

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İŞLETMELERİN ENDÜSTRİ 4.0'A HAZIRLIK VE OLGUNLUK  
SEVİYELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TUBA AKCAN**

**DENİZLİ, KASIM - 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**İŞLETMELERİN ENDÜSTRİ 4.0'A HAZIRLIK VE OLGUNLUK  
SEVİYELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TUBA AKCAN**

**DENİZLİ, KASIM - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

TUBA AKCAN tarafından hazırlanan “İşletmelerin Endüstri 4.0’a Hazırlık ve Olgunluk Seviyelerinin İncelenmesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.11.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

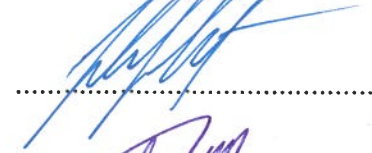
Danışman  
Prof.Dr.Aşkıner Güngör



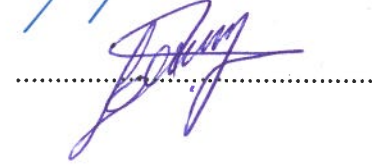
Eş Danışman

YOK

Üye  
Pamukkale Üniversitesi Doç.Dr.Olcay Polat



Üye  
Yaşar Üniversitesi Doç.Dr.Banu Yetkin Ekren



Üye

.....

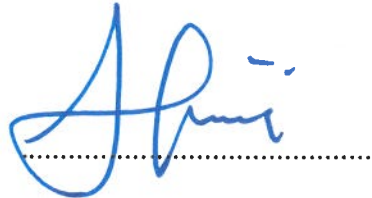
Üye

.....

Üye

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
18/12/2019 tarih ve 50/17 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**TUBA AKCAN**

**İMZA**



## ÖZET

### İŞLETMELERİN ENDÜSTRİ 4.0'A HAZIRLIK VE OLGUNLUK SEVİYELERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUBA AKCAN

### PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR.AŞKİNER GÜNGÖR)

DENİZLİ, KASIM - 2019

4. Sanayi Devriminin ortaya çıkması ile birlikte işletmelerin Endüstri 4.0'a ulaşabilmeleri için kendilerini hazırlamaları ve çeşitli önlemler almaları gerekmektedir. Ancak öncesinde, Endüstri 4.0'a ne kadar yakın olduklarını bilmeleri önemlidir. Bu tez kapsamında literatüre dayalı olarak geliştirilen değerlendirme ölçeği ile farklı sektörlerden katılımcılarla yapılan anket çalışmaları sonucunda sektörlerin ortalama Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi belirlenmiştir. Sektör karşılaştırmalarına bakıldığında Akıllı Operasyonlar, sektörlerarası Endüstri 4.0 puan sonuçlarında sonucu en düşük çıkan boyut olmuştur. Literatüre benzer şekilde otomotiv sektörünün olgunluk seviyesi diğer sektörler göre yüksek, tekstil sektörünün seviyesi ise diğer sektörler göre daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, tezde bir işletmenin Endüstri 4.0'a ulaşabilmesi için hangi boyutlara ve projelere odaklanması gerektiğini önceliklendirmek için alternatif projeler arasından belirlenmiş olan fayda, maliyet, zaman ve mevcut Endüstri 4.0 puan kriterleri dikkate alınarak TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. TOPSIS ile yapılan değerlendirme sonucunda, alternatif projeler sıralamasında Strateji ve Organizasyon ile ilgili projeler ilk iki sırada yer almıştır. Önerilen tezin, Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinde işletmelere ve bu alana ilgi gösteren araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Endüstri 4.0; TOPSIS; Akıllı Fabrika; Nesnelerin İnterneti; Büyük Veri; Olgunluk Seviyesi

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF THE READINESS AND THE MATURITY LEVELS OF COMPANIES FOR INDUSTRY 4.0**

**MSC THESIS**

**TUBA AKCAN**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**INDUSTRIAL ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROFESSOR, AŞKINER GÜNGÖR)**

**DENİZLİ, NOVEMBER 2019**

With the surfacing of the 4. Industrial Revolution, enterprises need to prepare themselves and take various measures to reach Industry 4.0. But first of all, it is important that they know how close they are to Industry 4.0. Within the scope of this thesis, the average Industrial 4.0 maturity level of the sectors was determined as a result of the survey studies conducted with the participants from different sectors with the evaluation scale developed based on the literature. Looking at sector comparisons, Smart Operations was the lowest dimension in the results of Industry 4.0 points among sectors. Similar to the literature, the maturity level of the automotive sector was higher than that of other sectors and the level of textile sector was lower than that of other sectors. In addition, TOPSIS method has been used by taking into consideration the criteria of benefit, cost, time and existing Industry 4.0 points among the alternative projects in order to prioritize which dimensions and projects a company should focus on in order to reach Industry 4.0. As a result of the evaluation made with TOPSIS, projects related Strategy and Organization took the first two places in the ranking of alternative projects. The proposed thesis is thought to contribute to enterprises and researchers interested in this field during the Industry 4.0 transformation process.

**KEYWORDS:** Industry 4.0; TOPSIS; Smart Factory; Internet of Things; Big Data; The Maturity Level

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>8</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b> .....	<b>12</b>
<b>3. ENDÜSTRİ 4.0 VE ETKİLERİ</b> .....	<b>20</b>
3.1 Endüstri 4.0 Temel Bileşenleri .....	20
3.2 Endüstri 4.0'ın Türkiye'ye ve Sektörlere Olası Etkileri.....	24
<b>4. ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK SEVİYESİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>26</b>
4.1 Endüstri 4.0 Aksiyon Maddeleri .....	28
4.2 IMPULS Model Boyutları .....	32
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>37</b>
5.1 Tezde Ele Alınan Olgunluk Seviyesi Modeli .....	37
5.2 TOPSIS Yöntemi.....	45
<b>6. UYGULAMA VE BULGULAR</b> .....	<b>48</b>
6.1 Sektörlerin Endüstri 4.0 Sonuçları .....	60
6.1.1 Tekstil Sektörü .....	65
6.1.2 Otomotiv Sektörü.....	66
6.1.3 Elektrik ve Elektronik, Enerji Sektörü.....	69
6.1.4 Metal ve Maden Sektörü .....	70
6.1.5 Gıda Sektörü .....	70
6.1.6 Diğer Sektörler.....	71
6.2 Endüstri 4.0 Projelerinin Önceliklendirilmesi .....	72
<b>7. TARTIŞMA</b> .....	<b>81</b>
<b>8. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>88</b>
<b>9. KAYNAKLAR</b> .....	<b>92</b>
<b>10. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>96</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.2: Dijital Dönüşüm Yaklaşımı (Bechtold ve diğ., 2014) .....	17
Şekil 6.1: Tüm Sektörlerin Demografik Sonuçları .....	52
Şekil 5.2: Endüstri 4.0 Boyutlarının Önem Puanları.....	53
Şekil 6.3: Endüstri 4.0 Boyutlarının Önem Puanları Kutu Diyagramı .....	55
Şekil 6.4: Endüstri 4.0 Boyutlarının Önem Puanları Nokta Grafiği .....	55
Şekil 6.5: Sektörlerin Hesaplanan Endüstri 4.0 Seviyeleri .....	63
Şekil 6.6: Tüm Sektörlerin Boyut Bazında Önem Dereceleri.....	63
Şekil 6.7: Tekstil Sektörünün Demografik Sonuçları .....	65
Şekil 6.8: Otomotiv Sektöründe Katılımcıların Cinsiyet Dağılımları.....	67
Şekil 6.9: Elektrik ve Elektronik, Enerji Sektöründe Cinsiyet Dağılımları .....	69
Şekil 6.10: Metal, Maden Sektöründe Katılımcıların Cinsiyet Dağılımları.....	70
Şekil 6.11: Gıda Sektöründe Cinsiyet Dağılımları.....	71
Şekil 6.12: Diğer Sektörlerin Demografik Sonuçları.....	72
Şekil 7.1 : Tüm Sektörlerin Tüm Boyutlar Bazında Kutu Diyagram Gösterimi	84
Şekil 7.2 : Sektörler Arası Farklılıkta Varyansların Homojenlik Testi.....	85



