirim alma düzeyi	AS4	0,78	3
		Müşterilerden alınan geri bildirimlerin kullanım düzeyi	AS5	0,44	5
		Çoklu satış kanallarının kullanım düzeyi	AS6	0,48	5
		Çoklu satış kanallarından müşterilerle etkileşim kurma düzeyi	AS7	0,52	3
		İşletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayan yazılımların kullanım düzeyi	AS8	0,36	5
		İşletme fonksiyonlarında kullanılan dijital araçların otomatik raporlama yapabilme düzeyi	AS9	0,76	4
		İşletme fonksiyonlarından verinin anlık toplanabilme düzeyi	AS10	0,76	4
		Ürünlerin geliştirilmesinde tedarikçilerden elde edilen verilerin kullanım düzeyi	AU8	0,63	4

Aşağıdaki Şekil 5.15 kapsamında Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli'nin Firma A pilot uygulama sonuçları ile Türkiye ortalamasının sonuçları ve karşılaştırmaları görülebilmektedir. Firma A, Strateji Yönetimi boyutundan 4,83 gibi oldukça yüksek puan toplamıştır. Teknoloji Yönetimi, Akıllı Üretim boyutlarından 4,00 ve üzeri puan toplayarak olgunluk düzeylerinin oldukça gelişmiş durumda olduğu tespit edilmiştir. Diğer boyutlarda da olgunluk düzeyi oldukça yüksek seviyededir. Firma A'nın tüm boyutlarda Türkiye ortalamasının oldukça üzerinde sonuçlar aldığı görülebilmektedir. Organizasyon Yönetimi boyutunda Firma A 3,60 puan almışken, Türkiye ortalaması 2,59 olarak gerçekleşmiştir. Akıllı Ürünler boyutunda Firma A 3,56 puan almışken, Türkiye ortalaması 2,48 olarak gerçekleşmiştir. Son olarak Akıllı Süreç boyutunda Firma A 3,60 puan almışken, Türkiye ortalaması 3,23 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.15. Firma A ile Türkiye karşılaştırması

Endüstri 4.0 olgunluk modelinin pilot uygulamaları kapsamında Firma A'nın ortaya çıkan verileri alt kriterler bağlamında analiz edilmiş, Türkiye ortalaması ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Firma A'nın Endüstri 4.0 Olgunluk Endeks değerinin 4,04 olduğu ve "iyileştiren (seviye 4)" olgunluk düzeyinde yer aldığı ortaya çıkmıştır. Buradan hareketle, Firma A'nın bir üst olgunluk seviyesi olan "lider (seviye 5) düzeyine ulaşabilmesi için iyileştirme önerileri sunulmuştur. Buna göre Firma A;

- Organizasyon Yönetimi boyutu kapsamında “eğitim ve yatırım planlaması” yapmasının çalışan geliştirme ve sürekli iyileştirme faaliyetleri bakımından önemli katma değer yaratacağı önerilmektedir. Eğitim ve yatırım planı kapsamında, firmaların stratejik plan çerçevesindeki hedeflerini gerçekleştirebilmeleri için çalışanlarının eksik duyduğu alanlarda eğitim almaları, çalışanlarının kariyer hedeflerine ulaşabilmeleri için yol haritaları sunmaları ve kariyer yollarını tanımlamaları hedeflenmektedir. Böylece firmalar stratejik hedeflerini gerçekleştirerek kurumsal gelişimlerini sağlarken, çalışanları da ihtiyaç duydukları profesyonel eğitimlerle bireysel gelişimlerini sağlamış olacaklardır.
- Teknoloji Yönetimi boyutu kapsamında “bilgi güvenliği” standartlarına uygun olarak bir yönetim mekanizması kurgulaması ve uygulamasının faydalı olabileceği önerilmektedir. Bu çerçevede; ISO 27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi gereksinimlerinin yerine getirilmesinin faydalı olabileceği değerlendirilmektedir.
- Akıllı Üretim boyutu kapsamında makineler arası iletişim algoritmalarının geliştirilmesi, yapay zeka teknolojileri kullanılarak makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme yeteneklerine yatırım yapılması önerilmektedir. Böylelikle firma, üretim yönetiminin tüm aşamalarında entegre ve dijital değer zinciri gereksinimlerini tamamlamış ve dijitalleştirmiş olacaktır.
- Akıllı Ürünler boyutu kapsamında ürünlerin sensör teknolojileriyle entegre edilebilmesi, entegre edilmiş ürünlerin yapay zeka algoritmaları veya nesnelerin interneti altyapısıyla kendini yönlendirebilmesine imkan sağlayacak iyileştirmelerin yapılması gerektiği değerlendirilmektedir.
- Akıllı Süreç boyutu kapsamında lojistik yönetiminin dijitalleştirilmesi, değer zincirinin önemli bileşeni olarak teknolojik entegrasyonunu sağlaması gerektiği değerlendirilmektedir. Tedarikçiler ve müşterilerle iletişimin bütün aşamalarının takip edilebildiği, bütün iletişim kanallarından toplanan geri bildirimlerin anlık olarak değerlendirilebildiği ve yönetsel kararlara girdi teşkil edebildiği altyapı ve iradenin gösterilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Firma B: 2004 yılından itibaren otomotiv sektöründe faaliyet gösteren, ulusal ve uluslararası pazarda yer alan, ihracat hacmi olan, 48 çalışan sayısı ile orta ölçekli firmalar kategorisinde yer alan bir firmadır. Firma B, Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli alt kriterleri itibariyle değerlendirildiğinde, ortaya çıkan sonuçların ve ağırlıklandırılmış verilerinin

tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Firma B için yapılan pilot uygulama sonucunda Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli kapsamındaki analiz bulguları aşağıdaki gibidir;

- *Strateji Yönetimi*, boyutu altında yer alan stratejik planlama, uygulama ve izleme fonksiyonlarının tamamını yerine getirebilme farkındalığı olan ancak belirlediği stratejik hedeflerle yönetime dair bütçe planlaması bulunmamaktadır. İlgili boyutta 3,16 olgunluk endeks değerine sahiptir.
- *Organizasyon Yönetimi*, boyutu altında yer alan insan kaynakları, organizasyon geliştirme ve çalışan geliştirme konularında yeterli düzeyde iş gücüne sahiptir. Ayrıca bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,00 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Teknoloji Yönetimi*, boyutu altında yer almakta olan teknoloji stratejisine sahip olduğu, teknoloji yetkinliği konusunda yeterli düzeyde birikimi olduğu, network altyapısı ve bulut bilişim yeteneklerine vakıf olduğu, teknolojik cihazları kullanarak veri yönetimi ve analizini iyi düzeyde gerçekleştirebildiği ancak bütün bunların bilgi güvenliği gereksinimlerine uygun olarak yapılabilmesi konusunda iyileştirmeye açık alanlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,30 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Akıllı Üretim*, boyutu altında yer verilmiş olan alt kriterler kapsamında, dijital modelleme ve dijital ikiz yetkinliğini yerine getirmek için kurumsal kapasitelerinin geliştirilmiş olduğu ancak otonom sistemler ve robotik altyapı gereksinimlerine yeterli düzeyde sahip olmadıkları görülebilmektedir. Akıllı üretim boyutu kapsamındaki alt kriterlerin analizi yapıldığında, ürün üretilmeden önce dijital olarak modellenilebildiği, üretim sürecinin gerçek zamanlı olarak takip edilebildiği, tesis kapsamındaki makineler arası iletişimin zayıf olduğu ve bunun teknolojik entegrasyonunun bulunmadığı anlaşılmaktadır. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,14 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Akıllı Ürünler*, boyutu altında yer verilmiş olan alt kriterler çerçevesinde, sensör teknolojileri ve nesnelerin interneti altyapısına sahip olduğu, elde edilen büyük verinin analiz edilebileceği teknolojik yetkinliklerin geliştirilmeye açık olduğu anlaşılabilmektedir. Üretilmekte olan ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi konusunda zayıf olduğu tespit edilebilmektedir. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 2,89 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmekte olup

diğer boyutlarla karşılaştırıldığında, akıllı ürünler boyutu en düşük endeks değerine sahip olmuştur.

- *Akıllı Süreç*, boyutu altında kurgulanmış olan alt kriterler kapsamında, yatay ve dikey entegrasyonun sağlanabildiği, dolayısıyla firma içerisindeki üretim, yönetim ve tedarik değer zincirinin verimli bir şekilde çalıştığı görülebilmektedir. Ancak Firma B çalışma kapsamı itibarıyla otomotiv sektöründe yan sanayi üreticisi konumunda olduğu için çoklu satış kanallarının bulunmaması anlaşılabilir bulunmuştur. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,56 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.

Endüstri 4.0 için geliştirilen olgunluk modeli Firma B'ye uygulandığında alt kriterler detayında elde edilen endeks değerleri aşağıdaki Çizelge 5.27'deki gibidir. Her boyutun ağırlık değeri, ölçüm değişkenlerinin neler olduğu, ölçüm değişkenlerinin ağırlıkları ve model tarafından üretilen değerleri incelenebilmektedir.

Çizelge 5.27. Firma B pilot uygulama sonuçları

Boyutlar	Boyut Ağırlığı	Ölçüm değişkeni	Modeldeki kodu	Ağırlık	Firma B Değerleri
Strateji Yönetimi [S]	0,249094	Endüstri 4.0'ın firma içinde farkındalık ve bilinme düzeyi	S11	0,68	5
		Endüstri 4.0 stratejisinin belirlenme düzeyi	S12	0,63	5
		Endüstri 4.0 için belirlenmiş hedeflerin düzeyi	S21	0,84	3
		Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanma düzeyi	S31	0,96	3
		Endüstri 4.0 stratejisinin gözden geçirme ve iyileştirme düzeyi	S41	0,81	3
		Endüstri 4.0 için bütçeden ayrılan payın düzeyi	S51	0,92	1

Çizelge 5.27. (devam) Firma B pilot uygulama sonuçları

Organizasyon Yönetimi [O]	0,18019	Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların yetkinlik düzeyi	O11	0,76	3
		Endüstri 4.0'a yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	O12	0,72	3
		Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların bilgi ve beceri düzeyi	O21	0,81	3
		Yeni teknolojilerin kullanımına yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	O22	0,75	3
		Endüstri 4.0 kapsamında çalışanların yeni teknolojilere adapte olma düzeyi	O31	0,61	3
Teknoloji Yönetimi [T]	0,21622	Endüstri 4.0 kapsamında yeni teknolojilere yapılacak yatırım ve yaklaşım düzeyi	T11	0,65	3
		Bilişim sistemlerinin kullanım etkinliğinin düzeyi	T21	0,69	3
		Veri tabanı kullanımının etkinlik düzeyi	T31	0,71	3
		Ürünler için verilerin kullanım düzeyi	T32	0,47	5
		Firma içinde farklı birimlerde üretilen verinin entegrasyon düzeyi	T33	0,81	3
		İşletme içerisinde elde edilen verilerin analiz edilme düzeyi	T34	0,49	3
		İşletme içerisinde elde edilen verilerin iş süreçlerinde kullanım düzeyi	T35	0,49	3
		Verilerin stratejik karar almada kullanılma düzeyi	AUT3	0,45	5
		Firma içerisindeki süreçlerde verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilme düzeyi	AU7	0,57	3
		Üretim sürecinin dijital ağlarla entegrasyon düzeyi	T41	0,74	4

Çizelge 5.27. (devam) Firma B pilot uygulama sonuçları

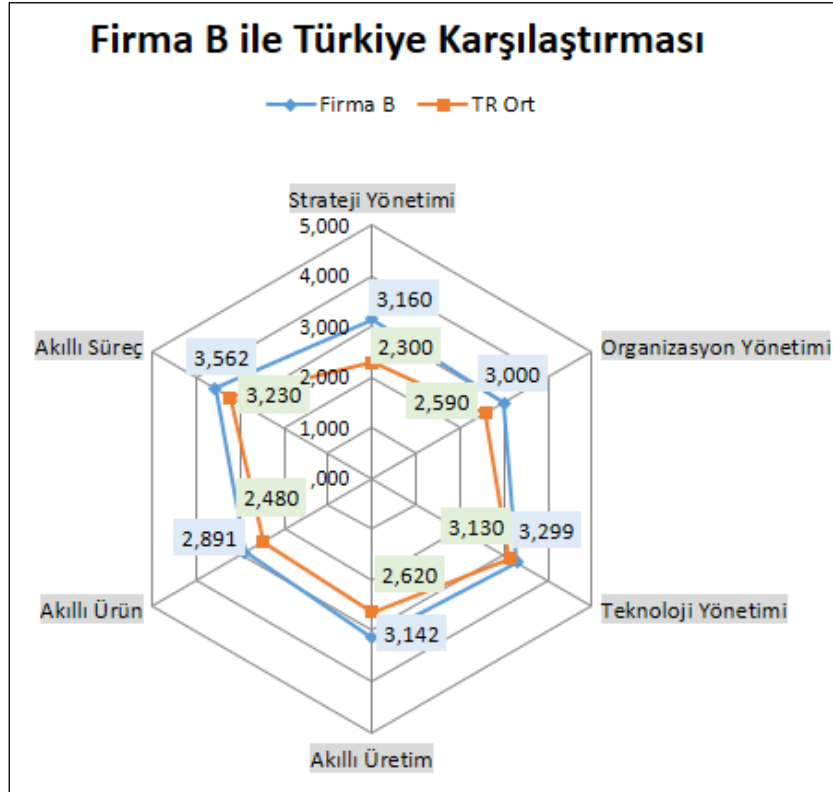
		Bulut hizmetlerinin kullanım düzeyi	T51	0,8	5
		Çalışanlarla makineler arasında bilgi transferini sağlayacak ara elemanların kullanım düzeyi	T61	0,45	3
		Sahip olunan teknolojilerin düzeyi (RFID, sensörler gibi)	T62	0,60	4
		Bilgi Güvenliği standartlarının kullanım düzeyi	T71	0,68	2
Akıllı Üretim [AUT]	0,112689	Ürün üretilmeden önce dijital olarak modellenebilme düzeyi	AUT1	0,61	5
		Ürün ve üretim sürecinin gerçek zamanlı takip edilebilme düzeyi	AUT2	0,55	3
		Makineler arası iletişimin düzeyi	AUT4	0,75	2
		Makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi	AUT5	0,82	2
		Makinelerin IT tarafında kontrol edilebilme düzeyi	AUT6	0,86	4
Akıllı Ürünler [AU]	0,086491	Ürünün sensörle hareket edebilme düzeyi	AU1	0,68	4
		Ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi	AU2	0,73	2
		Sensör ve aktüatör kullanım düzeyi	AU3	0,8	2
		Üretim sürecinin sensörlerle takip edilebilme düzeyi	AU4	0,87	4
		Veri elde etmek için ürünün sahip olduğu ek fonksiyonların düzeyi	AU6	0,4	2

Çizelge 5.27. (devam) Firma B pilot uygulama sonuçları

Akıllı Süreçler [AS]	0,155316	Firma içerisinde dikey entegrasyonun sağlanma düzeyi	AS1	0,56	3
		Lojistik süreçlerinin otonomlaşma düzeyi	AS2	0,75	5
		Tedarikçilerle, müşterilerle iletişimin entegrasyon düzeyi	AS3	0,57	2
		Müşterilerden geri bildirim alma düzeyi	AS4	0,78	5
		Müşterilerden alınan geri bildirimlerin kullanım düzeyi	AS5	0,44	5
		Çoklu satış kanallarının kullanım düzeyi	AS6	0,48	1
		Çoklu satış kanallarından müşterilerle etkileşim kurma düzeyi	AS7	0,52	1
		İşletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayan yazılımların kullanım düzeyi	AS8	0,36	5
		İşletme fonksiyonlarında kullanılan dijital araçların otomatik raporlama yapabilme düzeyi	AS9	0,76	3
		İşletme fonksiyonlarından verinin anlık toplanabilme düzeyi	AS10	0,76	4
		Ürünlerin geliştirilmesinde tedarikçilerden elde edilen verilerin kullanım düzeyi	AU8	0,63	3

Aşağıdaki Şekil 5.16 kapsamında Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli'nin Firma B pilot uygulama sonuçları ile Türkiye ortalamasının sonuçları ve karşılaştırmaları görülebilmektedir. Akıllı Süreç boyutu 3,56 endeks değeriyle ilk sırada yer alırken, Teknoloji Yönetimi boyutu 3,30 endeks değeriyle onu takip etmektedir. Diğer boyutlar ise

Firma B'nin aldığı ağırlıklı ortalama endeks değerinin altında kalmıştır. Özellikle Akıllı Ürünler boyutu 2,89 endeks değeriyle geliştirilmeye en açık boyut olarak karşımıza çıkmaktadır. Firma B'nin tüm boyutlarda değerlendirildiğinde ise Türkiye ortalamasının üzerinde sonuçlar aldığı görülebilmektedir.



Şekil 5.16. Firma B ile Türkiye karşılaştırması

Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli'nin pilot uygulamaları kapsamında Firma B'nin ortaya çıkan verileri alt kriterler bağlamında analiz edilmiş, Türkiye ortalaması ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Firma B'nin Endüstri 4.0 Olgunluk Endeks değerinin 3,20 olduğu ve “uygulayan (seviye 3)” olgunluk düzeyinde yer aldığı ortaya çıkmıştır. Buradan hareketle, Firma B'nin bir üst olgunluk seviyesi olan “iyileştiren (seviye 4) düzeyine ulaşabilmesi için geliştirme önerileri sunulmuştur. Buna göre Firma B;

- Strateji Yönetimi boyutu kapsamında firmanın, Endüstri 4.0 kavramı çerçevesinde geliştirdiği stratejik planla ilgili olarak “PUKÖ; planla-uygula-kontrol et-önlem al” döngüsünün tam çevrimini sağlaması gerektiği değerlendirilmektedir. Bu döngünün sağlanabilmesi ve entegre yönetim gereksinimlerinin hayata geçirilebilmesi için bütçeden gerekli payın ayrılması önerilmektedir.

- Organizasyon Yönetimi boyutu kapsamında çalışanların niteliklerinin tespiti için mevcut durum analizi yapılması, analiz neticesinde ortaya çıkan Endüstri 4.0 gereksinimlerini hayata geçirmek için ihtiyaç duyulan iyileştirmeye açık alanların netleştirilmesi ve çalışan bazlı eğitim planlamaları yapılması ve uygulanması gerekmektedir. Yıllık eğitim planlamaları kapsamında verilen eğitimler sayesinde çalışanların stratejik hedefleri gerçekleştirebilme niteliklerindeki gelişimin, periyodik olarak izlenebilmesi önerilmektedir.
- Teknoloji Yönetimi boyutu kapsamında Endüstri 4.0 kavramının gerektirdiği insan, süreç ve teknoloji sacayağı dengesini sağlayabilmek için bilgi ve iletişim teknolojilerine ayrılan yatırım bütçesinin artırılması önerilmektedir. Firmanın elde etmiş olduğu verilerin iş zekası uygulamaları vasıtasıyla analiz edilebilecek düzeye gelmesi, sonuçlarının değerlendirilerek karar destek mekanizmalarına girdi oluşturabilmesi gerekmektedir. Son olarak “bilgi güvenliği” standartlarına uygun olarak bir yönetim mekanizması kurgulanması ve uygulamasının faydalı olabileceği önerilmektedir. Bu çerçevede; ISO 27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi gereksinimlerinin yerine getirilmesinin somut katkı sunabileceği değerlendirilmektedir.
- Akıllı Üretim boyutu kapsamında robotik teknolojilerin kullanılması ve iş süreçleriyle bütünleşik olarak çalışmasının önemli bir iyileştirme noktası olacağı değerlendirilmektedir. Üretilen ürün ve üretim sürecinde robotik teknolojilerin yaygınlaştırılması gerekmektedir.
- Akıllı Ürünler boyutu kapsamında sensör teknolojilerinin kullanılabilmesi için yatırım planlaması yapması önerilmektedir. Bir ürüne akıl katılabilmesinin en önemli gereksinimi sensör ve aktüatör entegrasyonudur. Entegrasyon sağlandıktan sonra ise üründen alınacak anlık verilerin toplanabilmesi, depolanabilmesi, analiz edilebilmesi ve ürünün kendini yönlendirebilmesi gerekmektedir.
- Akıllı Süreç boyutu kapsamında firma iş süreçlerinin analiz edilmesi, Endüstri 4.0 gereksinimlerine uygun olarak mevcut süreçlerin revize edilmesi veya yeni iş süreçleri üretilmesi gerekmektedir. Revize edilen veya yeni geliştirilen iş süreçlerinin organizasyon yönetimi boyutu kapsamında firma mimarisiyle eşleştirilmesi, teknoloji yönetimi boyutu kapsamında ise ERP, CRM gibi modüllerle desteklenmesi gerekmektedir.

Firma C: 2012 yılından itibaren otomotiv sektöründe faaliyet gösteren, ulusal ve uluslararası pazarda yer alan, çalışan sayısı 350 olan ve büyük ölçekli firmalar kategorisinde yer alan bir firmadır. Firma C, Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli alt kriterleri itibarıyla değerlendirildiğinde, ortaya çıkan sonuçların ve ağırlıklandırılmış verilerinin tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Firma C için yapılan pilot uygulama sonucunda Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli kapsamındaki analiz bulguları aşağıdaki gibidir;

- *Strateji Yönetimi*, boyutu altında Endüstri 4.0 kavramının firma içinde farkındalık ve bilinme düzeyi konusunda yeterli birikim bulunmaktadır. Ancak kavramın somutlaştırılabilmesi için üretilecek stratejik planlama, uygulama ve izleme fonksiyonlarının tamamına dair yeterli seviyede çalışma yer almamaktadır. Benzer şekilde Endüstri 4.0 kavramının hayata geçirilebilmesine dair herhangi bir bütçe planlamasına da sahip değildir. İlgili boyutta 1,54 olgunluk endeks değerine sahip olup diğer boyutlarla karşılaştırıldığında, strateji yönetimi boyutu en düşük endeks değerine sahip olmuştur. Temel olarak bu durumu, firmanın tedarikçi ilişkileri çerçevesinde yan sanayi üretim ağının bir parçası olmasına, üst yönetimin henüz kurumsal yönetim gereksinimlerini tamamlamamış olmasına, aile bağları güçlü ancak kurumsallaşma faaliyetlerinin zayıf yönleri içerisinde yer almasına bağlamak mümkün görülebilmektedir.
- *Organizasyon Yönetimi*, boyutu altında yer alan insan kaynakları, organizasyon geliştirme ve çalışan geliştirme konularında geliştirilmeye açık alanlarının olduğu görülebilmektedir. Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların yetkinlik, bilgi ve beceri düzeyi ile kurum içi yapılan Endüstri 4.0 kapsamındaki eğitimlerin düzeyi gibi konularda iyileştirilmesi gereken noktalar olduğu ifade edilebilmektedir. Ayrıca bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde yukarıdaki yorumları destekleyecek şekilde 1,99 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Teknoloji Yönetimi*, boyutu altında yer almakta olan teknoloji stratejisine sahip olduğu, teknoloji yetkinliği konusunda yeterli düzeyde birikimi olduğu, network altyapısı ve bulut bilişim yeteneklerine vakıf olduğu, teknolojik cihazları kullanarak veri yönetimi ve analizini iyi düzeyde gerçekleştirebildiği ancak bütün bunların bilgi güvenliği gereksinimlerine uygun olarak yapılabilmesi konusunda iyileştirmeye açık alanlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,48 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.

- *Akıllı Üretim*, boyutu altında yer verilmiş olan alt kriterler kapsamında, dijital modelleme yetkinliğini yerine getirmek için kurumsal kapasitelerinin geliştirilmiş olduğu ancak otonom sistemler ve robotik altyapı gereksinimlerine yeterli düzeyde sahip olmadıkları görülebilmektedir. Akıllı üretim boyutu kapsamındaki alt kriterlerin analizi yapıldığında, ürün üretilmeden önce dijital olarak modellenilebildiği, üretim sürecinin gerçek zamanlı olarak takip edilebildiği, tesis kapsamındaki makineler arası iletişimin zayıfta olsa olduğu ancak bunun teknolojik entegrasyonunun bulunmadığı anlaşılmaktadır. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,00 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Akıllı Ürünler*, boyutu altında yer verilmiş olan alt kriterler çerçevesinde, sensör teknolojileri ve nesnelerin interneti altyapısına sahip olduğu, ancak elde edilen büyük verinin analiz edilebileceği teknolojik yetkinliklerin geliştirilmeye açık olduğu anlaşılabilmektedir. Üretilmekte olan ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi konusunda zayıf olduğu tespit edilebilmektedir. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 3,14 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.
- *Akıllı Süreç*, boyutu altında kurgulanmış olan alt kriterler kapsamında, yatay ve dikey entegrasyonun temel olarak sağlanabildiği, dolayısıyla firma içerisindeki üretim, yönetim ve tedarik değer zincirinin çalıştığı görülebilmektedir. Ancak Firma C çalışma kapsamı itibarıyla otomotiv sektöründe yan sanayi üreticisi konumunda olduğu için çoklu satış kanallarının bulunmaması anlaşılabilir bulunmuştur. Benzer şekilde müşterilerden alınan geri bildirimlerin kullanım düzeyi, elde edilen verilerin anlık toplanabilme düzeyi ve ürün geliştirilmesinde tedarikçilerden elde edilen verilerin kullanım düzeyi gibi detaylarda boşluklar görülmektedir. Bu boyut kapsamındaki veriler analiz edildiğinde 2,52 olgunluk endeks değerine sahip olduğu görülmektedir.

Endüstri 4.0 için geliştirilen olgunluk modeli Firma C'ye uygulandığında alt kriterler detayında elde edilen endeks değerleri aşağıdaki Çizelge 5.28'deki gibidir. Her boyutun ağırlık değeri, ölçüm değişkenlerinin neler olduğu, ölçüm değişkenlerinin ağırlıkları ve model tarafından üretilen değerleri incelenebilmektedir.

Çizelge 5.28. Firma C pilot uygulama sonuçları

Boyutlar	Boyut Ağırlığı	Ölçüm değişkeni	Modeldeki kodu	Ağırlık	Firma B Değerleri
Strateji Yönetimi [S]	0,249094	Endüstri 4.0'ın firma içinde farkındalık ve bilinme düzeyi	S11	0,68	3
		Endüstri 4.0 stratejisinin belirlenme düzeyi	S12	0,63	3
Organizasyon Yönetimi [O]	0,18019	Endüstri 4.0 için belirlenmiş hedeflerin düzeyi	S21	0,84	1
		Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanma düzeyi	S31	0,96	1
		Endüstri 4.0 stratejisinin gözden geçirme ve iyileştirme düzeyi	S41	0,81	1
		Endüstri 4.0 için bütçeden ayrılan payın düzeyi	S51	0,92	1
		Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların yetkinlik düzeyi	O11	0,76	4
		Endüstri 4.0'a yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	O12	0,72	2
		Endüstri 4.0 bağlamında çalışanların bilgi ve beceri düzeyi	O21	0,81	1
		Yeni teknolojilerin kullanımına yönelik kurum içi yapılan eğitimlerin düzeyi	O22	0,75	1
		Endüstri 4.0 kapsamında çalışanların yeni teknolojilere adapte olma düzeyi	O31	0,61	2
Teknoloji Yönetimi [T]	0,21622	Endüstri 4.0 kapsamında yeni teknolojilere yapılacak yatırım ve yaklaşım düzeyi	T11	0,65	2
		Bilişim sistemlerinin kullanım etkinliğinin düzeyi	T21	0,69	4
		Veri tabanı kullanımının etkinlik düzeyi	T31	0,71	4

Çizelge 5.28. (devam) Firma C pilot uygulama sonuçları

		Ürünlere ait verilerin kullanım düzeyi	T32	0,47	5
		Firma içinde farklı birimlerde üretilen verinin entegrasyon düzeyi	T33	0,81	3
		İşletme içerisinde elde edilen verilerin analiz edilme düzeyi	T34	0,49	3
		İşletme içerisinde elde edilen verilerin iş süreçlerinde kullanım düzeyi	T35	0,49	5
		Verilerin stratejik karar almada kullanılma düzeyi	AUT3	0,45	2
		Firma içerisindeki süreçlerde verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilme düzeyi	AU7	0,57	4
		Üretim sürecinin dijital ağlarla entegrasyon düzeyi	T41	0,74	3
		Bulut hizmetlerinin kullanım düzeyi	T51	0,8	4
		Çalışanlarla makinalar arasında bilgi transferini sağlayacak ara elemanların kullanım düzeyi	T61	0,45	3
		Sahip olunan teknolojilerin düzeyi (RFID, sensörler, robot gibi)	T62	0,60	4
		Bilgi Güvenliği standartlarının kullanım düzeyi	T71	0,68	3
Akıllı Üretim [AUT]	0,112689	Ürün üretilmeden önce dijital olarak modellenebilme düzeyi	AUT1	0,61	4
		Ürün ve üretim sürecinin gerçek zamanlı takip edilebilme düzeyi	AUT2	0,55	3
		Makineler arası iletişimin düzeyi	AUT4	0,75	3