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 4.1: Yeni Gelenler için aksiyon maddeleri (Olgunluk Seviyesi 0 ve 1). 29	
Tablo 4.2: Öğrenenler için aksiyon maddeleri (Lichblau ve diğ., 2015). .... 30	
Tablo 4.3: Liderler için aksiyon maddeleri (Lichblau ve diğ., 2015). .... 31	
Tablo 4.4: Strateji ve Organizasyon Boyutu (Lichblau ve diğ., 2015). .... 32	
Tablo 4.5: Akıllı Fabrika Boyutu (Lichblau ve diğ., 2015). .... 33	
Tablo 4.6: Akıllı Operasyonlar Boyutu (Lichblau ve diğ., 2015). .... 34	
Tablo 4.7: Akıllı Ürünler Boyutu (Lichblau ve diğ., 2015). .... 35	
Tablo 4.8: Çalışanlar boyutu (Lichblau ve diğ., 2015). .... 35	
Tablo 4.9: Veri güdümlü hizmetler boyutu (Lichblau ve diğ., 2015). .... 36	
Tablo 5.1: Endüstri 4.0 Modelleri ..... 39	
Tablo 5.2: Tezde Önerilen Model ..... 41	
Tablo 5.2 (devam) ..... 42	
Tablo 5.2 (devam) ..... 43	
Tablo 5.2 (devam) ..... 44	
Şekil 6.1: Tüm Sektörlerin Demografik Sonuçları ..... 52	
Tablo 6.1: Sektörlerin Çalışan Sayısı Dağılımları ..... 53	
Tablo 6.2: Boyut Puanlarının Ortalama ve Standart Sapma Değerleri ..... 54	
Tablo 6.3: Anket Sorularının İstatistiksel Çıktıları ..... 57	
Tablo 6.4: Tanımlayıcı İstatistikler 1 ..... 59	
Tablo 6.5: Anova Çıktısı 2 ..... 60	
Tablo 6.6: Sektörlerin Boyut Bazında Endüstri 4.0 Sonuçları ..... 62	
Tablo 6.7: Tanımlanan Projeler ..... 73	
Tablo 6.10: Alternatif Projelerin Kriter Puanları ..... 75	
Tablo 6.12: İdeal Uzaklıklar Tablosu ..... 77	
Tablo 6.13: Negatif İdeal Uzaklıklar Tablosu ..... 78	
Tablo 7.1: Tukey Test Sonuçları ..... 86	
Tablo 7.2: Sektörlerarası Farklılıklarda İstatistiksel Tanımlayıcılar ..... 86	
Tablo 7.3: Tukey Testinde Gruplama ..... 87	

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>BT</b>	:	Elektronik ve bilgi teknolojileri
<b>RAMI 4.0</b>	:	Endüstri 4.0 Referans Mimari Model
<b>CPS</b>	:	Siber Fiziksel Sistemler
<b>SaaS</b>	:	Hizmet Olarak Yazılım
<b>IaaS</b>	:	Hizmet Olarak Altyapı
<b>PaaS</b>	:	Hizmet Olarak Platform
<b>NI</b>	:	Nesnelerin İnterneti
<b>RFID</b>	:	Radyo Frekans Tanımlanması
<b>AGV</b>	:	Otomatik Yönlendirmeli Araçlar
<b>M2M</b>	:	Makine ile Makine İletişimi
<b>M2H</b>	:	Makine ile İnsan İletişimi
<b>PLM</b>	:	Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi
<b>ERP</b>	:	Kurumsal Kaynak Planlama
<b>IT</b>	:	Bilgi Teknolojileri
<b>IMPULS</b>	:	Hazırlık Seviyesi Değerlendirme Modeli
<b>5C</b>	:	Siber Fiziksel Sistemler
<b>CPS</b>	:	Siber Fiziksel Sistemler
<b>TOPSIS</b>	:	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
<b>DEMATEL</b>	:	The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, son zamanlarda trend haline gelen Endüstri 4.0 ve dijitalleşmeye giden yolda işletmelerin Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerinin belirlenmesi analizi yapılmıştır. Sektör bazlı kıyaslamaların olması literatüre sektörler arası karşılaştırmaları istatistiksel araçlarla kazandırması ile çalışmaya yeni bir boyut katmıştır. Hayatım boyunca her zaman arkamda olan ve bana desteklerini eksik etmeyen biricik aileme ve ablama en içten sevgilerimi sunarım. Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca manevi desteği ile her zaman yanımda olan sayın hocam Prof. Dr. Aşkîner Güngör'e, Doç.Dr.Banu Yetkin Ekren'e, Doç.Dr. Olcay Polat'a ve anket çalışmasına katılan tüm işletmelere minnetlerimi sunarım.

## 1. GİRİŞ

Endüstri Devrimlerinin başlangıcı olan Birinci Sanayi Devrimi İngiltere’de ortaya çıkmıştır. İlk olarak kıta Avrupa’sına sonra da tüm dünyaya yayılarak aletli üretimin yerine makinalı üretimin, atölye üretiminin yerine de fabrika üretiminin geçmiş olduğu devrimdir. Birinci Sanayi Devrimi ikili sınıfsal yapıyı ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda Birinci Sanayi Devriminin sonucu olarak ekonomiler için büyümeyi olanaklı kılmakla sonuçlanmıştır (Alçın, 2016).

Endüstri Devriminin başlangıcından bugüne kadar, endüstriyel verimlilikte büyük bir artış gösteren üç temel aşamanın olduğu gözükmektedir. Fabrikalarda buhar gücüyle çalışan makinalar 18. yüzyılın sonlarına doğru fabrikalarda yer almaya başlamıştır. Elektrik enerjisi ile seri üretimin yapılması 20.yüzyılın başında görülmektedir. Elektronik ve bilgi teknolojileri (BT) ile birlikte sanayide otomasyonun kullanımının artışının ise 1970’lerden itibaren olduğu görülmektedir.

1760 ve 1830 yılları arasındaki dönemde etkisini gördüğümüz Birinci Endüstri Devrimi, İngiltere’de dokuma tezgahlarının mekanikleşmesiyle etki etmeye başladı. Bu kapsam doğrultusunda odunun yerine maden kömürünün ve buharın kullanılması ile hareket gücünün arttırılması ile birlikte, makineleşmeyi ve üretimin fabrikalara taşınması sonucunun ortaya çıktığı gözükmektedir. Birinci Endüstri Devrimi, tekstil gibi hafif sanayiden sonra, teknolojik gelişmelerin ortaya çıkması ve üretim konusundaki bilgi birikiminin çoğalmasıyla ile birlikte ağır sanayiye de etki etmiştir (SIEMENS, 2016).

Henry Ford’un otomobil fabrikasında uygulanan ve II. Dünya Savaşı sonrası dönemde (Keynesyen harcamacı politikaların etkisiyle) yaygın olan kitlesel üretim çağı ile birlikte II. Sanayi Devriminin başlangıcı oluşmuştur. Bu dönem Fordizm olarak tanımlanmaktadır. Bu dönemdeki üretimin önemli bir özelliği olarak kayan bant sistemidir. Bu sistemin sayesinde tek tipe dayalı kitlesel üretim gerçekleştirilebilmiştir. Fordizmin kitlesel üretim sistemini ülkeler üretimlerinde ana strateji olarak kullanmışlardır. Bu durum 60’lı yılların sonlarına kadar benimsenmiştir (Alçın, 2016).

Tüketici tercihlerinde oluşan çeşitlilik ve rekabetin artması ile birlikte fordizmin sunmuş olduğu tek kalıp üretim zorluk çekmeye başlamış ve 1973 petrol krizi sonunda bu sistem çökmüştür (Alçın, 2016).

1970'lerden başlayarak günümüze kadar etkisini gösteren dönem Üçüncü Endüstri Devrimidir. İkinci Dünya Savaşından sonra elektronik, bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimi ile birlikte üretimde otomasyonlar gerçekleştirildi. Programlanabilir PLC'lerin gelişmesi sonucunda üretimde otomasyon bir sonraki aşamalara taşındı. Birinci Endüstri Devrimi üretimin makineleşmesi, İkinci Endüstri Devrimi üretimin serileşmesi, Üçüncü Endüstri Devrimi üretimin otomasyonu ve sayısallaşması olarak yerini aldı. Bu gelişmelerin yanı sıra, siber-fiziksel sistemler, Nesnelerin ve Hizmetlerin İnterneti gibi etmenlerin eklenmesi ile birlikte Dördüncü Endüstri Devrimi başlamış oldu (SIEMENS, 2016).

Endüstri 4.0 önemi gün geçtikçe artan bir konu haline gelmektedir. Almanya Hannover Fuarında ortaya atılan Endüstri 4.0 kavramı ülkelerin bu konuda çalışmalarına başlamasını sağlamıştır. Bu durum ülkelerin ve işletmelerin Endüstri 4.0 stratejilerini belirlemelerine yol açmıştır. Dijitalleşmeye yol açan 4. Endüstri Devrimi ile birlikte siber-fiziksel dünyalar, akıllı fabrikalar, akıllı robotlar, zenginleştirilmiş gerçeklik, eklemeli üretim, bulut, büyük veri ve analiz gibi kavramlar ortaya çıkmıştır. İşletmelerin Endüstri 4.0'ı yakalayabilmek adına Endüstri 4.0 için yol haritalarını hazırlamaları ve stratejilerini belirlemeleri, bu stratejilerini ise stratejik planlarına dahil ederek iyileştirmeler yapmaları gerekmektedir. İşletmelerin Endüstri 4.0 stratejilerini belirleyebilmeleri için hazırlık seviyelerini tespit etmeleri önemlidir. Endüstri 4.0 hazırlık seviyesinin tespiti için literatürde çeşitli modeller önerilmektedir. Önerilen bu modeller içerisinde IMPULS modeli ayrıntılı olarak ele alınmış ve uygulama aşamasında uyarlanarak kullanılmıştır. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın ayırt edici özelliklerinden konu içerisinde bahsedilmiş ve sanayideki uygulamalardan örnekler verilmiştir.

Şirketlerin Endüstri 4.0'ı yakalayabilmeleri ve dijitalleşmeleri adına hazırlık yapmaları gerekmektedir. Endüstri 4.0 ile birlikte işgücü profillerinde değişiklikler meydana gelecektir. Tekrarlı ve manuel yapılan işlerin robotlar tarafından yapılması ile birlikte işler standardize edilecektir. Buradaki işgücü başka alanlara kaydırılabilecek ve robotların fabrikalarda daha fazla yer alması ile birlikte oluşan veriyi yönetebilecek, analiz edebilecek, güvenliğini sağlayacak profilde işgücü olması gerekliliği doğacaktır. Bu durumda çalışan yetkinlikleri değişecek ve şirketlerin bunun için işgücü planlamaları yapmaları gerekecektir. Çalışan yetkinliklerinin değişmesi de o iş için gerekli olan eğitim düzeyinin ve içeriğinin değişmesine neden olacaktır.

Endüstri 4.0 ile gelen değişiklikler sonucunda işgücü profillerinde değişikliklerin olması işletmelerin işgücü profillerini yönetebilmelerinin kritik olduğu ifade edilmektedir.

Elle yapılan işlerin robotlar sayesinde standart hale gelmesi ile işgücü yetkinliklerinin değişmesi ile işletmelerin eğitim planlarının da güncellenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Robotların daha fazla fabrika da yer alması ile oluşacak olan verinin analiz edilme ihtiyacı da oluşmaktadır. Endüstri 4.0'ın ortaya çıkması ile işletmelerin yetkin işgücü profillerine kaynak sağlamaları ve mevcut işgücü profillerinin yetkinliklerini geliştirme yönünde çalışmalar yapmaları gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında sektörlerin Endüstri 4.0'a yakınlığını tespit ederek sektörlerarası karşılaştırmalar yapmak ve örnek alınan bir işletmede Endüstri 4.0'ı yakalayabilmek adına hangi projelere odaklanması gerektiğini tespit etmek amaçlanmıştır. İşletmenin hangi projelere odaklanması gerektiği Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi kullanılarak projeler için seçim yapılmıştır. Sektörlerin ve tüm sektörlerin Endüstri 4.0 seviyeleri literatür araştırmaları ve uzman görüşlerinden gelen bilgiler neticesinde tezde bir değerlendirme ölçeği oluşturmak amaçlanmıştır.

Tezin organizasyonu Şu Şekildedir: Tezin birinci b6l6m6nde çalışmaya giriş ve 6nemli noktalara vurgu yapılmıştır. Bunun ardından End6stri 4.0 temel bileŐenlerine detaylı olarak yer verilerek tezde 6nerilen model ve IMPULS modeli detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca tezde 6nerilen model ile literat6rdeki modeller arasındaki farklılıklara deęinilmiŐtir. Tezin 3. B6l6m6nde End6stri 4.0 ve etkileri, 4. B6l6m6nde ise olgunluk seviyesi değerlendirme y6ntemleri açıklanmıştır. Ardından yapılan uygulama sistematik bir biçimde detaylı olarak anlatılmıştır. Çalışmanın sonuç kısmında ise genel değerlendirme ve çıkarımlar yapılarak sonuçlar ileride yapılabilecek çalıŐmalara ıŐık tutulmuŐtur.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Teknolojideki gelişmeler, endüstriyel verimlilikte artışı sağlayan üç temel aşamanın gerçekleşmesi ile sonuçlanmıştır. Fabrikalarda buhar gücüyle çalışan makineler 18. yüzyılın sonlarında kullanılmaya başlanmış ve 20. yüzyılın başında ise elektrik enerjisiyle seri üretim, 1970'lerden sonra ise elektronik ve bilgi teknolojileri ile sanayide otomasyon kullanımı yer almıştır. Günümüzde ise Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıktığı görülmektedir. Dünyanın geleceğini şekillendiren akımlar olarak; bölgesel akımlar, ekonomik akımlar, teknolojik akımlar ve meta akımlar gözükmemektedir. Demografik özellikler, tüketici eğilimleri, markalar, kapalı ve açık sistemler bölgesel akımları şekillendirmekte ve etkilemektedir. Ekonomik akımlar ise, ekonomi ve istihdam, e-ticaret, globalleşme, finansal hareketler ve yatırım olmak üzere alt kırılımlara ayrılmaktadır. Platformlar, yaşam bilimleri/sağlık ve enerji teknolojik akımları etkilemekte meta akımları ise, çevresel krizler, kıtlık, risk ve güvenlik, iş dünyasının rolü ve yönetim zorlukları etkilemektedir. Bu akımlar sensörlerin, üretim araçlarının ve bilgi teknolojilerinin birbirine bağlandığı sistemlere temel oluşturarak endüstriyel değer zinciri kavramını oluşturmaktadır. Bu yeni sistemler siber-fiziksel olarak ifade edilmektedir. Bu yeni sistem birbiriyle iletişim kurabilmekte, parametre tanımlaması yapabilmekte ve verileri analiz edebilmektedir. Bu sistemlerin yaygınlaşmasıyla daha hızlı ve daha kaliteli üretimin yapılması sağlanacaktır. Siber-fiziksel sistemlerin etkisi ile üretimde verimliliğin artması, sanayide büyümenin hız kazanması ve işgücü profillerinin değişmesi meydana gelecektir (TÜSİAD, 2016).

Üretim sistemindeki fiziksel bileşenlerin ve dijital bileşenlerin entegrasyonu olarak adlandırılan Siber Fiziksel Üretim Sistemlerinde sağlanan inovasyonla birlikte üretim operasyonlarında sağlanan kazanç çok büyük miktardadır (Hozdic, 2015). Siber-fiziksel sistemlerin yayılması Akıllı Fabrika kavramının ortaya çıkmasında etkili olmuştur. Geleneksel üretim sistemleri ile Akıllı Fabrikanın ürünlerini, kaynaklarını ve süreçlerini karşılaştırma yaptığımızda kalite, zaman, kaynak ve maliyet avantajı sağlaması açısından Akıllı Fabrika ürünleri Siber-Fiziksel Sistemler tarafından karakterize edilerek fark ortaya çıkmaktadır. Akıllı Fabrikaların tasarımında sürdürülebilirlik olmalı ve bu sürdürülebilirliği sağlayacak şekilde hizmete yönelik iş pratiklerine göre tasarım yapılmalıdır (Macdougall, 2016).