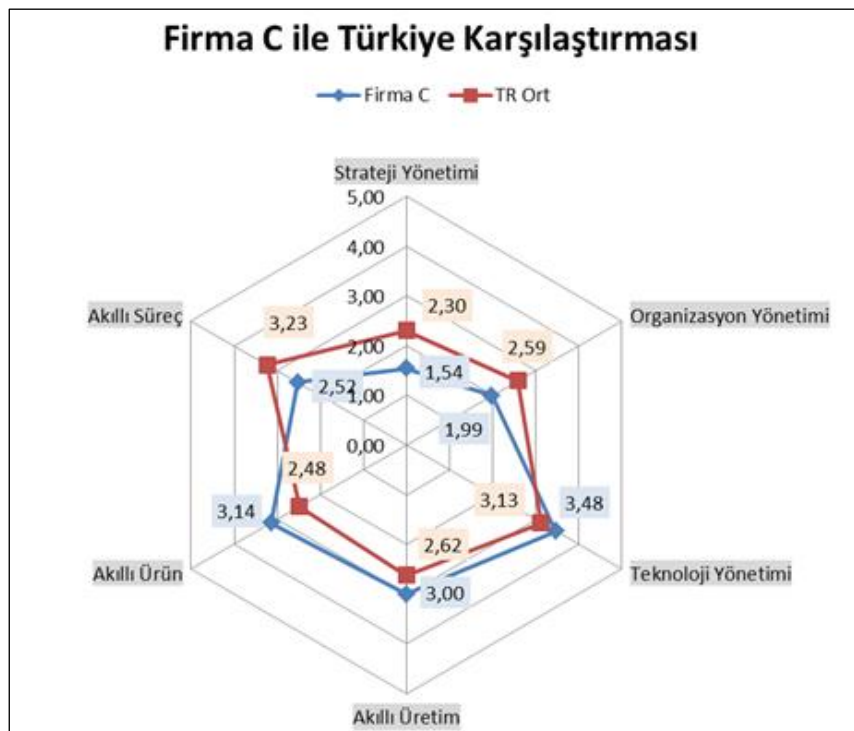
Çizelge 5.28. (devam) Firma C pilot uygulama sonuçları

		Makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyi	AUT5	0,82	3
		Makinelerin IT tarafında kontrol edilebilme düzeyi	AUT6	0,86	3
Akıllı Ürünler [AU]	0,086491	Ürünün sensörle hareket edebilme düzeyi	AU1	0,68	3
		Ürünün kendini yönlendirebilme düzeyi	AU2	0,73	3
		Sensör ve aktüatör kullanım düzeyi	AU3	0,8	3
		Üretim sürecinin sensörlerle takip edilebilme düzeyi	AU4	0,87	4
		Veri elde etmek için ürünün sahip olduğu ek fonksiyonların düzeyi	AU6	0,4	2
Akıllı Süreçler [AS]	0,155316	Firma içerisinde dikey entegrasyonun sağlanma düzeyi	AS1	0,56	3
		Lojistik süreçlerinin otonomlaşıma düzeyi	AS2	0,75	3
		Tedarikçilerle, müşterilerle iletişimin entegrasyon düzeyi	AS3	0,57	3
		Müşterilerden geri bildirim alma düzeyi	AS4	0,78	3
		Müşterilerden alınan geri bildirimlerin kullanım düzeyi	AS5	0,44	2
		Çoklu satış kanallarının kullanım düzeyi	AS6	0,48	3
		Çoklu satış kanallarından müşterilerle etkileşim kurma düzeyi	AS7	0,52	3
		İşletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayan yazılımların kullanım düzeyi	AS8	0,36	4

Çizelge 5.28. (devam) Firma C pilot uygulama sonuçları

İşletme fonksiyonlarında kullanılan dijital araçların otomatik raporlama yapabilme düzeyi	AS9	0,76	2
İşletme fonksiyonlarından verinin anlık toplanabilme düzeyi	AS10	0,76	2
Ürünlerin geliştirilmesinde tedarikçilerden elde edilen verilerin kullanım düzeyi	AU8	0,63	2

Aşağıdaki Şekil 5.17 kapsamında Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli'nin Firma C pilot uygulama sonuçları ile Türkiye ortalamasının sonuçları ve karşılaştırmaları görülebilmektedir. Teknoloji Yönetimi boyutu 3,48 endeks değeriyle ilk sırada yer alırken, Akıllı Ürünler boyutu 3,14 endeks değeriyle onu takip etmektedir. Son olarak Akıllı Üretim boyutu 3,00 değeriyle Türkiye ortalamasının üzerinde görülmektedir. Diğer boyutlarda ise Firma C endeks değerleri, Türkiye ortalaması değerinin ilgili boyutlar bağlamında altında kalmıştır.



Şekil 5.17. Firma C ile Türkiye karşılaştırması

Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli'nin pilot uygulamaları kapsamında Firma C'nin ortaya çıkan verileri alt kriterler bağlamında analiz edilmiş, Türkiye ortalaması ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Firma C'nin Endüstri 4.0 Olgunluk Endeks değerinin 2,50 olduğu ve “farkında (seviye 2)” olgunluk düzeyinde yer aldığı ortaya çıkmıştır. Buradan hareketle, Firma C'nin bir üst olgunluk seviyesi olan “uygulayan (seviye 3) düzeyine ulaşabilmesi için geliştirme önerileri sunulmuştur. Buna göre Firma C;

- Strateji Yönetimi boyutu kapsamında firmanın öncelikli olarak Endüstri 4.0 kavramını bünyesinde barındıracak stratejik plan geliştirmeye ihtiyacı bulunmaktadır. Bu çerçevede, geliştireceği stratejik planla ilgili olarak “PUKÖ; planla-uygula-kontrol et-önlem al” döngüsünün tam çevrimini sağlaması gerekmektedir. Bu döngünün sağlanabilmesi ve entegre yönetim gereksinimlerinin hayata geçirilebilmesi için bütçeden gerekli payın ayrılması önerilmektedir.
- Organizasyon Yönetimi boyutu kapsamında çalışanların niteliklerinin tespiti için mevcut durum analizi yapılması, analiz neticesinde ortaya çıkan Endüstri 4.0 gereksinimlerini hayata geçirmek için ihtiyaç duyulan iyileştirmeye açık alanların netleştirilmesi ve çalışan bazlı eğitim planlamaları yapılması ve uygulanması gerekmektedir. Yıllık eğitim planlamaları kapsamında verilen eğitimler sayesinde çalışanların stratejik hedefleri gerçekleştirebilme niteliklerindeki gelişimin, periyodik olarak izlenebilmesi önerilmektedir.
- Teknoloji Yönetimi boyutu kapsamında Endüstri 4.0 kavramının gerektirdiği teknolojik altyapının sağlıklı bir şekilde çalıştırılabilmesi ve nihayetinde karar vericilere destek sağlayabilmesi için karar destek yönetim sistemlerine ihtiyaç görülmektedir.
- Akıllı Üretim boyutu kapsamında robotik teknolojilerin kullanılması ve iş süreçleriyle bütünleşik olarak çalışmasının önemli bir iyileştirme noktası olacağı değerlendirilmektedir. Üretilen ürün ve üretim sürecinde robotik teknolojilerin yaygınlaştırılması gerekmektedir.
- Akıllı Ürünler boyutu kapsamında sensör teknolojilerinin kullanılabilmesi için yatırım planlaması yapılması önerilmektedir. Bir ürüne akıl katılabilmesinin en önemli gereksinimi sensör ve aktüatör entegrasyonudur. Entegrasyon sağlandıktan sonra ise üründen alınacak anlık verilerin toplanabilmesi, depolanabilmesi, analiz edilebilmesi ve ürünün kendini yönlendirebilmesi gerekmektedir.

- Akıllı Süreç boyutu kapsamında firma iş süreçlerinin analiz edilmesi, Endüstri 4.0 gereksinimlerine uygun olarak mevcut süreçlerin revize edilmesi veya yeni iş süreçleri üretilmesi gerekmektedir. Revize edilen veya yeni geliştirilen iş süreçlerinin organizasyon yönetimi boyutu kapsamında firma mimarisiyle eşleştirilmesi, teknoloji yönetimi boyutu kapsamında ise ERP, CRM gibi modüllerle desteklenmesi gerekmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretimde teknolojinin kullanıma dayalı olarak gerçekleşen dijital dönüşümü şirketler için zorunlu kılan üç ana neden bulunmaktadır; ekonomik zorluklar nedeniyle üretimin karşı karşıya kaldığı tehdit, ülkelerin sanayi politikalarına artan ilgisi sonucu teknoloji kullanımı yoluyla üretimi dönüştürmeye yönelik eylem planları ve teknolojiye ileriye yönelik üretimde teknolojinin kullanımına yönelik oluşan teknolojik baskı. AB üye ülkeleri başta olmak üzere imalat sektöründeki gücünü kaybetmek istemeyen, dijital teknolojilerin sağlayacağı ekonomik faydayı artırmak isteyen birçok ülke dördüncü sanayi devrimi için eylem planları ve yol haritaları hazırlamıştır. Endüstri 4.0; üretimdeki verimliliği artırmak için büyük ölçüde akıllı üretim teknolojilerine dayanan planların desteklendiği ve Alman Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından 2010'da yayınlanan “Yüksek Teknoloji Stratejisi” nin uygulanmasına ilişkin raporda, gelecekteki faaliyetler için tanımlanan on alandan biri olmuştur. Endüstri 4.0 ülkemiz için de büyük öneme sahiptir. Türkiye lojistik ve işgücü maliyetleri ile üretimde bir avantaja sahip bulunmaktadır. Ancak ülkelerin üretimde teknolojinin kullanımı yoluyla verimlilik artışı sağlamaya yönelik atmış olduğu adımlar nedeniyle bu üstünlüğü kaybetme riskiyle karşı karşıyadır. Bu nedenle bilgi ve iletişim teknolojilerinin üretim süreçlerinde kullanımı ile verimin artırılması, maliyetin düşürülmesi ve pazar payının artırılması amacıyla yeni yaklaşımlara yönelik stratejiler belirlenmiştir.

Endüstri 4.0 kavramı 2011 yılında ortaya atıldığından beri gerek ülke politikaları, gerek akademik çalışmalar, gerekse sektör uygulama ve raporlarında artan bir ilgi görmüş ve kendine geniş bir yer edinmeye başlamıştır. Bu ilginin en önemli nedenleri de; teknolojiye ileriye yönelik ilerlemeler ve bu ilerlemeler sayesinde ortaya çıkan jenerik ürünler, bu ürünlerin sektörler arasındaki yakınsamaya neden olması ve yıkıcı etkileri, büyük durgunluk sonrası ülkelerin finans ağırlıklı ekonomi politikasından üretim ağırlıklı politikalara yönelmesi, verimlilik arayışı sonucunda üretimde teknolojinin kullanılmasına yönelik ülke ve şirket politikaları, küreselleşme ve yükselen ekonomiler nedeniyle gelişmiş ülkelerin üretim hacminde kaybettiği gücü yeniden kazanma isteği olarak sıralamak mümkündür. Dördüncü sanayi devrimi anlamına gelen Endüstri 4.0 küresel zorluklarla başa çıkabilmek, verimliliği artırabilmek ve üretimi geliştirebilmek için teknolojiye yaşanan gelişmeleri bir araya getirmeyi hedeflemektedir.

Endüstri 4.0 kavramı temelde; şirketlerin ürün yaşam döngüsü boyunca bütün aşamaları birbirine bağlayacak ve gerçek zamanlı takip edilmesine olanak sağlayacak şekilde dijitalleşmesidir. Teknoloji kullanımı firmalara verimlilik açısından büyük faydalar sağladığından üretimde teknolojinin yayılım hızı her geçen gün artmaktadır. Ancak bu durum şirketleri sadece teknoloji altyapısına yatırım yapma gibi bir yanılgıya düşürmektedir. Endüstri 4.0'ın en önemli amaçlarından biri; veriden değer elde edilmesidir. Üretim süreçlerinde teknolojinin entegre edilmesinin en önemli nedeni tüm değer zinciri boyunca gerçek zamanlı verilerin analiz edilerek yeni ürün ve iş modellerinin geliştirilmesiyle elde edilecek faydadır. Bu yönüyle dijitalleşme sadece teknolojik altyapı için yapılacak yatırım değildir. Şirketlerin Endüstri 4.0'ın muhtemel faydalarından yararlanabilmesi için veriden değer üretebilecek iş modellerine sahip olması gerekmektedir.

Teknoloji kullanımı firmalara verimlilik, esneklik, hız gibi avantajlar sağlamakla birlikte tedarik sürelerinde kısalma, ürünlerin giderek kişiselleşmesi, coğrafi sınırların önemsizleşmesiyle daha da sertleşen rekabet koşulları, yüksek yatırım maliyetleri, becerilerin yetersizliği gibi zorluklarla da karşı karşıya bırakmıştır. Fakat bu zorlukları aşmanın yolu da yine dijitalleşme dönüşümünü gerçekleştirmekten geçmektedir. Endüstri 4.0; firmalara tüm bu zorlukların üstesinden gelmek için dijitalleşme yoluyla maliyetlerde düşme ve yeni değer üretmeyi vaat etmektedir. Ancak Endüstri 4.0 kavramı ve onu oluşturan öğeler henüz çok yenidir ve şirketlerin bu dönüşümü sağlamak için yeterli bilgisi bulunmamaktadır. Ayrıca yatırım maliyetlerinin yüksekliği, nitelikli personel eksikliği ve projeden elde edilecek katma değer belirsizliği şirketlerin bu dönüşümü gerçekleştirmek için çekimser davranmalarına neden olmaktadır. Dijitalleşmeye dahil olan kuruluşların, temel olarak yatırımların önceliklendirilmesi ve elde edecekleri değer belirlenebilmesi için somut çıktıların değerlendirilmesi ve bunların uygun şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Bu noktada bir dizi ölçütün geliştirilmesi ve yönetilmesi kritik önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı; firma içinde Endüstri 4.0'ın hangi ölçüm araçları ile ölçüleceğini belirlemek, bir analiz yöntemi sunmak, firmaların mevcut olgunluk seviyelerini belirlemek ve bir üst seviyeye çıkabilmeleri için yol haritası sunabilmektir. Literatürdeki olgunluk modelleri, modellerin oluşturulmasına ilişkin temel bilgileri sağlarken firma içinde nelerin nasıl ölçüleceğine ve nasıl analiz edileceğine yönelik bir bilgi paylaşımı sunmamaktadır. Bu çalışmada modelin ölçümlemesini gerçekleştirmek için yapısal eşitlik modeli ve AHP

metodu kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle firma içerisinde Endüstri 4.0'ı temsil eden öğelerin belirlenebilmesi için detaylı bir literatür çalışması yapılmıştır. Olgunluk modelinin oluşturabilmesi için temel gereksinimlerin belirlenmesi amacıyla olgunluk modeli ile ilgili literatür çalışması yapılarak elde edilen bilgiler ışığında model kurulmuştur. Model; strateji yönetimi, teknoloji yönetimi, organizasyon yönetimi, akıllı üretim, akıllı ürünler ve akıllı süreçler olmak üzere 6 boyuttan oluşmuştur. Endüstri 4.0 boyutları firmadan doğrudan gözlemlenebilir değişkenler değildir ve de birbiriyle içiçe geçmiş durumdadır. Bu nedenle boyutların oluşturulmasından sonra bu boyutların firma içerisinde hangi ölçüm değişkenleri ile temsil edileceği belirlenmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılabilmesi ve her değişkenin Endüstri 4.0 olgunluğuna ne düzeyde etki edeceğini elde edebilmek için yapısal eşitlik modeli kullanılmıştır. Yapısal eşitlik modeli ile her boyutun temsil edildiği ölçüm değişkenlerinin ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen ağırlıklar kullanılarak önce her boyutun olgunluk puanı sonra da genel olgunluk puanı hesaplanmıştır. Ortaya çıkan puanlara göre %46,2 ile en düşük puanın strateji yönetimi boyutunda olduğu görülmüştür. Bu da firmaların Endüstri 4.0 konusunda bir farkındalığının olmasına karşılık henüz planlama ve yürütme boyutunda adımlar atmadığını göstermektedir. Boyutlar içerisinde %62,6 ile teknoloji yönetimi boyutu, %64,6 ile akıllı süreçler boyutu en yüksek puana sahip olmuşlardır. Bunun en önemli nedeninin şirketlerin dijital dönüşüm süreçlerinde daha çok alt yapıya önem verdikleri olduğu söylenebilir. Ancak stratejik bir planlama yapmadan, veriden değer üretmeye yönelik projeler geliştirmeden ve dolayısıyla nitelikli personel ihtiyacını gidermeden Endüstri 4.0 projeleri başarıya ulaşamayacaktır.