Akıllı Fabrikanın genel yapısının ne olduğu konusu ve teknik bileşenleri kapsayan operasyonel mekanizmalara çalışma içerisinde odaklanılmaktadır. Endüstriyel üretim yüksek oranda yenilemeyen kaynakları tüketmekte ve bunun sonucu olarak endüstride radikal bir değişime ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı Fabrika küresel zorluklarla başa çıkabilmek amacıyla sürdürülebilir üretimin uygulanmasına fayda sağlamaktadır (Wang ve diğ., 2016). Akıllı Fabrika bugünün pazarını karşılamada çeşitli endüstriyel ve endüstriyel olmayan partnerleri arasındaki köprü vazifesini sağlamak amacıyla esnek ve etkili bir yol sunmak amacıyla üretime çözüm getirdiğini vurgulamaktadır (Hozdic, 2015). Akıllı Fabrika ile birlikte Endüstri 4.0'da kullanılan herhangi basit, teknik, ekonomik iletişimin entegrasyonu ve dijitalleşiminden karmaşık teknik, ekonomik-kompleks ağlar, ürün ve hizmet önerilerinin sayısallaştırılması ve yeni pazar modelleri olmak üzere çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bütün bu insan aktiviteleri günümüzde birçok iletişim sistemleri tarafından birbirleriyle bağlantılı halde bulunmaktadır. Bu kapsamda en çok önerilen teknolojiler ise nesnelerin interneti, hizmetlerin interneti ve insanların interneti olarak gösterilmektedir (Zezulka, 2016). Nesnelerin İnterneti, Hizmetlerin İnterneti, Endüstriyel İnternet, İleri Üretim Teknolojisi ve Akıllı Fabrikalar ilgili terimler olarak Endüstri 4.0 ile birlikte uluslararası alanda tanımlanmaktadır (Koska ve diğ., 2017). Bu kavramlar endüstriyel ortamda ilgili birimlerin birbirleri ile entegreli olarak haberleşmesine ve bu haberleşme ile gerçek zamanlı olarak bütün verilere ulaşmaya imkan sağlamaktadır. Gerçek zamanlı olarak elde edilen bu verilerle endüstride en uygun katma değer sağlanmaktadır (SIEMENS, 2016).

Birbirleri ile entegreli haberleşme imkanı sayesinde üretim prosesleri, sistemlerin çeşitli ara yüzler üzerinden farklı ağlara bağlanılarak farklı servislerle iletişim kurmasını esas almaktadır. Birbirleri ile entegreli haberleşme imkanına örnek verilmesi gerekirse, akıllı telefonlarla internet bağlantısı sayesinde her yere kolaylıkla ulaşılabilir (SIEMENS, 2016).

Gün geçtikçe akıllı şehir uygulamasının artması ile nesnelerin interneti kavramı ortaya çıkmaktadır. Akıllı şehir uygulamalarından biri olarak New York'ta çöp kutularının kablosuz internet iletim noktası biçiminde tasarlanması nesnelerin internetinin kullanıldığını göstermektedir. Bu projenin sayesinde her bir çöp kutusu, saniyede 50-75 megabit hızında internet erişimi yapacaktır. New York Belediyesi ile çöpçülük uzmanı Bigbelly firmasının ortak olarak bu projeyi çıkarması ile mevcutta "akıllı" sayılabilecek bazı ek özellikleri de bünyelerinde bulunduracaktır. Güneş paneli takılı olan çöp kutularının bu özelliği ile güneş enerjisinden elde edeceği elektrik sayesinde, çöp kutusunun içindeki düzenek sayesinde çöp sıkıştırılır ve atık suyu kanalizasyona yollar. İnovatif çalışmalardan biri olan bu örnek dışında ayrıca, düzenli olarak her yıl gerçekleştirilen en inovatif şirketler çalışması Sanayi 4.0'ı birebir takip eden, izledikleri yenilikçi politikalarla Sanayi 4.0'a ivme kazandıran şirketler hakkında bilgi edinebilmeyi sağlamaktadır. İnovatif çalışmalardan bir diğeri de Festo tarafından robot teknolojisini geliştirmek için yaptıkları çalışmalar örnek olarak verilebilir. Festo, insanlar ve diğer canlı türlerindeki biyomimik hareketlerle özdeş hareket edebilen makinalarla ilgili çalışmalar yapmaktadırlar (EBSO, 2015).

Bir diğer çalışmada Bosch tarafından nesnelerin interneti kavramı ile akıllı ev ve ofis araçları, ileri endüstriyel yapılar, lojistik ve akıllı sistemler olmak üzere Endüstri 4.0 kapsamında çalışmalar gerçekleştirilmekte ve nesnelerin interneti sayesinde sistemler geliştirilmektedir. Örnek olarak, ev içerisine yerleştirilen sensörlerle internete bağlanılarak hava tahminleri konusunda bilgi sağlanılarak yağmur durumunda pencereler otomatik olarak kapatılmaktadır. Makineden makineye platformunu oluşturan Mitsubishi ise farklı makineler arasında bağlantı ve nesnelerin interneti üzerine çalışmaktadır. Bu kapsamda CNC ve robot teknolojilerinin birleştirilmesi Makineden Makinaya platformu için önemli bir detay olmaktadır. Bir diğer örnek olan Siemens ise, dijital-akıllı fabrika yapılanmasını ön planda tutarak ödül kazanan bir firmadır (EBSO, 2015).

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkması ile birlikte işletmeler Endüstri 4.0'a hazırlanmaya başlamaktadır. Kendilerini hazırlayabilmek için öncelikli olarak Endüstri 4.0'a ne kadar yakın olduklarını bilmeleri ve Endüstri 4.0 Hazırlık ve Olgunluk Seviyelerini tespit etmeleri gerekmektedir. Bu amaçla literatürde yapılan çalışmalardan birinde Endüstri 4.0'ın potansiyel kullanımını keşfedebilmek için kantitatif araştırma yöntemi uygulanmıştır. Endüstri 4.0'ın potansiyel kullanımını Endüstri 4.0'ın uygulamasının bireysel algılanan yeteneği olarak tanımlayarak çalışma içerisinde bir araştırma modeli geliştirilmiştir. Çalışmanın tasarımında altı hipotez kurulmuştur. Büyük veri ve bulut gibi mevcut teknolojilerin kullanımı Endüstri 4.0'ın bireysel potansiyelini anlamada etmen olmaktadır. Üstelik, müşteriye göre özelleştirme faktörü, üretim zamanında iyileştirmelerin ve atıl verinin kullanımının yanı sıra Endüstri 4.0'a kuvvetli olarak etki eden bir diğer faktördür. İş süreç karmaşıklığı faktörünün ise buna olumsuz etkisi vardır. Akademik çalışmanın sonuçları Endüstri 4.0'ın kullanımının anlaşılmasında fayda sağlamaktadır (Schmidt ve diğ., 2015). Bir diğer makalede ise ampirik yaklaşıma dayalı bir model önerilmiştir. Bu model ile endüstriyel girişimlerdeki Endüstri 4.0 olgunluk seviyesinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirmede dokuz boyutlu 62 kalem içeren bir model tanımlanmıştır. Modelde yer alan boyutlar; Ürünler, Müşteriler, Operasyonlar, Teknoloji, Strateji, Liderlik, Hükümet, Kültür ve İnsanlar boyutlarıdır (Schumacher ve diğ., 2016).

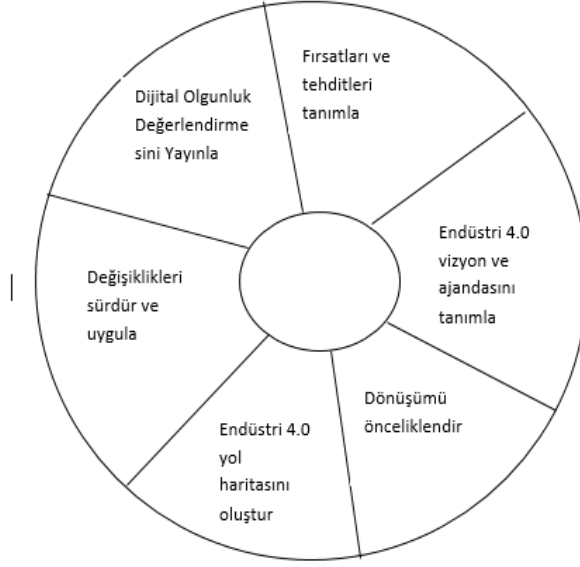
Sanayinin olgunluk seviyesinin tespiti ve mevcut durum değerlendirmesi yapılan çalışmada, Akıllı üretim sistemlerinin öncü ve kritik teknolojilerdeki mevcut durumunun ve gereksinimlerinin saptanması için TÜBİTAK tarafından Haziran 2016'da, ilgili teknolojik alanlarda TÜBİTAK'ın Ar-Ge desteğini alan hemen hemen 1000 özel sektör kuruluşuna kapsamlı bir anket uygulanmıştır. Anket, 5 bölüm olmak üzere özel sektör kuruluşlarının görüşlerini ve cevaplarını içerir.