Firmalar sektörlere göre ayrıldığında Endüstri 4.0 seviyesi en yüksek olan iki sektör 3,18 endeks değeri ile otomotiv ve 3,16 endeks değeri ile elektrik-elektronik sektörleri olmuştur. 2,36 endeks değeri ile tekstil ve 2,13 endeks değeri ile metal sektörleri ise en düşük endeks değerlerine sahip sektörler olmuştur. Firmalar çalışan sayılarına göre sınıflandırıldığında firmadaki çalışan sayısı arttıkça Endüstri 4.0 olgunluk endeksinin de arttığı görülmektedir. Benzer şekilde firmaların faaliyet gösterdiği süreler arttıkça Endüstri 4.0 olgunluk endeks değerlerinin de arttığı görülmektedir.

Çalışmada ayrıca ölçüm değişkenlerinin ağırlıklarına ilaveten her boyutun da Endüstri 4.0 olgunluğunu oluşturmada farklı ağırlıklara sahip olabileceği düşünülmüştür. Ancak boyutların ağırlıklarının sektörlere göre farklılık göstereceği öngörüldüğünden modelin geçerlemesi için seçilen otomotiv firmaları için ayrıca AHP metodu uygulanmıştır. AHP

metodu sayesinde otomotiv sektöründe çalışan uzman görüşleri alınarak her boyutun ağırlıkları hesaplanmıştır. Buna göre strateji yönetimi boyutu 0,249 ile en yüksek ağırlığa sahip olurken onu 0,216 ile teknoloji yönetimi boyutu takip etmiştir. Elde edilen sonuçlar otomotiv sektörü için olmakla birlikte her sektör için ayrıca hesaplama yapmak mümkün olacaktır.

Bu çalışma Endüstri 4.0 olgunluğunun ve olgunluk endeksinin ölçülmesi için araştırmacılara ve şirket yöneticilerine bir başlangıç noktası vermeyi amaçlamıştır. Çalışmada kullanılan model (boyutlar, ölçüm değişkenleri, ölçüm değişkenlerinin ağırlıkları gibi) diğer araştırmacılar için başka firmalarda uygulayıp geliştirilebilecek niteliktedir. Çalışma, araştırmacıların boyutlar ve ölçüm değişkenleri için elde edilen ağırlıkları kullanarak yeni olgunluk endeksi elde etmelerini mümkün kılacağı gibi ölçüm değişkenlerini azaltarak veya artırarak yeni bir model geliştirmeleri için de katkı sağlayacaktır. Tüm bunlarla birlikte çalışmanın dönemsel olarak tekrar edilmesiyle dinamik bir endeks sonucu elde etmek mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbate, J. (1999). *Inventing The Internet*. ABD: The MIT Press.
- Acar, M., Demir, Ö. (2005). *Sosyal Bilimler Sözlüğü*. Ankara: Adres Yayınları.
- Acatech. (2011). Cyber-Physical systems driving force for innovation in mobility, health, energy and production. *Germany: National Academy of Science and Engineering*.
- Acatech. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0, Final Report of the Industry 4.0 Working Group. *Munich: National Academy of Science and Engineering*.
- Acatech. (2017). Industrie 4.0 maturity index. *Germany: National Academy of Science and Engineering*.
- Accenture. (2016). Accenture Türkiye dijitalleşme endeksi. *Accenture Türkiye*.
- Akdil, K.Y., Üstündağ, A., Çevikcan, E. (2018). Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Springer, pp. 61-94.
- Akıncı, A. N. (2019). *Büyük veri uygulamalarında kişisel veri mahremiyeti*, Uzmanlık Tezi, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Sektörler ve Kamu Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Aktaş, R., Müftüoğlu, T., Doğanay, M.M., Şahin, A., Ban, Ü., Pekaya, S. ve Akçaoğlu, E. (2009). *Kriz Ortamında İşletme Yönetimi*, İstanbul: Türkiye Ekonomi Bankası–TEB Yayınları, s.14.
- Aktepe, A. (2015). *Müşteri memnuniyet endeks hesaplaması için model önerisi: bir yerel yönetim uygulaması*, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 39.
- Alkaya, E., Bogurcu, M., Ulutas, F. ve Demirer, G. N. (2015). Adaptation to climate change in industry: improving resource efficiency through sustainable production applications. *Water Environment Research*, 87(1), 14–25.
- Altaban, A. (2013). *Structural equation modeling of customer satisfaction and loyalty for residential air conditioners*, Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arda, E. (2008). *Ekonomi sözlüğü*,. İstanbul: Beta Basım, s. 111-112.
- Arifoğlu, A. ve Gür, M.H. (2005). e-CMM : e-kurum olgunluk modeli. *UYMS'05 National Software Engineering Symposium and Exhibition*, Ankara, Turkey.
- Bandalos, B. (1996). *Confirmatory factor analysis. Applied multivariate statistics for the social sciences*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 389-420.
- Basalla, G. (1996). *Teknolojinin evrimi*. Cem Soydemir (Çev.). Ankara: Tübitak.

- Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D. H. and Ganschar, O. (2014). *Industrie 4.0 - volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*, (Ed. BITKOM/Fraunhofer IAO). Berlin: BITKOM.
- Bayram N. (2013). *Yapısal eşitlik modellemesine giriş Amos uygulamaları*. Ankara: Ezgi Kitabevi Yayınları.
- Becker, J., Knackstedt, R. and Pöppelbuß, J. (2009). Developing Maturity Models for IT Management A Procedure Model and its Application. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213–222.
- Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2018). Türkiye'nin Sanayi Devrimi Dijital Türkiye Yol Haritası; *Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı*, Ankara.
- Bishop, M. (2013). *A'dan Z'ye ekonomi sözlüğü*. Ankara: Liberte.
- Bitkom and Fraunhofer IAO (2014). Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland; *Bitkom and Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.*, Germany.
- Bolat, B.A. (2009). *Firma Performansını Etkileyen Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli ile İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 38.
- Boomsma, A. (2000). Reporting analyses of covariance structures. *Structural Equation Modeling*, 7(3), 461–483.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M. and Rosenberg, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(1), 37-44.
- Brynjolfsson, E., McAfee, A. (2015). *The Second Machine Age*. (çev. L. Göktem). İstanbul: Türk Hava Yolları (Eserin orijinali 2014'de yayımlandı).
- Buhr, D. (2015). Social Innovation Policy for Industry 4.0; *The Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn*.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2010). Ideas. Innovation. Prosperity High-Tech Strategy 2020 for Germany; *Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn*.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2014). The new High-Tech Strategy Innovations for Germany; *Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn*.
- Büyüköztürk, Ş. (2002). Faktör analizi: temel kavramlar ve ölçek geliştirmede kullanımı. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, 32(32), 470-483.
- Byrne, B. M. (2010). *Multivariate applications series. Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming* (Second Edition). New York: Routledge/Taylor & Francis Group, pp. 5.

- Castells, M. (2005). *Ağ Toplumunun Yükselişi-Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür*. (çev. E. Kılıç). İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi (Eserin orijinali 2014'de yayımlandı).
- Chrissis, M. B., Konrad, M. and Shrum, S. (2006). *CMMI second edition, guidelines for process integration and product improvement, CMMI for Development, V.1.2..* USA: Addison Wesley.
- Colli, M., Madsen, O., Berger, U., Möller, C., Wæhrens, B. J. and Bocholt, M. (2018). Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. *International Federation of Automatic Control-PapersOnLine*, 51(11), 1347-1352.
- Cox, M. and Ellsworth, D. (1997). Application-Controlled Demand Paging for Out-of-Core Visualization; *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, USA.
- Crosby, P. (1980). *Quality is Free: The Art of Making Quality Certain* (First Edition). USA: Penguin Books.
- Curry, E. (2016). The Big Data Value Chain: Definitions, Concepts, and Theoretical Approaches (Chapter 3). *New Horizons for a Data-Driven Economy A Roadmap for Usage and Exploitation of Big Data in Europe*. Switzerland:Springer Open.
- Curtis, B. and Alden, J. (2007). The Business Process Maturity Model (BPMM): What, Why and How. *BPTrends*.
- Çapık, C. (2014). Geçerlik ve güvenirlik çalışmalarında doğrulayıcı faktör analizinin kullanımı. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 17(3), 196-205.
- Dalgıç, A. (1982). Mikroişlemciler ve mikrobilgisayarlar. *Elektrik Mühendisleri Dergisi*, 10(290), 198-204.
- de Bruin, T., Freeze, R., Kulkarni, U. and Rosemann M. (2005, 29 November-2 December). *Understanding the main phases of developing a maturity assessment model*. Australasian Conferences on Information Systems 2005, Sydney, Australia.
- de La Bruyère, E. and Picarsic, N. (2020). Made in Germany, Co-opted by China; *Foundation for Defense of Democracies Washington, DC*.
- Deindl, M. (2013). *Gestaltung des Einsatzes von intelligenten Objekten in Produktion und Logistik*, PhD Thesis, RWTH Aachen University, Aachen.
- Deloitte (2014). Industry 4.0 challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies; *Deloitte*, London, United Kingdom.
- Denis, D. J., Legerski, J. (2006). Causal modeling and the origins of path analysis. *Theory & Science*, 7(1), 1-31.
- Doğan, S., Demiral, Ö. (2008). İnsan kaynakları yönetiminde çalışanların kendilerine doğru yolculuk yöntemi: yetenek yönetimi. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(3). 145-166.
- Doğan, N., Sosyal, S. ve Karaman, H. (2017). Aynı örnekleme açımlayıcı ve doğrulayıcı faktör analizi uygulanabilir mi?. *Küreselleşen Dünyada Eğitim*, Ankara: Pegem Akademi, s. 373-400.

- Durmuş, G. (2001). Mühendislik, teknoloji ve tarih. *Mimar ve Mühendis Dergisi*, Sayı:30, 6-14.
- Durmuş, G. (2019, 17-20 Nisan). *Moore Yasası, Teknolojik Tekillik ve Prekarya*. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.
- Emrouznejad, A. and Marra, M. (2017). The state of the art development of AHP (1979–2017): A literature review with a socialnetwork analysis. *International Journal of Production Research*, 55(22), 6653–6675.
- Erol, S., Schumacher, A. and Sihn, W. (2016, January 27-29). *Strategic guidance towards Industry 4.0–a three-stage process model*. International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch, Güney Afrika.
- Eser, E. (2014). Dünya yeniden sanayiye dönerken Türkiye dünya sanayinin neresinde?. *İktisat ve Toplum*, Sayı:45, 27-44.
- European Commission. (2015). KETs: Time to act; *High Level Group on Key Enabling Technologies European Commission*, Brussels.
- European Commission. (2016). European Cloud Initiative - Building a competitive data and knowledge economy in Europe. *European Commission*, Brussels.
- European Parliament's Committee on Industry, Research and Energy (ITRE). (2016). Industry 4.0; *European Parliamentary*, Brussels.
- European Parliamentary Research Service. (2015). Industry 4.0 digitalisation for productivity and growth; *European Parliamentary*, Brussels.
- Ferguson, T. (2002). Have Your Objects Call My Object. *Harvard Business Review*, June, 1-7.
- Fraser, P., Moultrie, J. and Gregory, M. (2002, 18-20 August). *The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability*. Engineering Management Conference, Cambridge, UK.
- Freeman, C. (1990). Yeni Teknoloji ve Yetişme Sorunu (çev. A. Göker). *Mühendis ve Makina* (Eserin orijinali 1989'da yayınlandı), 31 (368).
- Frey, B.C. and Osborne M.A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. *Technological Forecasting & Social Change*, 114 (2017), 254–280.
- Ganzarain, J. and Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119-1128.
- Geissbauer, R., Vedso, J. and Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the Digital Enterprise; *PricewaterhouseCoopers*, London.
- Glaessgen E. H. and Stargel D.S. (2012). *The digital twin paradigm for future NASA and US air force vehicles*. 53rd Structures, Structural Dynamics and Materials Conference: Special Session on Digital Twin, Honolulu, Hawaii, 1–14.

- Gökalp, E., Şener, U. Ve Eren, P.E. (2017). *Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM*. International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination.
- Göker, A. (2001). Bilim ve teknoloji politikalarına giriş için ‘enformasyon toplumu’ üzerine kavramsal bir yaklaşım denemesi. *Mülkiye Dergisi* , 25 (230) , 27-66 .
- Göker, A. (2015). *Teknoloji sorununa genel bir bakış denemesi*. Ankara Üniversitesi Kamu Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi ‘Teknolojiye Nasıl Bakabiliriz’ Semineri. Ankara.
- Görçün, Ö. F. (2016). *Dördüncü endüstri devrimi Endüstri 4.0*. İstanbul: Beta.
- Guthrie, J. (2001). High-involvement work practices, turnover and productivity: Evidence from New Zealand, *Academy of Management Journal*, 44 (1), 180-191.
- Haksever, G. (2018). *İnternet ve çok-paydaşlı yönetişimi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Bilgi Üniversitesi, Lisans Üstü Programlar Enstitüsü, 5.
- Headrick, D. R. (2002). *Enformasyon çağı*. (çev. Z. Kılıç). İstanbul:Kitap Yayınevi.
- Hammermann, A., Stettes, O. (2016). Qualifikationsbedarf und Qualifizierung. Anforderungen im Zeichen der Digitalisierung; *Institut der deutschen Wirtschaft*. Köln.
- Hermann, M., Pentek, T. and Otto, B. (2015). Working paper design principles for Industrie 4.0 scenarios: A literatur review; *Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau&Audi Stiftungslehrstuhl Supply Net Order Management*, Germany.
- Hermann, M., Pentek, T. and Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literatur review. 49th Hawaii International Conference on System Sciences, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society*, 3928-3937.
- Hevner, A., March, S.T. and Park, J. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105.
- Hobsbawm, E. J. (1969). *Sanayi ve imparatorluk* (çev. A. Ersoy). Ankara: Dost Yayınevi.
- Hox, J.J. and Becher, T.M. (1999). An introduction to structural equation modeling. *Family Science Review*, 11, 354-373.
- Hoyle, R. H. and Panter, A. T. (1995). Writing about structural equation models. In R. H. Hoyle (Ed.), *Structural equation modeling*, Thousand Oaks, CA: Sage, pp. 158–176.
- Humphrey, W. S. (1988). Characterizing the software process: a maturity framework. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Software*, 5(2), 73-79.
- IIBA. (2015). A guide to the business analysis body of knowledge. BABOK Guide, Version 3; *International Institute of Business Analysis*, Canada.
- International Organization for Standardization/ International Electro technical Commission. (2013). ISO 27001:2013: Information technology-Security techniques-Information security management systems-Requirements; *International Organization for Standardization*, Geneva.

- International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018: Risk Management – Guidelines. *International Organization for Standardization*, Geneva.
- International Telecommunication Union (ITU). (2005). ITU internet reports: The internet of things; *International Telecommunication Union*, Geneva.
- ISACA (2019). COBIT 2019 Framework: Introduction and Methodology; *Information Systems Audit and Control Association*, USA.
- IT Governance Institute. (2007). COBIT 4.1. *Information Systems Audit and Control Association The IT Governance Institute*, USA.
- Japanese Ministry for Economics, Trade and Industry (METI). (2015a). White paper on manufacturing industries; *Ministry for Economics, Trade and Industry*, Japan.
- Japanese Ministry for Economics, Trade and Industry (METI). (2015b). The ‘next innovation’ in manufacturing (monozukuri) is coming: Japanese factories connected together; *Ministry for Economics, Trade and Industry*, Japan.
- Jöreskog, K.G. (1973). A general method for estimating a linear structural equation system. Structural equation models in the social sciences. *ETS Research Report Series*, 1970(2), 85-112.
- Jöreskog, K.G. and Goldberger, A.S. (1975). Estimation of a Model with Multiple Indicators and Multiple Causes of a Single Latent Variable. *American Statistical Association*, 70(351), 631-639.
- Jung, K., Kulvatunyou, B., Choi, S. and Brundage, M.P. (2016). An overview of a smart manufacturing system readiness assessment. In I. Nääs et al. (Eds.), *Advances in Production Management Systems Initiatives for a Sustainable World*, IFIP International Federation for Information Processing, Switzerland: Springer International Publishing, 705-712.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A. and 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. *Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Acatech)*, Forschungsunion.
- Kalaycı, O. (2007). *Yöneticiler için doğru sorular CMMI*. Shamrock Süreç İyileştirme ve Yenilikçilik, Canada: Shamrock Process Improvement and Innovation, 6.
- Kalkınma Bakanlığı. (2018). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) sanayide dijitalleşme çalışma grubu raporu. *Kalkınma Bakanlığı*, Ankara.
- Kazanjian, R.K. and Drazin, R. (1990). A stage-contingent model of design and growth for technology based new ventures. *Journal of Business Venturing*, 5(3), 137-150.
- Kaplan, R.S., Norton, D.P. (2014). Strateji Haritaları: Gayrimaddi Varlıkları Maddi Sonuçlara Dönüştürmek (çev. Ş. Öztürk), İstanbul: Alfa Yayıncılık, (Eserin orijinali 2004’de yayımlandı).

- Karaman, D. (2019). *Yapısal eşitlik modellemesi: Kuzey Kıbrıs devlet hastanelerinde sağlık okuryazarlığı düzeyinin hasta memnuniyeti üzerindeki etkisi*. Yüksek lisans tezi, Yakın Doğu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 70.
- Katz, R., Koutroumpis, P. and Callorda, F.M. (2013). Using a digitization index to measure the economic and social impact of digital agendas. *Info*, 16(1), 32-44.
- Kline, R.B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling* (Third Edition), New York: The Guilford Press, 91.
- Kocak, A. ve Dişadin, A. (2018). Sanayi 4.0 geçiş süreçlerinde kritik başarı faktörlerinin DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmesi. *Ege Akademik Bakış*, 18(1), 107-120.
- Kotarba, M. (2017). Measuring digitalization – key metrics. *Foundations of Management*, 9(1), 123-138.
- Kumar, K. (2010). *Sanayi sonrası toplumdan post-modern topluma çağdaş dünyanın yeni kuramları* (çev. M. Küçük). Ankara: Dost Kitabevi Yayınları, (Eserin orijinali 2004’de yayımlandı).
- Kumaş, E. ve Erol, S. (2021). Endüstri 4.0’da anahtar teknoloji olarak dijital ikizler. *Journal of Polytechnic*. 24(2), 691-701.
- Kurzweil, R. (2016). *İnsanlık 2.0: Tekilliğe doğru biyolojisini aşan insan* (çev. M. Şengel). Türkiye: Alfa Bilim, (Eserin orijinali 2005’de yayımlandı), 23-24.
- Kusiak, A. (2017). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 508-517.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. and Feld, T. (2014). Industry 4.0. *Business&Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242.
- Laney, D. (2001). *3D data management: controlling data volume, velocity, and variety*. Technical Report, Meta Group, USA.
- Lee, J., Kao, H. and Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16 (2014), 3–8.
- Lee, J., Jun, S., Chang, T-W. and Park, J. (2017). A smartness assessment framework for smart factories using analytic network process. *Sustainability*, 9(5), 794-809.
- Leiner, B.M., Cerf, V.G., Clark, D.D., Kahn, R.E., Kleinrock, L., Lynch, D. C., Postel, J., Roberts, L. G. and Wolff, S.S. (1997). The past and future history of the internet. *Communications of the Association for Computing Machinery*, 40(2), 102-108.
- Leineweber, S., Wienbruch, T., Dominik, L. And Dieter, K. (2018). Concept for an evolutionary maturity based Industrie 4.0 migration model. *Procedia CIRP*, 72(2018), 404-409.
- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T. and Forstnhäusler, S. (2016). SIMMI 4.0 – A maturity model for classifying the enterprise-wide IT and software landscape focusing on Industry 4.0. *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, 8(2016), 1297–1302.

- Leyh, C., Schäffer, T., Bley, K. and Forstenhäusler, S. (2017). Assessing the IT and software landscapes of Industry 4.0-enterprises: the maturity model SIMMI 4.0. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 277(2017),103-119.
- Leyh, C., Schäffer, T., Bley, K. and Bay, L. (2017). The application of the maturity model SIMMI 4.0 in selected enterprises. *23rd Americas Conference on Information Systems*, Boston, USA.
- Li, J., Li, J. and Li, H. (2008). Research on software process improvement model based on CMM. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 39(2008), 368-371.
- Licklider, J. C. and Clark, W. (1962). *On-line man-computer communication*. Spring joint computer conference. Cambridge ve Los Angeles: Association for Computing Machinery, 113-128.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E. and Schröter, M. (2015). IMPULS - Industrie 4.0- Readiness; *Impuls-Stiftung des Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau*, Aachen-Köln, 2015.
- Lorenz, M., Rüßmann, M., Strack, R., Lueth, K. and Bolle, M. (2015). Man and machine in Industry 4.0: how will technology transform the industrial workforce through 2025?; *The Boston Consulting Group*, Boston.
- Madakam, S., Ramaswamy, R. and Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 3(3), 164-173.
- McAfee, A. and Brynjolfsson, E. (2012). Big Data: the management revolution. *Harvard Business Review*, 90(10), 60–68.
- McDonald, R. P. and Ho, M.-H. R. (2002). Principles and practice in reporting structural equation analyses. *Psychological Methods*, 7(1), 64–82.
- Montgomery, D.C. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (8. Edition), USA: John Wiley&Sons Inc.
- Moore, G. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38(8), 114-118.
- Morris, I. (2017). *Dünyaya neden batı hükmediyor (şimdilik) (çev. G. Çağalı Güven)*. İstanbul:Alfa Yayınları, (Eserin orijinali 2010’da yayımlandı).
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2011). The NIST definition of cloud computing; *National Institute of Standards and Technology*, USA.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2017). The NIST definition of cloud computing; *National Institute of Standards and Technology*, USA.
- Nordmann, A. (2009). European Experiments. *Science and National Identity*, 24(1), 278-302.
- Official Journal of the European Union. (2018). Council regulation (eu) establishing the european high performance computing joint undertaking; *European Union*, Brussel.

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2013a). *Exploring data-driven innovation as a new source of growth: mapping the policy issues raised by "bigdata"*. Paris: OECD Publishing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2013b). *Beyond industrial policy: emerging issues and new trends*, Paris: OECD Publishing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2015a). *Enabling the next production revolution: the future of manufacturing and services -interim report*. Paris: OECD Publishing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2015b). *Data-driven innovation big data for growth and well-being*. Paris: OECD Publishing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2017). *The next production revolution implications for governments and business*. Paris: OECD Publishing.
- O'Sullivan, E. (2011). *A review of international approaches to manufacturing research*. University of Cambridge Institute for Manufacturing, Cambridge, United Kingdom.
- Özdamar, K. (2010). *Paket programlari ile istatiksel veri analizi 2*. Ankara: Kaan Kitabevi.
- Peppard, J. and Ward, J. (2016). *The strategic management of information systems: building a digital strategy* (Fourth Edition). UK: Wiley.
- Pfeiffer, S. (2016). Robots, Industry 4.0 and humans, or why assembly work is more than routine work. *Societies*, 6(2), 16.
- Plattform Industrie 4.0. (2019). Key themes of Industrie 4.0 Research and development needs for successful implementation of Industrie 4.0; Plattform Industrie 4.0, Munich.
- Plattform Industrie 4.0. (2015). Umsetzungsstrategie Industrie 4.0, *Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*, Munich.
- Pöppelbuß, J. , Röglinger, M. (2011). *What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management*. European Conference on Information Systems, Helsinki, Finland.
- PricewaterhouseCoopers (PwC). (2016). Global Industry 4.0 Survey: Building the digital enterprise; *PricewaterhouseCoopers*, London.
- President's Council of Advisors on Science and Technology. (2011). Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing; *President's Council of Advisors on Science and Technology, Executive Office of the President*, Washington, DC.
- President's Council of Advisors on Science and Technology. (2012). Capturing domestic competitive advantage in advanced manufacturing; *President's Council of Advisors on Science and Technology, Executive Office of the President*, Washington, DC.

- Rajagopal P. (2002). An innovation-diffusion view of implementation of ERP systems and development of a research model. *Information & Management*, 40 (2), 87-114.
- Rayes, A., Salam S. (2019). *Internet of things from hype to reality the road to digitization*. Springer Nature, Switzerland.
- Raykov, T., and Marcoulides, G. A. (2006). *A first course in structural equation modeling* (Second Edition). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1-9.
- Reinsel, D., Gantz, J. and Rydning, J. (2017). Data age 2025: The evolution of data to life-critical don't focus on big data; focus on the data that's big; *IDC White Paper*, International Data Corporation-IDC, Needham, USA.
- Reischauer, G. (2018). Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. *Technological Forecasting & Social Change*, 132(2018), 26-33.
- Reischauer, G. and Leitner, K. H. (2016). Innovation 4.0: wie das innovationspotenzial von industrie 4.0 analysiert werden kann. *Austrian Management Review*, 6(2016), 76-83.
- Rifkin, J. (2015). *Nesnelerin interneti ve işbirliği çağı* (çev. L. Göktem). İstanbul: Optimist Yayınları. (Eserin orijinali 2010'da yayımlandı).
- Robot Revolution Realization Council (RRRC). (2015). *Japan's robot strategy*. Vision, Strategy, Action Plan, Robot Revolution Realization Council, METI, Japan.
- Rockwell Automation. (2014). *The connected enterprise maturity model*. USA: Rockwell Automation.
- Rostow, W. (2012). Sanayi devrimi nasıl başladı. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*, 30 (1-4), 255-278.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., Harnisch, M. and Justus, J. (2015). Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries; *Boston Consulting Group*, Boston, 9.
- Sabancı Üniversitesi. (2017). Sanayide dijitalleşme çalıştay taslak rapor; *Sabancı Üniversitesi*, İstanbul.
- Santucci, G. (2010). *The Internet of Things: Between the Revolution of the Internet and Metamorphosis of Objects*. Vision and Challenges for Realising the Internet of Things. In H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess and S. Woelffle (Eds.). Luxembourg: Publication Office of European Union. European Commission Information Society and Media Divisions, 11-25.
- Saaty, T. L. (2004). Decision making – the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal Of Systems Science And Systems Engineering*, 13(1), 1-35.
- Saaty, T. L. and Vargas, L.G. (2012). *Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process* (Second Edition). Springer, Switzerland.
- Schreiber, J. B., Nora, A., Stage, F. K., Barlow, E. A. and King, J. (2010). Reporting structural equation modeling and confirmatory factor analysis results: a review. *The Journal of Educational Research*, 99(6), 323-338.

- Schumacher, A., Erol, S. and Sihni, W., (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52(2016), 161-166.
- Schumacker, R.E. and Lomax, R.G. (2010). *A beginners guide to structural equation modeling* (Third Edition). New York: Routledge Taylor & Francis Group, 1-11.
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business cycles a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Schwab, K. (2017). *Dördüncü sanayi devrimi* (çev. Z. Dicleli). İstanbul: Optimist. (Eserin orijinali 2016'da yayımlandı).
- Scremin, L., Armellini, F., Brun, A. and Solar-Pelletier, L. (2018). *Towards a framework for assessing the maturity of manufacturing companies in Industry 4.0 adoption*. Analyzing the Impacts of Industry 4.0 in Modern Business Environments, Chapter: 12. IGI-Global, 224-254.
- Silver, M. S., Markus, M. L., and Beath, C. M. (1995). The information technology interaction model: a foundation for the MBA core course. *MIS Quarterly*, 19(3), 361-390.
- Spearman, C. (1904). "General intelligence," objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15(2), 201-293.
- Stapleton, C. D. (2014). *Basic concepts and procedures of confirmatory factor analysis*. Annual Meeting of the Southwest Educational Research Association, Austin, TX.
- Stevens, J. P. (2002). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Association.
- Tabachnick, B. G. and Fidel, L. S. (2014). *Using multivariate statistics*. USA: Pearson Education Limited.
- Taymaz, E. (2018). Dijital Teknolojiler ve Ekonomik Büyüme Raporu; *Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği*, TÜSİAD-T/2018, 10-600.
- Thompson, B. (2000). Ten commandments of structural equation modeling. In L. G. Grimm and P. R. Yarnold (Eds.), *Reading and understanding more multivariate statistics*. Washington, DC: American Psychological Association, 261-283.
- Toksoy, M. (2019). *Moore yasası, teknolojik tekillik ve prekarya*. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir: Türkiye.
- Tolio, T., Copani, G. And Terkaj, W. (2019). *Factories of the future the Italian flagship initiative*, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG.
- Tonta, Y. (1999). Bilgi toplumu ve bilgi teknolojisi. *Türk Kütüphaneciliği*, 13(4), 363-375.
- Tonta, Y. ve Küçük, M. E. (2005). *Main dynamics of the transition from industrial society to information society*. Proceedings of the Third International Symposium on "Society, Governance, Management and Leadership Approaches in the Light of the Technological Developments and the Information Age". Ankara: The Turkish

General Staff Directorate of Military History, Strategic Studies and Inspection Publications.