Ankete yönelik yapılan analiz sonucunda bulunan bulgular şu şekildedir;

- Firmaların sadece % 22'si kapsamlı bir bilgiye sahiptir.
- Farkındalığı en yüksek olan 3 sektör olarak elektronik, yazılım ve malzeme olduğu görülmüştür.
- Firmaların yarısında gelecekteki 3-5 yılda ilgili teknolojilere entegre olma stratejilerinin bulunduğu görülmüştür.
- Sanayimizin olgunluk seviyesi Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 arasındadır.
- En çok katma değer sağlayacağı düşünülen üç teknoloji otomasyon ve kontrol sistemleri, ileri robotik sistemler ve eklemeli imalattır.
- Katma değer yüksek olacağı öngörülen sektörler ise; makine ve ekipman, bilgisayarlar ve optik ürünler, otomotiv ve beyaz eşya yan sanayidir.

Anket çalışmasıyla yapılan mevcut durum değerlendirmesi sonucunda kavram çalışması ve paydaşlarla yapılan çalıştayların çıktıları değerlendirilip çok katmanlı teknoloji yol haritası akıllı üretim sistemlerine yönelik olarak hazırlanmıştır (TÜBİTAK, 2017). Bir diğer çalışmada ise Endüstri 4.0 dijital dönüşümün temel adımları belirlenmiştir. Olgunluk seviyesinin değerlendirilmesi, fırsatların ve tehditlerin tanımlanması, Endüstri 4.0 vizyon ve stratejinin tanımlanması, önceliklendirme, Endüstri 4.0 yol haritasının çıkarılması, değişimi uygulama ve sürdürme Capgeminin dijital dönüşüm yaklaşımıdır (Bechtold ve diğ., 2014).

Üretim yapan firmalar dijital olgunluk seviyesi değerlendirmelerini ele almak durumundadırlar. Şirketler gelecekteki Endüstri 4.0 çevresinin nasıl ve ne şekilde şekilleneceğini anlamak durumundadırlar. Fırsat ve tehditlerin belirlenmesi ile birlikte değer üretilen temel alanları bulunmalıdır. Şirketlerin yapacağı analizlerle birlikte vizyonlarını geliştirmeleri gerekmektedir. Dönüşüm alanlarının önceliklendirilmesi şirketlere yol kazandıracaktır. Bazı alanları dönüştürmek diğer alanlara göre daha kolay olmaktadır. Dönüşüm alanlarını önceliklendirdikten sonra yol haritasının çıkarılması fazı gelmektedir. Yönetim, süreç sahipleri, BT'nin ortak eylemlerine dayalı olması gerekmektedir. Son faz olarak da uygulama ve sürdürme fazı Bechtold ve diğ., (2014) tarafından önerilmektedir. Değişimin sürekli kılınması şirket tarafından sağlanmalıdır. Şekil 1.2'de dijital dönüşüm yaklaşımının temel adımları gösterilmiştir (Bechtold ve diğ., 2014).



Şekil 1.2: Dijital Dönüşüm Yaklaşımı (Bechtold ve diğ., 2014).

Dijital dönüşümün sağlanması için dijital altyapı gereksinimi, liderlik ve değişim gereksinimi, çevik operasyonel modellemeye gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca organizasyonlar zayıf ve güçlü yanlarını geliştirmeye ihtiyaç duymaktadır. Dijital dönüşüm yaklaşımı hızlı bir süreç değildir fakat uzun süreli bir bağlılık ve stratejik bir gereklilik gerekmektedir. Bu dijital dönüşümde teknoloji destekleyicileri bulut, mobil cihazlar, 3D yazıcılar, M2M, ileri derecede robotlar, ileri derecede analitikler, iletişim platformlarıdır. Endüstri 4.0 ile birlikte üretim ortamı daha fazla dinamikleşmektedir. Bu durumda da üreticilerin operasyonel modelleri modüler olmalıdır.

Pazara giren yeni rakipler, ürün fırsatlarının hızlı bir şekilde ortaya çıkması ve teknolojiler pazardaki bulunan diğer rakiplerin hızlı olarak ortadan kaybolmasına neden olmaktadır. Bu durumdan dolayı şirketlerin Endüstri 4.0 için çalışmalarına başlamaları gerekmekte ve dijital dönüşüm yaklaşımlarını uygulamaları gerekmektedir. Şirketler çevikliği sürdürebilmek için işlerini organize etmeyi amaçlamalı ve temel çözüm ve süreçlerini organizasyonlarına entegre etmeleri gerekmektedir. Endüstri 4.0 üreticileri bunların iş modelleri üzerine tekrardan düşünmeleri için zorlamaktadır (Bechtold ve diğ. 2014).

Dijital dönüşümün yaşanması endüstriyel işgücünü nasıl etkileyeceği konusunu ortaya çıkarmıştır. Bu konuda yapılan bir çalışmada Almanya'daki üreticiler ele alınarak incelenmiştir. Endüstri 4.0'ın firmalara adapte edilmesi ile birlikte üreticilerin rekabet gücü artmakta ve aynı zamanda üretkenlik de artmaktadır.

Endüstri 4.0'ın adaptasyonu yeni ürün ve hizmetlerin pazara girmesiyle ve mevcut olan pazarların büyümesinden dolayı oluşan yüksek talebin karşılanabilmesi için yeni mesleklerin artmasını sağlayacaktır. Lorenz ve diğ., (2015) hazırlanan çalışmaya göre işgücü pazarının değerlendirilmesinde kalitatif yöntemin uzman tartışmalarının incelenmesinin yanı sıra kantitatif modelleme sonuçları kullanılmıştır. Endüstri 4.0'ın etkilerinin analizi on maddede incelenmiştir. Bunlar; büyük veri, kalite kontrol, robot destekli üretim, sürücüsüz lojistik araçlar, üretim hattı simülasyonu, akıllı tedarik ağı, önlem alıcı bakım, hizmet olarak bakım, kendi kendine organizasyonlu üretim, karmaşık parçaların eklemeli üretimi, artırılmış iş, bakım ve hizmet olarak ifade edilmektedir. Endüstri 4.0'ın Alman firmalarında yıllık %1 ek büyüme ortaya çıkaracağı ve bu teknolojilerin firmalara olan adaptasyonunun %50 oranında olacağı öngörülmektedir. Bu senaryoya göre Endüstri 4.0 yaklaşık olarak 350.000 iş artışına neden olacaktır (Lorenz ve diğ., 2015). Robotların kullanımı ile montaj ve üretimde işlerin sayısında yaklaşık 610.000 azalma meydana gelecektir. Ancak Endüstri 4.0'ın entegrasyonu ile birlikte 960.000 yeni iş imkanları ortaya çıkacaktır (Lorenz ve diğ., 2015). Bu iş kazançları IT, Arge ve analitik olarak ek 210.000 yüksek yetenekli işgücüne olan talebi arttıracaktır. IT ve veri entegrasyonunda çalışan sayısına hemen hemen 110.000 iş eklenecek ve bu oran bu kategorideki artışın % 96'sına gelecektir (Lorenz ve diğ., 2015).

Endüstri 4.0, endüstriyel veri bilimcisi ve robot koordinatörü olmak üzere yeni iş rollerini ortaya çıkaracak ve bu yeni işlerden biri olan endüstriyel veri bilimcisi üretim süreçlerini ve IT sistemlerini anlamalı, güçlü kök neden analizini kurabilmeli, korelasyonları tanımlayabilmeli ve sonuçları çizebilmelidir. Python gibi genel amaçlı kullanılan programlama dillerinin kullanımı ve R gibi istatistiksel programlama dillerinin kullanımı gerekmekte ve bundan dolayı şirketler çalışanlarını bu konuda eğitmeli, yeni iş ve organizasyon modellerini ayarlamalı ve stratejik işgücü planlaması yapmalıdırlar.

Endüstri 4.0, insanlar ve makinalar arasında yeni etkileşim yaratmaktadır. Gelecekte makine operatörleri farklı şirketlerde haftanın farklı günleri çalışabilecek, sonuç olarak tam zamanlı iş onlar tarafından sürdürülmüş olacaktır (Lorenz ve diğ., 2015).