- Topçu, O. (2015). Akıllı Otonom Sistemler. *Deniz Kuvvetleri Dergisi*. 622(2015), 18-25.
- Tseng, M.M. and Jiao, J. (2001). *Mass customization*. In book: Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management (Third Edition), USA: John Wiley & Sons, 684-709.
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı. (2016). Yeni sanayi devrimi akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası; *TÜBİTAK*, Ankara.
- Türk Standardları Enstitüsü (TSE). (2014). Bulut bilişim güvenlik ve kullanım standardı (Taslak); *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TÜSİAD. (2017). Türkiye'nin sanayide dijital dönüşüm yetkinliği; *Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği*, TÜSİAD-T/2017, 12-589.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023); *Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı*, Ankara.
- Urbach, N. and Ahlemann, F. (2010). Structural equation modeling in information systems research using partial least squares. *Journal of Information Technology Theory and Application*, 11(2), 5-40.
- Uskarcı, A. (2017). *Continuous Process Improvement In Software Organizations Utilizing Maturity Models*. Doktora Tezi. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Vrchota, J. and Pech, M. (2019). Readiness of enterprises in Czech Republic to implement Industry 4.0: index of Industry 4.0. *Applied Sciences*, 9(24):5405.
- Walters, D. and Rainbird, M. (2007). *Strategic operations management: a value chain approach*. New York: Palgrave Macmillan.
- Wang, S., Wan, J., Li, D. And Zhang, J. (2016). Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016(4), 1-10.
- Wang, Y., Kung, LA. and Byrd, T.A. (2018). Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 126(C), 3-13.
- Warwick, K. (2013). *Beyond industrial policy: emerging issues and new trends*. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 2, OECD Publishing, Paris.
- WEF (World Economic Forum). (2015). Industrial internet of things: unleashing the potential of connected products and services; *WEF Industry Agenda*, Switzerland.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21 st century. *Scientific American*, 265 (3):94-104.
- White House Office of Science and Technology Policy. (2016). The national artificial intelligence research and development strategic plan; *White House*, Washington DC.

- Wright, S. (1918). On the nature of size factors. *Genetics*, 3(4), 367–374.
- Wübbeke, J., Meissner, M., Zenglein, M.J., Ives, J. and Conrad, B. (2016). Made in China 2025. The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries. (No. 2), MERICS Papers on China; *Mercator Institute for China Studies*, Berlin, Germany.
- Yılmaz, V. ve Varol, S. (2015). Hazır yazılımlar ile yapısal eşitlik modellemesi: AMOS, EQS, LISREL. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Üniversitesi Dergisi*, 44(2015), 28-44.
- Yıldız, A. (2014). Kurumsal yönetim endeksi ve Altman Z skoruna dayalı lojistik regresyon yöntemiyle şirketlerin kredi derecelendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(3), 71-89.
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 546-556.
- Yin, Y., Stecke, K. E. and Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861.
- Zhuang, C., Liu, J. and Xiong, H. (2018). Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96 (2018), 1149–1163.
- İnternet: Bersin, J., Zao-Sanders, M. (2020). HBR Boost Your Teams Data Literacy. <https://hbr.org/2020/02/boost-your-teams-data-literacy>. Son Erişim Tarihi: 15.12.2020.
- İnternet: Bledowski, K. (2015): The Internet of Things: Industrie 4.0 vs. the Industrial Internet. MAPI Foundation. <https://www.mapi.net/research/publications/industrie-4-0-vs-industrial-internet>. Son Erişim Tarihi: 16.12.2020.
- İnternet: Columbus, L. (2016). Roundup of internet of things forecasts and market estimates 2016. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2016/11/27/roundup-of-internet-of-things-forecasts-and-market-estimates-2016/?sh=38d8a586292d>. Son Erişim Tarihi: 16.12.2020.
- İnternet: Evans, P.C. ve Annunziata, M. (2012). Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines. file:///C:/Users/TECHNO/AppData/Local/Temp/Industrial_Internet.pdf. Son Erişim Tarihi: 16.12.2020.
- İnternet: Gartner IT Glossary. <http://www.gartner.com/itglossary/big-data/>. Son Erişim Tarihi: 12.20.2020.
- İnternet: KPMG (2016). *Bilgi teknolojileri olgunluk modelleri ve kurumsal performans yönetimi*. KPMG Türkiye. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/05/tr-bt-olgunluk.pdf>. Son Erişim Tarihi: 02.07.2021.

- İnternet: McKinsey. (2016). The Need to Lead in Data and Analytics. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-need-to-lead-in-data-and-analytics>. Son Erişim Tarihi: 15.12.2020.
- İnternet: McKinsey. (2020). Future of Work Turkey. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-in-turkey>. Son Erişim Tarihi: 15.12.2020.
- İnternet: PMBOK Guide. (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge, <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok>. Son Erişim Tarihi: 15.12.2020.
- İnternet: Press, G. (2017). Predictions For The \$203 Billion Big Data Analytics Market. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2017/01/20/6-predictions-for-the-203-billion-big-data-analytics-market/?sh=1bc527702083>. Son Erişim Tarihi: 12.20.2020.
- İnternet: PEW Foundation. (2014). *AI, robotics and the future of jobs*. www.pewinternet.org/2014/08/06/future-of-jobs/. Son Erişim Tarihi: 06.07.2021.
- İnternet: Şen, S. (2019). Yapısal eşitlik modellemesi. TED üniversitesi sunumu. URL: <https://sedatsen.files.wordpress.com/2019/04/sem-teorik-sunum.pdf>. Son Erişim Tarihi: 15.12.2020.
- İnternet: TeleManagement Forum (TMF). (2014). eTOM. <http://tmforumturkey.blogspot.com/2014/05/business-process-framework-etom.html>. Son Erişim Tarihi: 15.12.2020.
- İnternet: Türk Dil Kurumu, <https://sozluk.gov.tr/?kelime=%20devrim>. Son Erişim Tarihi: 15.12.2020.
- İnternet: Vodafone Business. (2018). Insight into the latest IoT updates. Vodafone Group. file:///C:/Users/TECHNO/Downloads/Vodafone_2017_Barometer_Main_Report.pdf. Son Erişim Tarihi: 10.10.2020.
- İnternet: World Economic Forum. (2020). Jobs of Tomorrow Mapping Opportunity in the New Economy Report. http://www3.weforum.org/docs/WEF_Jobs_of_Tomorrow_2020.pdf. Son Erişim Tarihi: 15.12.2020.



EKLER

EK-1. Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi

Endüstri 4.0 Anket Çalışması

Sayın Yetkili,

Bu anket Prof. Dr. Serpil EROL danışmanlığında, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı'nda yürütülen "Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli" konulu doktora tezinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Bu çalışma ile ankete katılan firmalardan elde edilen veriler ışığında firmaların Endüstri 4.0 yolunda hangi seviyede oldukları analiz edilecektir. Ankette sizden yetkili olduğunuz firma hakkında bilgiler istenecektir. Ankette ticari bilgilerinizi elde etmeye yönelik sorular bulunmamaktadır. Bu ankete katılımınız gönüllülük temelindedir. Toplanan tüm bilgiler anonimdir ve gizli tutulacaktır. Vermiş olduğunuz bilgiler ve cevaplar hiç kimse ile paylaşılmayacaktır.

Ankete katıldığınız için teşekkürler.

Esra Kumaş

Gazi Üniversitesi Bilişim Sistemleri Enstitüsü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı
Doktora Adayı

Kuruluş Adı (Zorunlu değil):

Your answer

Kuruluş Yılı:

Your answer

İl:

Your answer

EK-1. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi

Faaliyet Kapsamınızı Belirtiniz.

- ☐ Ulusal
- ☐ Uluslararası
- ☐ Her ikisi

Endüstri 4.0'ın firma içinde farkındalık ve bilinme düzeyini belirtiniz.

- | | | | | | | |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Yok | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | Çok Yüksek |

Firmanızda Endüstri 4.0 ile ilgili tanımlı bir stratejik hedef bulunmakta mıdır?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Firmanızda Endüstri 4.0 stratejisine yönelik belirlenmiş hedeflerin düzeyini belirtiniz.

- | | | | | | | |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Yok | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | Çok Yüksek |

Firmanızda Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanma düzeyini belirtiniz (Stratejik hedefiniz yoksa bu soruyu boş bırakınız).

- | | | | | | | |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Yok | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | Çok Yüksek |

EK-1. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi

Firmanızda Endüstri 4.0 için bütçeden ayrılan payın düzeyini belirtiniz (Stratejik hedefiniz veya bir yol haritanız yoksa bu soruyu boş bırakınız).

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Firmanızda Endüstri 4.0 stratejisinin uygulandıktan sonra gözden geçirilme düzeyini belirtiniz. (Stratejik hedefiniz yok veya uygulanmıyorsa bu soruyu boş bırakınız)

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Endüstri 4.0 bağlamında çalışanlarınızın yeteneklerini değerlendiriniz.

	Yok	Yetersiz	Yeterli	Yüksek	Çok Yüksek
Yazılım	☐	☐	☐	☐	☐
Donanım	☐	☐	☐	☐	☐
Veri Analizi	☐	☐	☐	☐	☐
İş Geliştirme	☐	☐	☐	☐	☐
Proje Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Yapay Zeka	☐	☐	☐	☐	☐

EK-1. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi

Yeni teknolojilere yapılacak yatırımlara yönelik bütçenin düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Firmanızda bilişim sistemlerini etkin olarak kullanma düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Firmanızda bulunan veritabanı yönetim sisteminin kullanım etkinlik düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Üretmiş olduğunuz ürünlere ait verilerin kullanım düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Firma içinde farklı birimlerde üretilen verinin entegrasyon düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

EK-1. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi

İşletme içerisinde elde edilen verilerin analiz edilme düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

İşletme içerisinde elde edilen verilerin iş süreçlerinde kullanım düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Verilerin stratejik karar almada kullanılma düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Firma içerisindeki süreçlerde verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilme düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Üretim sürecinin dijital ağlarla entegrasyon düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

EK-1. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi

Firmanızda makineler arası iletişimin düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Firma içerisinde bulunan makinelerin bağımsız karar verebilme ve hareket edebilme düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Firma içerisinde bulunan makinelerin BİT tarafından kontrol edilebilme düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Firma içerisinde üretilen ürünlerin sensörle hareket edebilme düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Üretilen ürünlerin kendini yönlendirebilme düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her zaman

EK-1. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi

Firma içersindeki süreçlerde sensör ve aktüatör kullanım düzeyini belirtiniz.						
	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Üretim sürecinin sensörlerle takip edilebilme düzeyini belirtiniz.						
	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Veri elde etmek için ürünün sahip olduğu ek fonksiyonların düzeyini belirtiniz.						
	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Tedarikçilerinizle olan iletişimin entegrasyon düzeyini belirtiniz.						
	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Müşterilerinizle olan iletişimin entegrasyon düzeyini belirtiniz.						
	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

EK-1. (devam) Endüstri 4.0 olgunluk endeksi anketi

Müşterilerinizden geri bildirim alma düzeyinizi belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Müşterilerden alınan geri bildirimlerin iş süreçlerinde kullanım düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

Çoklu satış kanallarının kullanım düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

Çoklu satış kanallarından müşterilerle etkileşim kurma düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Hiçbir Zaman	☐	☐	☐	☐	☐	Her Zaman

İşletme fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayan yazılımların kullanım düzeyini belirtiniz.

	1	2	3	4	5	
Yok	☐	☐	☐	☐	☐	Çok Yüksek

EK-2. Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

DATE: 7/ 9/2020
TIME: 21:59

L I S R E L 8.80

BY

Karl G. Jöreskog & Dag Sörbom

This program is published exclusively by
Scientific Software International, Inc.
7383 N. Lincoln Avenue, Suite 100
Lincolnwood, IL 60712, U.S.A.
Phone: (800)247-6113, (847)675-0720, Fax: (847)675-2140
Copyright by Scientific Software International, Inc., 1981-2006
Use of this program is subject to the terms specified in the
Universal Copyright Convention.
Website: www.ssicentral.com

Sample Size = 149

Latent Variables AUT AU AS O T S

Relationships

O11 = 0

O12 = 0

O21 = 0

O22 = 0

O31 = 0

T11 = T

T21 = T

T31 = T

T32 = T

T33 = T

T35 = T

T41 = T

T51 = T

T61 = T

T62 = T

T71 = T

AUT1 = AUT

AUT2 = AUT

AUT3 = T

AUT4 = AUT

AUT5 = AUT

AUT6 = AUT

AU1 = AU

AU2 = AU

AU3 = AU

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

```

AU4 = AU
AU6 = AU
AU7 = T
AU8 = AS
AS1 = AS
AS2 = AS
AS3 = AS
AS4 = AS
AS5 = AS
AS6 = AS
AS7 = AS
AS8 = AS
AS9 = AS
AS10 = AS
S11 = S
S12 = S
S21 = S
S31 = S
S41 = S
S51 = S
AUT = T
AU = T
AS = T
T = 0
0 = S
Set the Variance of S to 1.00
Set the Error Variance of AUT to 1.00
Set the Error Variance of AU to 1.00
Set the Error Variance of AS to 1.00
Set the Error Variance of 0 to 1.00
Set the Error Variance of T to 1.00
Set the Error Covariance of 022 and 021 Free
Set the Error Covariance of T31 and T21 Free
Set the Error Covariance of AU2 and AUT5 Free
Set the Error Covariance of AS5 and AS4 Free
Set the Error Covariance of AS7 and AS6 Free
Set the Error Covariance of S12 and S11 Free
Path Diagram
End of Problem

```

Sample Size = 149

Covariance Matrix

	011	012	021	022	031	T11
011	1.31					
012	0.66	0.97				
021	0.75	0.60	1.23			
022	0.77	0.56	0.97	1.24		
031	0.63	0.45	0.40	0.47	0.96	
T11	0.64	0.55	0.59	0.54	0.74	1.47

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

T21	0.70	0.52	0.51	0.55	0.55	0.62
T31	0.70	0.46	0.69	0.65	0.58	0.68
T32	0.38	0.33	0.43	0.52	0.45	0.39
T33	0.56	0.44	0.59	0.59	0.56	0.75
T35	0.28	0.27	0.29	0.29	0.22	0.39
T41	0.60	0.57	0.75	0.55	0.50	0.80
T51	0.63	0.61	0.70	0.66	0.48	0.40
T61	0.64	0.60	0.70	0.55	0.57	0.83
T62	0.57	0.49	0.51	0.55	0.38	0.49
T71	0.69	0.39	0.60	0.63	0.51	0.71
AUT1	0.51	0.64	0.72	0.52	0.49	0.68
AUT2	0.48	0.33	0.41	0.43	0.34	0.48
AUT3	0.58	0.45	0.59	0.59	0.47	0.63
AUT4	0.51	0.51	0.75	0.62	0.33	0.58
AUT5	0.70	0.60	0.93	0.85	0.42	0.63
AUT6	0.68	0.68	0.89	0.85	0.43	0.65
AU1	0.64	0.45	0.74	0.71	0.41	0.65
AU2	0.58	0.48	0.76	0.70	0.35	0.45
AU3	0.68	0.56	0.84	0.66	0.47	0.68
AU4	0.74	0.65	0.90	0.72	0.52	0.77
AU6	0.39	0.27	0.27	0.22	0.32	0.43
AU7	0.52	0.44	0.57	0.58	0.44	0.69
AU8	0.41	0.37	0.31	0.27	0.43	0.48
AS1	0.61	0.48	0.58	0.64	0.73	0.81
AS2	0.54	0.48	0.62	0.63	0.46	0.59
AS3	0.76	0.61	0.81	0.75	0.60	0.61
AS4	0.41	0.33	0.35	0.37	0.41	0.48
AS5	0.31	0.30	0.25	0.25	0.31	0.51
AS6	0.57	0.30	0.58	0.52	0.42	0.64
AS7	0.66	0.37	0.60	0.57	0.46	0.64
AS8	0.40	0.30	0.46	0.39	0.20	0.37
AS9	0.49	0.59	0.57	0.59	0.39	0.55
AS10	0.42	0.39	0.44	0.47	0.38	0.51
S11	0.83	0.60	0.81	0.60	0.54	0.75
S12	0.64	0.52	0.61	0.43	0.45	0.59
S21	0.76	0.65	1.04	0.80	0.47	0.62
S31	0.76	0.66	0.96	0.80	0.42	0.54
S41	0.67	0.59	1.00	0.81	0.37	0.53
S51	0.66	0.62	0.93	0.71	0.41	0.55

Covariance Matrix

	T21	T31	T32	T33	T35	T41
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T21	1.31					
T31	1.04	1.34				
T32	0.44	0.42	1.41			
T33	0.79	0.78	0.53	1.30		
T35	0.34	0.36	0.39	0.43	1.11	
T41	0.63	0.68	0.39	0.88	0.47	1.76
T51	0.61	0.59	0.57	0.42	0.58	0.56
T61	0.73	0.79	0.49	0.91	0.57	1.31
T62	0.43	0.47	0.42	0.47	0.47	0.54
T71	0.93	0.95	0.60	0.97	0.38	0.66

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

AUT1	0.49	0.57	0.50	0.63	0.46	0.86
AUT2	0.63	0.58	0.23	0.60	0.17	0.63
AUT3	0.79	0.76	0.59	0.87	0.49	0.81
AUT4	0.57	0.53	0.38	0.74	0.35	0.77
AUT5	0.47	0.55	0.53	0.73	0.49	0.92
AUT6	0.54	0.66	0.56	0.88	0.54	1.09
AU1	0.59	0.49	0.39	0.64	0.57	0.83
AU2	0.47	0.46	0.55	0.62	0.54	0.78
AU3	0.53	0.55	0.43	0.70	0.48	1.02
AU4	0.69	0.73	0.60	0.99	0.66	1.04
AU6	0.51	0.49	0.34	0.47	0.49	0.49
AU7	0.70	0.66	0.49	0.87	0.47	0.91
AU8	0.45	0.45	0.38	0.51	0.17	0.52
AS1	0.92	0.98	0.56	0.79	0.46	0.53
AS2	0.61	0.65	0.37	0.88	0.52	0.88
AS3	1.11	1.23	0.51	0.84	0.34	0.81
AS4	0.46	0.46	0.49	0.59	0.25	0.58
AS5	0.33	0.30	0.29	0.52	0.16	0.48
AS6	0.67	0.63	0.29	0.47	0.49	0.78
AS7	0.74	0.64	0.33	0.64	0.38	0.82
AS8	0.41	0.53	0.27	0.41	0.39	0.52
AS9	0.69	0.69	0.44	0.74	0.28	0.69
AS10	0.63	0.66	0.29	0.79	0.42	0.73
S11	0.57	0.65	0.40	0.56	0.25	0.85
S12	0.35	0.44	0.32	0.34	0.27	0.70
S21	0.61	0.75	0.44	0.59	0.28	0.88
S31	0.55	0.64	0.46	0.52	0.31	0.85
S41	0.54	0.63	0.44	0.58	0.36	0.80
S51	0.55	0.59	0.44	0.51	0.37	0.79

Covariance Matrix

	T51	T61	T62	T71	AUT1	AUT2
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T51	2.19					
T61	0.57	1.65				
T62	0.80	0.52	0.99			
T71	0.50	0.76	0.40	1.36		
AUT1	0.56	0.96	0.48	0.41	2.14	
AUT2	0.40	0.75	0.31	0.58	0.64	1.30
AUT3	0.39	0.95	0.43	0.88	0.64	0.62
AUT4	0.63	0.78	0.53	0.62	0.69	0.55
AUT5	0.57	0.90	0.59	0.61	1.04	0.59
AUT6	0.64	1.07	0.75	0.72	0.97	0.65
AU1	0.55	0.74	0.65	0.59	0.68	0.50
AU2	0.71	0.67	0.52	0.59	0.59	0.43
AU3	0.46	0.98	0.66	0.67	0.70	0.52
AU4	0.66	1.00	0.70	0.98	0.75	0.50
AU6	0.42	0.52	0.42	0.44	0.52	0.32
AU7	0.64	1.03	0.47	0.81	0.65	0.57
AU8	0.34	0.60	0.25	0.40	0.47	0.29

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

AS1	0.64	0.65	0.52	0.83	0.81	0.54
AS2	0.54	0.97	0.58	0.62	0.88	0.85
AS3	0.81	0.86	0.42	1.00	0.72	0.75
AS4	0.36	0.56	0.41	0.56	0.46	0.40
AS5	0.06	0.49	0.29	0.38	0.31	0.48
AS6	0.86	0.88	0.32	0.51	0.84	0.78
AS7	0.81	0.86	0.27	0.69	0.72	0.84
AS8	0.42	0.42	0.47	0.40	0.64	0.44
AS9	0.54	0.83	0.41	0.64	0.73	0.66
AS10	0.34	0.82	0.43	0.54	0.58	0.47
S11	0.53	0.84	0.54	0.61	0.82	0.53
S12	0.49	0.74	0.55	0.38	0.69	0.32
S21	0.76	0.75	0.58	0.65	0.85	0.48
S31	0.81	0.80	0.52	0.52	0.78	0.49
S41	0.66	0.86	0.52	0.54	0.88	0.45
S51	0.78	0.74	0.54	0.50	0.82	0.41

Covariance Matrix

	AUT3	AUT4	AUT5	AUT6	AU1	AU2
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AUT3	1.29					
AUT4	0.60	1.53				
AUT5	0.73	1.11	1.86			
AUT6	0.69	1.11	1.39	1.97		
AU1	0.63	0.83	0.92	0.94	1.81	
AU2	0.60	0.84	1.21	1.01	0.97	1.56
AU3	0.62	0.89	0.97	1.16	0.90	0.93
AU4	0.86	0.93	1.11	1.29	1.08	1.14
AU6	0.49	0.38	0.39	0.47	0.38	0.37
AU7	0.76	0.87	0.82	0.91	0.90	0.56
AU8	0.48	0.25	0.26	0.38	0.34	0.19
AS1	0.67	0.58	0.60	0.49	0.59	0.64
AS2	0.70	0.85	0.95	1.25	0.85	0.68
AS3	0.86	0.70	0.82	0.68	0.68	0.80
AS4	0.55	0.32	0.41	0.57	0.45	0.28
AS5	0.46	0.30	0.32	0.44	0.29	0.32
AS6	0.65	0.59	0.65	0.56	0.54	0.42
AS7	0.72	0.66	0.65	0.63	0.41	0.47
AS8	0.41	0.42	0.47	0.63	0.56	0.40
AS9	0.67	0.69	0.78	0.81	0.64	0.50
AS10	0.72	0.54	0.61	0.69	0.69	0.43
S11	0.60	0.53	0.63	0.76	0.69	0.51
S12	0.41	0.40	0.47	0.62	0.43	0.30
S21	0.59	0.71	0.84	0.90	0.88	0.62
S31	0.55	0.67	0.85	0.88	0.92	0.68
S41	0.64	0.70	1.03	1.02	0.81	0.81
S51	0.55	0.61	0.75	0.76	0.84	0.57

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

Covariance Matrix

	AU3	AU4	AU6	AU7	AU8	AS1
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AU3	1.69					
AU4	1.36	1.97				
AU6	0.35	0.39	1.11			
AU7	0.73	0.87	0.45	1.73		
AU8	0.33	0.41	0.23	0.58	0.96	
AS1	0.46	0.71	0.54	0.53	0.45	2.04
AS2	0.94	0.95	0.52	0.95	0.66	0.66
AS3	0.54	0.82	0.41	0.81	0.54	1.10
AS4	0.49	0.61	0.38	0.71	0.46	0.36
AS5	0.40	0.49	0.40	0.39	0.42	0.45
AS6	0.51	0.42	0.43	0.83	0.43	0.46
AS7	0.61	0.59	0.38	0.83	0.46	0.55
AS8	0.70	0.82	0.46	0.43	0.09	0.35
AS9	0.54	0.65	0.39	0.82	0.54	0.75
AS10	0.58	0.78	0.37	0.93	0.68	0.63
S11	0.74	0.82	0.32	0.57	0.45	0.52
S12	0.61	0.59	0.28	0.38	0.43	0.42
S21	0.78	0.84	0.31	0.69	0.51	0.52
S31	0.72	0.80	0.30	0.70	0.54	0.49
S41	0.89	0.91	0.48	0.59	0.40	0.66
S51	0.70	0.70	0.29	0.62	0.48	0.53

Covariance Matrix

	AS2	AS3	AS4	AS5	AS6	AS7
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AS2	1.79					
AS3	0.75	2.62				
AS4	0.64	0.41	1.16			
AS5	0.51	0.22	0.63	1.26		
AS6	0.68	0.89	0.36	0.26	2.15	
AS7	0.76	0.85	0.43	0.35	1.88	2.11
AS8	0.52	0.30	0.34	0.07	0.31	0.26
AS9	0.87	0.78	0.43	0.42	0.59	0.63
AS10	0.99	0.69	0.55	0.39	0.53	0.52
S11	0.62	0.71	0.39	0.36	0.59	0.60
S12	0.54	0.38	0.31	0.24	0.44	0.43
S21	0.61	0.74	0.44	0.33	0.66	0.63
S31	0.68	0.73	0.40	0.24	0.63	0.58
S41	0.79	0.75	0.31	0.26	0.52	0.51
S51	0.59	0.61	0.34	0.22	0.63	0.57

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

Covariance Matrix

	AS8	AS9	AS10	S11	S12	S21
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AS8	1.86					
AS9	0.38	1.34				
AS10	0.42	0.91	1.37			
S11	0.48	0.53	0.42	1.51		
S12	0.37	0.40	0.33	1.12	1.36	
S21	0.64	0.62	0.46	1.16	1.00	2.12
S31	0.67	0.65	0.56	0.98	0.86	1.47
S41	0.56	0.70	0.58	0.79	0.69	1.22
S51	0.43	0.58	0.50	0.91	0.83	1.39

Covariance Matrix

	S31	S41	S51
	-----	-----	-----
S31	1.60		
S41	1.29	1.66	
S51	1.38	1.15	1.51

Number of Iterations = 43

LISREL Estimates (Maximum Likelihood)

Measurement Equations

O11 = 0.54*0, Errorvar.= 0.55 , R² = 0.58
 (0.058) (0.076)
 9.22 7.20

O12 = 0.44*0, Errorvar.= 0.47 , R² = 0.52
 (0.050) (0.062)
 8.67 7.51

O21 = 0.55*0, Errorvar.= 0.43 , R² = 0.65
 (0.056) (0.065)
 9.75 6.63

O22 = 0.51*0, Errorvar.= 0.55 , R² = 0.56
 (0.057) (0.076)
 8.95 7.17

O31 = 0.37*0, Errorvar.= 0.60 , R² = 0.37
 (0.051) (0.075)
 7.24 8.01

T11 = 0.43*T, Errorvar.= 0.86 , R² = 0.42
 (0.057) (0.10)
 7.51 8.29

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

T21 = 0.43*T, Errorvar.= 0.69 , R² = 0.48
 (0.054) (0.084)
 8.00 8.19

T31 = 0.45*T, Errorvar.= 0.67 , R² = 0.50
 (0.055) (0.082)
 8.19 8.15

T32 = 0.31*T, Errorvar.= 1.10 , R² = 0.23
 (0.055) (0.13)
 5.57 8.47

T33 = 0.50*T, Errorvar.= 0.45 , R² = 0.65
 (0.054) (0.058)
 9.29 7.77

T35 = 0.28*T, Errorvar.= 0.85 , R² = 0.24
 (0.049) (0.100)
 5.76 8.46

T41 = 0.53*T, Errorvar.= 0.81 , R² = 0.54
 (0.063) (0.100)
 8.51 8.08

T51 = 0.36*T, Errorvar.= 1.75 , R² = 0.20
 (0.069) (0.21)
 5.28 8.49

T61 = 0.56*T, Errorvar.= 0.59 , R² = 0.64
 (0.061) (0.075)
 9.23 7.80

T62 = 0.33*T, Errorvar.= 0.63 , R² = 0.36
 (0.047) (0.075)
 7.04 8.35

T71 = 0.47*T, Errorvar.= 0.62 , R² = 0.54
 (0.055) (0.077)
 8.52 8.07

AUT1 = 0.46*AUT, Errorvar.= 1.35 , R² = 0.37
 (0.067) (0.17)
 6.85 8.08

AUT2 = 0.32*AUT, Errorvar.= 0.91 , R² = 0.30
 (0.052) (0.11)
 6.19 8.22

AUT3 = 0.47*T, Errorvar.= 0.54 , R² = 0.58
 (0.054) (0.068)
 8.79 7.99

AUT4 = 0.48*AUT, Errorvar.= 0.67 , R² = 0.56
 (0.058) (0.091)
 8.33 7.44

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

AUT5 = 0.57*AUT, Errorvar.= 0.60 , R² = 0.67
 (0.062) (0.091)
 9.28 6.61

AUT6 = 0.61*AUT, Errorvar.= 0.59 , R² = 0.70
 (0.066) (0.091)
 9.15 6.42

AU1 = 0.47*AU, Errorvar.= 0.96 , R² = 0.47
 (0.062) (0.12)
 7.67 7.81

AU2 = 0.47*AU, Errorvar.= 0.73 , R² = 0.53
 (0.055) (0.097)
 8.47 7.55

AU3 = 0.53*AU, Errorvar.= 0.61 , R² = 0.64
 (0.061) (0.087)
 8.82 6.98

AU4 = 0.63*AU, Errorvar.= 0.47 , R² = 0.76
 (0.067) (0.083)
 9.39 5.68

AU6 = 0.22*AU, Errorvar.= 0.93 , R² = 0.16
 (0.047) (0.11)
 4.61 8.43

AU7 = 0.50*T, Errorvar.= 0.87 , R² = 0.49
 (0.062) (0.11)
 8.15 8.17

AU8 = 0.25*AS, Errorvar.= 0.57 , R² = 0.40
 (0.041) (0.071)
 6.14 8.03

AS1 = 0.33*AS, Errorvar.= 1.39 , R² = 0.32
 (0.058) (0.17)
 5.64 8.21

AS2 = 0.41*AS, Errorvar.= 0.78 , R² = 0.56
 (0.060) (0.10)
 6.83 7.51

AS3 = 0.38*AS, Errorvar.= 1.78 , R² = 0.32
 (0.066) (0.22)
 5.67 8.21

AS4 = 0.25*AS, Errorvar.= 0.79 , R² = 0.32
 (0.044) (0.096)
 5.66 8.20

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

AS5 = 0.20*AS, Errorvar.= 1.02 , R² = 0.19
 (0.044) (0.12)
 4.61 8.40

AS6 = 0.29*AS, Errorvar.= 1.65 , R² = 0.23
 (0.058) (0.20)
 5.00 8.35

AS7 = 0.31*AS, Errorvar.= 1.54 , R² = 0.27
 (0.058) (0.19)
 5.32 8.29

AS8 = 0.20*AS, Errorvar.= 1.62 , R² = 0.13
 (0.051) (0.19)
 3.87 8.48

AS9 = 0.36*AS, Errorvar.= 0.58 , R² = 0.57
 (0.052) (0.077)
 6.86 7.46

AS10 = 0.37*AS, Errorvar.= 0.57 , R² = 0.58
 (0.053) (0.077)
 6.91 7.40

S11 = 0.84*S, Errorvar.= 0.81 , R² = 0.46
 (0.090) (0.098)
 9.30 8.27

S12 = 0.73*S, Errorvar.= 0.82 , R² = 0.39
 (0.087) (0.099)
 8.38 8.35

S21 = 1.22*S, Errorvar.= 0.63 , R² = 0.70
 (0.098) (0.082)
 12.50 7.67

S31 = 1.21*S, Errorvar.= 0.13 , R² = 0.92
 (0.077) (0.031)
 15.67 4.20

S41 = 1.05*S, Errorvar.= 0.56 , R² = 0.66
 (0.088) (0.072)
 11.92 7.84

S51 = 1.13*S, Errorvar.= 0.24 , R² = 0.84
 (0.078) (0.038)
 14.53 6.31

Error Covariance for 022 and 021 = 0.22
 (0.057)
 3.91

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

Error Covariance for T31 and T21 = 0.39
(0.068)
5.74

Error Covariance for AU2 and AUT5 = 0.38
(0.072)
5.30

Error Covariance for AS5 and AS4 = 0.33
(0.082)
4.01

Error Covariance for AS7 and AS6 = 1.34
(0.18)
7.55

Error Covariance for S12 and S11 = 0.51
(0.082)
6.20

Structural Equations

AUT = 0.90*T, Errorvar.= 1.00, R² = 0.73
(0.14)
6.66

AU = 0.91*T, Errorvar.= 1.00, R² = 0.74
(0.14)
6.67

AS = 1.22*T, Errorvar.= 1.00, R² = 0.83
O = 1.28*S, Errorvar.= 1.00, R² = 0.62
(0.17)
7.58