Endüstri 4.0'ın işgücünü nasıl etkileyeceği dışında Endüstri 4.0'ın 600'den fazla Alman ve Amerikan firmalarına entegre edilmesinde ve uygulanmasında yaşanan ana zorlukların değerlendirilmesi konusunda da bir çalışma yapılmıştır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin her iki ülkede de uygulanması hemen hemen aynı tempoda olduğu gözükmektedir. Fakat, Alman şirketlerinin bu konuda daha iyi durumda olduğu ve daha çok tutkulu olduğu görülmektedir. Üreticiler açısından Alman şirketlerinin Amerikan girişimcilerine göre, Endüstri 4.0'ı uygulamada, uygulamayı planlamada ve ileri teknolojide daha tutkulu olduğu fark edilmiştir. Örnek verilecek olursa, uygulamada veya uygulamayı planlamada (gelecek 1 ya da 2 yıl içerisinde), dijital fabrika lojistiğinde Alman üreticilerinde yaklaşık % 60, Amerikan üreticilerinde yaklaşık %40'lık gibi bir oran bulunmaktadır. Endüstri 4.0 yeni yeteneklere ihtiyaç duyduğu için endüstriyel işgücüne bir etkisi vardır. Endüstri 4.0 bazı iş kategorilerinde kayba neden olurken bazı iş kategorilerinde kazanca neden olmaktadır. Her iki ülkedeki şirketlerin Endüstri 4.0'ı adapte edebilmek için önemli miktarda yatırım yapmaları gerekmektedir (Lorenz ve diğ., 2016).

Dijitalleşmenin gereklilikleri olan Endüstri 4.0 ile birlikte işletmelerin Endüstri 4.0'a yakınlıklarını bilmeleri ve kendilerini Endüstri 4.0'a adapte etmeleri gerekmektedir. Bu tez çalışmasında literatürdeki olgunluk seviyesi değerlendirmeleri incelenerek ve uzman görüşleri neticesinde bir değerlendirme ölçeği önerilerek literatüre katkıda bulunulmuştur. Aynı zamanda sektörlerin ortalama Endüstri 4.0 seviyelerinin çıkarılması ve bir işletmede Endüstri 4.0 projelerinin önceliklendirilmesi çalışmasının TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmesi ile literatüre katkı sağlanmıştır.

### 3. ENDÜSTRİ 4.0 VE ETKİLERİ

Sanayi 4.0 cihazların yer aldığı fiziksel alan, iletişimi sağlayan ağlar, bulut sisteminde gömülü olarak bulunan büyük veri ve sunucu sistemlerle uygulama düzeyini gösteren akıllı fabrika, akıllı şehir, kullanıcı ve hizmetler olmak üzere dört kırılıma bölünebilir (Alçın, 2016). Endüstri 4.0'ın temelinde var olan trendler 9 teknoloji kırılımı olarak alt parçalara ayrılarak tanımlanmış ve bu trendler üretim ekipmanı sağlayıcıları ve üreticileri için bunların potansiyel teknik ve ekonomik faydalarını keşfetmektedir (Rüßmann, 2015). Endüstri 4.0'ın temelinde, değer zincirindeki tüm bileşenlerin gerçek zamanlı olarak bir araya getirilmesi ve bunlarla ilgili bilgilerin varlığı yer almaktadır. Global anlamda tüm imalat firmalarına önemli fırsatlar yaratacağı öngörülmekte olan Endüstri 4.0'ın yeni vizyonu 5 temel özellik olarak açıklanmakta ve bunlar siber fiziksel sistemler, büyük veri, akıllı robotlar, makinelerin, iş bileşenlerinin, sistemlerin ve insanların birbirine bağlanabilirliği, üretimin artırılması aşamasına yönelik bir çözüm olarak dijital sanayileşme olarak gösterilmektedir (KPMG, 2015).

#### 3.1 Endüstri 4.0 Temel Bileşenleri

Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri olarak SIEMENS ve TÜSİAD'in yayınlamış olduğu raporların incelenmesi neticesinde Büyük Veri ve Analiz, Akıllı Robotlar, Siber Güvenlik, Siber-Fiziksel Dünyalar, Bulut Bilişim, Simülasyon, Dikey ve Yatay Entegrasyon, Eklemeli Üretim, Zenginleştirilmiş Gerçeklik, Eklemeli Üretim, Akıllı Fabrika ve Nesnelerin İnterneti kavramları açıklanmaktadır.

- 1. Büyük Veri ve Analiz:** Büyük veri ve analitik kavramı, teknolojik ilerlemelerin bilgi teknolojileri alanına kazandırdığı en önemli kavramlardan biridir. Cihazlar ve sistemler üzerinden üretilen verilerin büyüklüklerinin yüksek olması nedeni ile verilerin nasıl işleneceği konusunda soruların ortaya çıkması ile veri analitiği uygulamalarının yaygınlaşmaya başladığı görülmektedir. 2013 tarihli “The Internet of Everything” araştırması incelendiğinde, 2016 yılından itibaren sisteme bağlanan elektronik cihazların sayısının 20 milyardan fazla olacağı ve bu cihazlardan toplanan veri boyutunun zetabaytlara ulaşacağı belirtilmiştir. Bu nedenle büyük miktarlarda toplanan



verilerin güvenli sistemler üzerinde tutulması ve analiz edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. (SIEMENS, 2016 ). Verilerin sistemler üzerinden toplanması neticesinde toplanan bu verilerin nasıl işleneceği konusu gündeme gelmiştir. Bu noktada da işletmelerde veri analizi yapabilecek departmanların varlığı konusu ortaya çıkmıştır. Makinalardan ve sistemlerden toplanan verilerin bulut bilişim aracılığıyla depolanması ve gerektiğinde bu saklanan verilerin işlenmesi işletmeler için önemli olmaktadır.

2. **Akıllı Robotlar:** Üretim hattında bir sonraki işlemin yapılmasını kolaylaştıran, kendi davranışlarını ayarlayabilen, gelişmiş sensörleri ve kontrol üniteleri bulunan akıllı robotlar sayesinde üretim hatlarında verimlilik sağlanacaktır. Akıllı robotların kullanımının fazla olduğu sektörlerden biri olan otomotiv sektöründe boya ve montaj işlemlerinde robotik kolların varlığı işlemlerin daha standart ve ürün çevrim sürelerinin kısa olmasını sağlamaktadır.
3. **Siber Güvenlik:** Endüstri 4.0 ile ortaya çıkan standart iletişim protokollerinin kullanımı ve buna artış gösteren bir bağlılık ile endüstri sistemlerinin korunma gereksiniminde ve siber güvenlik tehditlerinin hızlı bir şekilde artış olduğu gözükmemektedir. Sonuç olarak, makinaların erişimi yönetiminin yanı sıra güvenli ve güvenilir iletişimler önemlidir (Gerbert ve diğ. 2015). Firmalar uzaktan erişim imkanı sağlayan sanal ortamlar ve bulut üzerinde saklanan veriler gibi imkanlardan faydalanabilmek istiyorlarsa güvenliği en üst düzeyde tutmaları gerekmektedir (SIEMENS, 2016). Günümüzde firmaların büyük bir kısmının kullandığı üretim ve yönetim sistemleri birbirlerine bağlı halde değildir. Şirketlerin üretim ve yönetim sistemlerini birbirlerine bağlaması gerekmektedir. Bu bağlantılılığın artırılması ve üretim hatlarını oluşabilecek siber güvenlik tehditlere karşı koruyabilmeleri için makinelerin kimliklerinin BT tarafından tanımlanması gerekmektedir. Bu yönetim sistemlerine olabilecek erişimin yönetilmesi konusu günümüzde firmalar için gittikçe önemi artan bir konudur (TÜSİAD, 2016).
4. **Siber Fiziksel Dünyalar:** Üretim sistemlerinin temelinde bilişim sistemleri önemli bir konumdadır. Süreç, sistem, tedarikçi ve müşteri ağları açısından, günümüzde var olan fabrikalarla karşılaştırıldığında çok daha karmaşık bir üretim ortamının gözükeceği öngörülmektedir. Bu siber fiziksel sistemler, bilişimle donatılan makine ve ekipmanlardan farklıdır. Yeni tanımlanan ara yüzlerin ve standartların ileride tesislerde bulunacağı öngörülmektedir. Bu

sayede, üretim hattında olan değişikliklerin en kısa sürede gerçekleştirileceği ve üretimdeki aksaklıkların süresinin minimum düzeye düşürüleceği bu sayede verimli üretimin gerçekleştirileceği öngörülmektedir (KPMG, 2015). *Siber-fiziksel sistemler* birçok yeni modülün insanlarla iletişim kurabilen entegre edilmiş sayısal ve fiziksel yeteneklerle sistemlerin yeni jenerasyonu olarak tanımlanan bir terimdir. İletişim yeteneği, yeteneklerin yayılımı, fiziksel dünyanın ölçümü, iletişim ve kontrol gelecekteki teknolojik gelişmelerin anahtar bir uygulayıcısıdır. Siber fiziksel sistemler için yüksek güvenilirlikte, yeniden ayarlanabilen ve birçok uygulamada yer alan, sertifikalı ve güven endişesi bulunmayan yazılım ve donanım gereksinimine ihtiyaç bulunmaktadır (Baheti ve Gill, 2011).