T = 0.94*O, Errorvar.= 1.00, R² = 0.70
(0.14)
6.75

Reduced Form Equations

AUT = 1.09*S, Errorvar.= 2.55, R² = 0.32
(0.18)
6.14

AU = 1.10*S, Errorvar.= 2.57, R² = 0.32
(0.18)
6.15

AS = 1.47*S, Errorvar.= 3.79, R² = 0.36
(0.27)
5.52

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

O = 1.28*S, Errorvar.= 1.00, R² = 0.62
 (0.17)
 7.58

T = 1.20*S, Errorvar.= 1.89, R² = 0.43
 (0.18)
 6.61

Correlation Matrix of Independent Variables

S

 1.00

Covariance Matrix of Latent Variables

	AUT	AU	AS	O	T	S
AUT	3.73					
AU	2.75	3.78				
AS	3.67	3.70	5.94			
O	2.25	2.26	3.02	2.63		
T	3.02	3.04	4.06	2.48	3.34	
S	1.09	1.10	1.47	1.28	1.20	1.00

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 934
 Minimum Fit Function Chi-Square = 1815.44 (P = 0.0)
 Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 1829.05 (P = 0.0)

Degrees of Freedom = 934
 Minimum Fit Function Chi-Square = 1815.44 (P = 0.0)
 Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 1829.05 (P = 0.0)
 Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 895.05
 90 Percent Confidence Interval for NCP = (777.49 ; 1020.38)

Minimum Fit Function Value = 12.27
 Population Discrepancy Function Value (F0) = 6.05
 90 Percent Confidence Interval for F0 = (5.25 ; 6.89)
 Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.080
 90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.075 ; 0.086)
 P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.00

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 13.72
 90 Percent Confidence Interval for ECVI = (12.93 ; 14.57)
 ECVI for Saturated Model = 13.99
 ECVI for Independence Model = 165.85

Chi-Square for Independence Model with 990 Degrees of Freedom = 24456.41
 Independence AIC = 24546.41
 Model AIC = 2031.05
 Saturated AIC = 2070.00
 Independence CAIC = 24726.58
 Model CAIC = 2435.45
 Saturated CAIC = 6214.08

Normed Fit Index (NFI) = 0.93
 Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.96
 Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.87
 Comparative Fit Index (CFI) = 0.96
 Incremental Fit Index (IFI) = 0.96
 Relative Fit Index (RFI) = 0.92

Critical N (CN) = 85.58

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.13
 Standardized RMR = 0.081
 Goodness of Fit Index (GFI) = 0.85
 Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.91
 Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.85

The Modification Indices Suggest to Add the			
Path to	from	Decrease in Chi-Square	New Estimate
T33	O	10.3	-0.27
T51	O	12.4	0.56
T62	O	9.5	0.29
T71	AUT	9.3	-0.26
AUT2	AS	19.2	0.29
AUT2	T	11.8	0.37
AU6	AS	15.7	0.26
AU6	T	19.5	0.48
AU7	AS	8.6	0.35
AU8	AUT	15.4	-0.27
AU8	AU	11.1	-0.23
AS2	AUT	16.1	0.34
AS8	AU	15.7	0.43
AS10	O	13.0	-0.30
AS10	T	10.3	-0.48
AUT	AU	17.0	0.58
AU	AUT	17.0	0.58

EK-2. (devam) Ölçüm modeli LISREL SIMPLIS kodları ve çıktı dosyası

The Modification Indices Suggest to Add an Error Covariance			
Between	and	Decrease in Chi-Square	New Estimate
AU	AUT	17.0	0.58
O31	O21	12.7	-0.15
T11	O31	22.8	0.30
T21	O21	11.7	-0.12
T41	O22	9.3	-0.15
T61	O22	8.6	-0.13
T61	T41	35.3	0.37
T62	T51	22.4	0.42
T71	T33	19.6	0.21
T71	T41	11.0	-0.21
AUT1	T71	8.0	-0.23
AUT3	T71	8.9	0.15
AUT6	AUT3	8.2	-0.16
AU2	T51	9.1	0.26
AU4	AU3	10.7	0.24
AU6	AU4	9.3	-0.21
AS1	O31	12.5	0.28
AS1	AUT6	8.5	-0.25
AS2	AUT6	17.0	0.28
AS3	T31	11.7	0.26
AS3	T71	8.3	0.26
AS3	AS1	8.6	0.40
AS6	T33	12.1	-0.14
AS6	AU1	11.1	0.20
AS6	AU4	9.1	-0.14
AS7	AU1	13.2	-0.21
AS9	O12	8.4	0.14
AS10	AU7	9.7	0.20
AS10	AU8	9.6	0.16
AS10	AS9	11.1	0.19
S12	T62	9.7	0.15
S31	AS8	8.6	0.15

Time used: 0.438 Seconds

EK-3. AHP uzman görüşü uygulama formu

Analitik Hiyerarşi Prosesi Uzman Değerlendirme Formu

Sayın yetkili,

Bu formun amacı, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren firmalarda Endüstri 4.0 seviyelerinin ölçülebilmesi için uzman görüşünden faydalanmaktır. Sizden Endüstri 4.0 için belirlenen 6 boyutun birbirlerine göre önem derecelerini ikili kıyaslamalarla belirlemeniz istenecektir. Kıyaslamaların değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılacaktır. Bir boyutun diğer boyuta göre önemini belirlerken lütfen belirtilen ölçeği kullanınız.

Not: Her uzman formu doldurmadan önce uygulamanın yapılma yöntemi, ölçekler ve analiz yönetimi ile ilgili telefonla ya da yüzyüze bilgilendirilecektir.

.....

Lütfen aşağıdaki formu satırlarla sütunları kıyaslayacak şekilde ve ölçeğe uygun olarak önem derecelerini yazarak doldurunuz. Gri alanlar doldurulmayacaktır.

(1: Eşit Derecede önemli; 3: Biraz önemli; 5: Oldukça Önemli; 7: Çok Daha Önemli; 9: Son derece önemli)

2,4,6,8: Önem tercihiniz yukarıdaki iki ölçek arasında kalmış ise bu ara değerlerden uygun geleni kullanabilirsiniz)

Boyutlar	Strateji Yönetimi	Organizasyon Yönetimi	Teknoloji Yönetimi	Akıllı Üretim	Akıllı Ürün	Akıllı Süreç
Strateji Yönetimi	1					
Organizasyon Yönetimi		1				
Teknoloji Yönetimi			1			
Akıllı Üretim				1		
Akıllı Ürün					1	
Akıllı Süreç						1

EK-4. AHP boyut ağırlıkları hesaplama sonuçları

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	5	3	3	3	3
Organizasyon	0,2	1	1	1	1	1
Teknoloji	0,333333333	1	1	3	3	1
Akıllı Ürün	0,333333333	1	0,333333333	1	0,3333333	0,333333333
Akıllı Üretim	0,333333333	1	0,333333333	3	1	1
Akıllı Süreç	0,333333333	1	1	3	1	1

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	0,333333333	5	0,333333333	0,3333333	0,2
Organizasyon	3	1	3	0,333333333	3	0,142857143
Teknoloji	0,2	0,333333333	1	5	5	3
Akıllı Ürün	3	3	0,2	1	1	0,2
Akıllı Üretim	3	0,333333333	0,2	1	1	0,2
Akıllı Süreç	7	5	0,333333333	5	5	1

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	5	3	3	3	3
Organizasyon	0,2	1	3	3	3	1
Teknoloji	0,333333333	0,333333333	1	5	5	3
Akıllı Ürün	0,333333333	0,333333333	0,2	1	0,3333333	3
Akıllı Üretim	0,333333333	0,333333333	0,2	3	1	0,333333333
Akıllı Süreç	0,333333333	1	0,333333333	0,333333333	3	1

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	3	1	1	1	1
Organizasyon	0,333333333	1	1	3	3	1
Teknoloji	1	1	1	3	3	1
Akıllı Ürün	1	0,333333333	0,333333333	1	0,3333333	0,333333333
Akıllı Üretim	1	0,333333333	0,333333333	3	1	1
Akıllı Süreç	1	1	1	3	1	1

EK-4. (devam) AHP boyut ağırlıkları hesaplama sonuçları

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	3	3	3	3	3
Organizasyon	0,33333333	1	3	3	3	1
Teknoloji	0,33333333	0,2	1	3	3	3
Akıllı Ürün	0,33333333	0,33333333	0,33333333	1	0,33333333	1
Akıllı Üretim	0,33333333	0,33333333	0,33333333	3	1	0,33333333
Akıllı Süreç	0,33333333	1	0,33333333	1	3	1

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	3	5	5	5	5
Organizasyon	1/3	1	3	3	3	3
Teknoloji	1/5	1/3	1	5	5	3
Akıllı Ürün	1/5	1/3	1/5	1	1/3	1/3
Akıllı Üretim	1/5	1/3	1/5	3	1	1
Akıllı Süreç	1/5	1/3	1/3	3	1	1

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	3	3	5	5	5
Organizasyon	0,33333333	1	3	3	3	3
Teknoloji	0,33333333	0,33333333	1	3	5	5
Akıllı Ürün	0,2	0,33333333	0,33333333	1	0,33333333	0,2
Akıllı Üretim	0,2	0,33333333	0,2	3	1	0,33333333
Akıllı Süreç	0,2	0,33333333	0,2	5	3	1

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,33333333
Organizasyon	3	1	3	0,33333333	0,33333333	1
Teknoloji	3	0,33333333	1	3	3	0,33333333
Akıllı Ürün	3	3	0,33333333	1	0,33333333	3
Akıllı Üretim	3	3	0,33333333	3	1	0,33333333
Akıllı Süreç	3	1	3	0,33333333	3	1

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	1	1	3	3	1
Organizasyon	1	1	0,33333333	1	1	1
Teknoloji	1	3	1	3	3	1
Akıllı Ürün	0,33333333	1	0,33333333	1	0,33333333	0,33333333
Akıllı Üretim	0,33333333	1	0,33333333	3	1	1
Akıllı Süreç	1	1	1	3	1	1

EK-4. (devam) AHP boyut ağırlıkları hesaplama sonuçları

Geometrik Ortalaması Alınmış Karşılaştırma Matrisi;

	Strateji	Organizasyon	Teknoloji	Akıllı Ürün	Akıllı Üretim	Akıllı Süreç
Strateji	1	1,825381367	2,06237239	1,825381367	1,825381367	1,52647705
Organizasyon	0,547830726	1	1,841057547	1,44224957	1,841057547	1,02831735
Teknoloji	0,484878485	0,513195424	1	3,556893304	3,764616133	1,724661037
Akıllı Ürün	0,547830726	0,693361274	0,281144222	1	0,376610321	0,547830726
Akıllı Üretim	0,547830726	0,543166074	0,265631333	2,655264456	1	0,513195424
Akıllı Süreç	0,680058337	0,936777365	0,57982408	1,825381367	1,948575442	1
3,808429001 5,511881504 6,030029572 12,30517007 10,75624081 6,340481587						

Normalize Edilmiş Matris;

Strateji	0,2625754 61	0,3311720 99	0,3420169 61	0,1483426 36	0,1697043 98	0,240750 96	0,24909 4
Organizasyon	0,1438469 05	0,1814262 51	0,3053148 46	0,1172067 97	0,1711618 01	0,162182 85	0,18019
Teknoloji	0,1273171 92	0,0931071 22	0,1658366 66	0,2890568 18	0,3499936 64	0,272007 89	0,21622
Akıllı Ürün	0,1438469 05	0,1257939 37	0,0466240 2	0,0812666 54	0,0350131 92	0,086402 07	0,08649 1
Akıllı Üretim	0,1438469 05	0,0985445 85	0,0440514 15	0,2157844 58	0,0929692 83	0,080939 5	0,11268 9
Akıllı Süreç	0,1785666 31	0,1699560 06	0,0961560 92	0,1483426 36	0,1811576 62	0,157716 73	0,15531 6
3,8084290 5,5118815 6,0300295 12,305170 10,756240 6,340481 01 04 72 07 81 59							
Sütun Toplamı	1	1	1	1	1	1	1

Tutarlılık;

n	6
λ_{max}	6,526648116
CI	0,105329623
RI	1,24
CR	0,084943245

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KUMAŞ, Esra
Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece

Doktora

Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi /Yönetim Bilişim Sistemleri A.B.D.

Mezuniyet Tarihi

Devam Ediyor

Yüksek lisans

Kırıkkale Üniversitesi /Endüstri Mühendisliği 2010
A.B.D.

Lisans

Kırıkkale Üniversitesi /Endüstri Mühendisliği 2004

İş Deneyimi

2008-2015: Kalkınma Bakanlığı-Bağımsız Dış Uzman

2013: İstanbul Kalkınma Ajansı- Bağımsız Dış Uzman

2016: Sivil Toplumla İlişkiler Genel Müdürlüğü- Bağımsız Dış Uzman

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Kumaş, E. ve Erol, S.. (2021). Endüstri 4.0’da Anahtar Teknoloji Olarak Dijital İkizler.
Journal of Polytechnic, 24(2), 691-701.



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..