5. **Bulut:** Teknolojideki gelişmeler, artan veri hacimlerinden dolayı farklı bilgi teknolojileri mimarilerini, sanallaştırma ve SaaS (Software as a Service) gibi çözümleri ortaya çıkarmıştır. Bulut bilişim, üç modeli kapsamaktadır. Bunlar; donanım ve bilgi teknolojileri altyapı yönetimi odaklı IaaS (Infrastructure as a Service), geliştirmelerin yapılacağı araçları sunan PaaS (Platform as a Service) ve sunuculardaki yazılımların kullanılmasını sağlayan SaaS olmaktadır. (SIEMENS, 2016).
6. **Simülasyon:** Simülasyon gerçekte var olan herhangi bir sürecin ya da sistemin işletim şeklinin zaman üzerinden taklit edilerek sürecin ya da sistemin izlenmesine olanak sağlayan bir modelleme biçimidir. Dijital ortamda süreçlerin ve sistemlerin modellenmesi ile birlikte sistemler ve süreçler kolaylıkla izlenebilmektedir. Böylelikle makine parametreleri gerçek dünyada denenmeden simülasyon aracılığı ile test edilerek işletmeler için çeşitli avantajlar sunabilmektedir. Sağlamış olduğu avantajlar olarak zaman, maliyet ve risk yönetimi söylenebilir.
7. **Dikey ve Yatay Sistem Entegrasyonu:** Yatay entegrasyon kavramı, üretim ve planlama sürecindeki her bir adımın kendi arasında ve farklı işletmelerin üretim ve planlama süreçlerinde de kesinti olmadan sürekli bir akışı sağlaması anlamına gelmekte olan bir kavramdır. Dikey entegrasyon süreçler arasında değil tüm süreçlerde kullanılan teknolojik altyapıda kesintisiz iletişim sağlamak ve üretim alanındaki sensörler, vanalar, motorlar, kurumsal kaynak planlama yazılımları gibi birimlerin entegrasyonunu kapsamaktadır (SIEMENS, 2016). Dikey ve Yatay Entegrasyon işletmelerin üretim

süreçlerindeki değişikliklere ve sorunlara hızlı cevap verebilmeyi amaçlamaktadır. İşletmelerin daha esnek hale gelmesini sağlamaktadır. Tamamen otomatikleşmiş bir değer zinciri haline gelmektedir (Eldem, 2017). Evrensel veri entegrasyon ağlarının gelişmesi şirketlerin, birimlerin, yetkinliklerin birbirleriyle daha uyumlu hale getirilmesini sağlayacaktır (TÜSİAD, 2016).

- 8. Eklemeli Üretim:** Firmalar prototip ve özel bileşenler üretebilmek için yeni üretim yöntemlerini kullanmaya başlamışlardır. 3D yazıcılar bu yeni üretim yöntemlerinden biri olmaktadır. 3D model yazılımı kullanılarak makine ekipmanları ile katmanlı materyaller kullanılarak tasarım yapılmaktadır. Sonrasında ise 3D yazıcı ile birlikte üretim gerçekleştirilmektedir (Eldem, 2017).
- 9. Zenginleştirilmiş Gerçeklik:** Bir fabrikanın ne kadar verimli çalışacağını önceden öngörmek Zenginleştirilmiş Gerçeklikle mümkün olabilmektedir. Endüstri 4.0 sayesinde fabrika sanal ortamda kurulmakta ve çalıştırılarak fabrikanın ne kadar verimli çalışacağı öngörülmektedir (SIEMENS, 2016).
- 10. Nesnelerin İnterneti:** Nesnelerin bir kimlik üzerinden internet aracılığıyla birbirleri ile haberleşebilmesi ile yeni iş modelleri ve kullanım alanlarının ortaya çıkması öngörülmektedir. Nesnelerin İnternetinin Makine ile Makine Haberleşmelerinden temel farklılığı, Makine-Makine bağlantısında makineler birbirleri ile bağlanarak kapalı bir bağlantı kurarken Nesnelerin İnternetinde insanlar ve makineler kamusal servisler üzerinden birbirlerine bağlanmaktadır (Eldem, 2017). Nesnelerin İnternetinin sağlayacağı avantajlarla birlikte insan hayatının kolaylaşacağı düşünülmektedir. İşletmeler Nesnelerin İnterneti sayesinde ürünlerini daha kalite bir şekilde üretebilecek ve verilerin daha kolaylıkla analiz edilmesi sayesinde ürünlerin çevrim süreleri de kısaltılmış olacaktır.
- 11. Akıllı Fabrika:** Akıllı Fabrikalar üretim süreçlerinin kolaylıkla yönetilmesini sağlayarak işletmelere kolaylıklar sağlaması düşünülmektedir. Akıllı Fabrikalarda üretim süreçleri, insanlar, makineler, nesneler birbirleri ile sürekli bir haberleşme içerisinde bulunmaktadırlar. Bu haberleşme ile daha kolay veri alımı, ürünün çevrim süresinin kısalması, kaliteli ürün üretimi ve süreçlerin standart hale getirilmesi mümkün olacaktır. Günümüzde geleneksel üretim

süreçleri fabrikalar için yeterli gözükmemektedir. Bu nedenle işletmelerin birbirleri ile rekabet edebilmesi ve pazarda lider konuma gelebilmeleri için süreçlerini daha kolay yönetmeleri gerekmektedir. Akıllı Fabrikalar bu noktada işletmelere kaliteli ürün üretimi ve proses içerisinde yaşanan aksaklıklarda prosese daha kolay müdahale edebilme olanağı sağlamaktadırlar.

Akıllı fabrika, üretim faaliyetlerinde bilgi teknolojilerinin derin ve yoğun bir uygulamasına dayanan siber fiziksel sistemlerin uygulanması olarak tanımlanabilir. Geliştirilen bir akıllı fabrika prototipinin ana bileşenleri şu şekildedir: RFID etiketleri ile hammaddeler, akıllı robotlar, AGV (Automated Guided Vehicle), el terminalleri ve bulut sistemleridir. Her bir AGV kendi konumunu kontrol edebilir. AGV'nin RFID okuyucusu bulunduğu için AGV ürünün RFID etiketlerini okuyabilmekte ya da yazabilmektedir. AGV'lerin makinalarla iletişim kurma özellikleri bulunmaktadır (Wang ve diğ. 2016).

### **3.2 Endüstri 4.0'ın Türkiye'ye ve Sektörlere Olası Etkileri**

Endüstri 4.0'ın yeni üretim tekniklerini ortaya çıkarması ve düşük katma değerli ürünler yerine yüksek katma değerli ürünlerin oluşmasını sağlaması beklenen faydalardan biri olmaktadır. Üretim platformlarını dönüştürmenin beklenen faydaları incelendiğinde aşağıdaki gibi olduğunu görmekteyiz; (TÜSİAD, 2016.)

- Maliyet verimliliğinin artması, yüksek üretim hızı ve esneklik, yüksek kalite ve aynı zamanda düşük fire oranı, ileri teknoloji platformları, yüksek nitelikli insan kaynağı gibi beklenen faydaları ile küresel rekabet gücünün artması beklenmektedir.
- Yüksek katma değerli ürünlerin payının artması beklenmektedir.
- İşgücü profilinin gelişeceği öngörüsü bulunmaktadır.

Sanayi 4.0'ın beklenen etkilerinden birisi olarak ülkemiz ekonomisinin büyümesi beklenmekte, bu sayede müşterinin özel ürünlere artan talebi ile ürünlerin zamanında bulunabilir olması sağlanacak, artan küresel entegrasyon ile de global değer zincirinden daha çok pay alınacaktır. Türk üreticilerinin Endüstri 4.0'ı ve Endüstri 4.0 ile gelen teknolojilerini kendi firmalarına ve üretim süreçlerine dahil

edebilmeleri için gelecekte yaklaşık olarak 10-15 milyar TL yatırım yapacakları tahmin edilmektedir. Üretim süreçlerine entegre edilen otomasyon ile birlikte üretim, kalite ve bakım fonksiyonlarında çalışan düşük nitelikli çalışanların yerini otomasyona sahip sistemlerin yer almasıyla birlikte uzun vadede değer zincirinin belirli noktalarında bu değişimden etkilenme oranının % 20-30 düzeyinde olması Endüstri 4.0 ile beklenmektedir. Sanayi 4.0'ın beklenen diğer etkilerinden biri de ergonomik iyileştirmelerin yapılmasıdır (TÜSİAD, 2016).

- 1. Otomotiv Sektörü:** Otomotiv sektöründe montaj hatlarında yapılabilen otomasyon sayesinde firmalara daha düşük miktarlarda üretim yapabilme yetkinlikleri kazandıracaktır. Montaj hatlarının birbirleriyle ve diğer sistemlerle iletişim halinde olan otonom robotlarla otomatize edilmesi ile süreçlerin daha standart hale gelmesi ve bu sayede hatta meydana gelen hataların oranında azalmalar meydana gelecektir (TÜSİAD, 2016).
- 2. Beyaz Eşya Sektörü:** Endüstri 4.0'ın beyaz eşya sektörüne olan etkisi tahmin edildiğinde % 9-14 ile bir potansiyel verimlilik artışı olması beklenmektedir. Üretimdeki işgücü verimliliğindeki artışın sevkiyat robotları ve otonom nakil araçlarının varlığı ile sağlanılacağı düşünülmektedir (TÜSİAD, 2016).
- 3. Tekstil Sektörü:** Makine ile Makine (M2M) iletişimi sayesinde makine operatörleri üretim hattının ne zaman çalışmayabileceğini tahmin edip üretim hattının durmadan önce bu konuda önlem alma çalışmalarını yapabilecektir. Üretim hattı duruşlarının daha kısa süreli olmasını sağlayacak ve operasyonlar kesintisiz devam edebilecektir. Tekstil sektöründe potansiyel verimlilik artışının %10-16 olması beklenmektedir. Toplam maliyette ise % 4-9 verimlilik artışı beklentisi bulunmaktadır (TÜSİAD, 2016).
- 4. Kimyasallar Sektörü:** Kimyasallar sektöründe % 8-12 oranında verimlilik artışı olma beklentisi bulunmaktadır (TÜSİAD, 2016).
- 5. Yiyecek ve İçecek Sektörü:** Yiyecek ve içecek sektöründe %9-12 oranında bir potansiyel verimlilik artışı beklenmektedir. Toplam maliyette ise %5-9 oranında verimlilik artışı mümkündür. Üreticilerin yıl boyunca yaptıkları faaliyetlerin yönetim sistemleri ile uçtan uca takip edilmesi ile verimlilik artacaktır. (TÜSİAD, 2016).

## 4. ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK SEVİYESİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Literatürde işletmelerin Endüstri 4.0'a hazırlık seviyelerinin belirlenmesinde farklı modeller olduğu görülmektedir. Tanımlanan bu modellerde boyut ve seviye açısından farklılıklar vardır. Sanayinin olgunluk seviyesi ve mevcut durum değerlendirmesi ile ilgili TÜBİTAK tarafından hazırlanan bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma özel sektördeki bazı kuruluşlarla yapılmıştır. Çalışmada öncelikli olarak kavramsal tasarım çalışması yapılmıştır. Kavram çalışmasında, Akıllı üretim sistemleri ile ilgili tanımlar, kavramlar ve kapsamlar belirlenmiştir. İkinci aşamada TÜBİTAK'dan ARGE desteği alan yaklaşık 1000 firmaya anket çalışması yapılmıştır. Üçüncü ve dördüncü aşamalarda ise paydaşlarla önceliklendirme çalışmaları yapılarak stratejik hedefler ve Endüstri 4.0'ı yakalayabilmek için teknolojik hedefler belirlenmiştir. Teknoloji yol haritasında Dijitalleşme, Etkileşim ve Geleceğin Fabrikaları olmak üzere 3 adet teknoloji grubu belirlenmiştir (TÜBİTAK, 2017). Bir diğer çalışmada ise ampirik yaklaşıma dayalı bir model önerilmiştir. Bu modelde 9 boyut belirlenerek Endüstri 4.0'a hazırlık seviyesi belirlenmiştir. Tanımlı olan bu boyutlar; Ürünler, Müşteriler, Operasyonlar, Teknoloji, Strateji, Liderlik, Hükümet, Kültür ve İnsanlar boyutlarıdır. Anket çalışması sonucunda elde edilen çıktılar her bir boyut için radar şemaları ile gösterilmiştir (Schumacher ve diğ. 2016). Sektörlerin Endüstri 4.0'a yakınlıklarının hangi seviyede olduklarını ölçebilmek adına bir diğer çalışmada üç farklı sektör tanımlanmıştır. Otomotiv, Tekstil ve Hazır Giyim ve Tarım-Seracılık olmak üzere seçilen bu üç farklı sektörde Strateji boyutu, Akıllı Üretim boyutu, Teknik Altyapı boyutu, Akıllı Ürün/Hizmet boyutu ve İnsan/Organizasyon boyutu olmak üzere 5 boyutta dijital dönüşüme hazırlık seviyesi tanımlanmıştır (Lengerli ve diğ., 2018). SIMMI 4.0 modelinde ise olgunluk seviyesi Temel Entegrasyon, Departmanlararası Entegrasyon, Yatay ve Dikey Entegrasyon, Tam Entegrasyon ve Optimize Edilmiş Tam Entegrasyon olmak üzere 5 aşamalı olgunluk seviyesi belirlenmiş ve 3 boyut tanımlanmıştır. Tanımlı olan bu 3 boyut Yatay Entegrasyon, Dikey Entegrasyon ve Bölgelerarası Teknoloji Kriteridir (Leyh ve diğ, 2016).

Literatürde yer alan en bilinen olgunluk modellerinden biri de VDMA, RWTH Aachen ve IW Consult proje partnerleri tarafından geliştirilen ve Endüstri 4.0 için işletmelere olgunluk seviyesi sonuçlarını gösteren IMPULS modelidir. IMPULS modelinde 6 boyutta olgunluk seviyesi değerlendirilmektedir. Bu boyutlar, Strateji ve Organizasyon, Akıllı Fabrika, Akıllı Operasyonlar, Akıllı Ürünler, Veri GÜdümlü Hizmetler ve Çalışanlar'dır. Her bir boyut için de alt kriterler bulunmaktadır. IMPULS modeli boyutları ve kriterleri Likert ölçeği ile 0 ile 5 arasında değerlendirmektedir. IMPULS modelinde seviyeler Dışarıda, Yeni Başlayan, Orta Seviye, Deneyimli, Uzman ve Üst Oyuncu olmak üzere ifade edilmiştir (Lichblau ve diğ., 2015).

Daha iyi özetleyebilmek amacıyla altı seviyeli olan IMPULS modeli üçe ayrılabilir. *Yeni gelenler* fazı Endüstri 4.0 için hiçbir şey yapmayan ya da çok küçük miktarda bir şey yapanlar için tanımlanmaktadır. Bu yüzden bu faz seviye 0 ve seviye 1'i kapsamaktadır. *Öğrenenler* fazında ise Endüstri 4.0 için şirketlerin ilk adımlarını tanımladıklarını göstermektedir. *Liderler* fazında ise şirketin seviyesi en az seviye 3 olmalıdır. Verilen boyut içinde herhangi bir sahada en düşük puana dayanan bir yapıda her şirketin hazırlık seviyesi hesaplanmaktadır. Mesela akıllı operasyonlar boyutunu düşündüğümüzde firma üç sahada seviye 5 fakat bir sahada seviye 1 ise o boyutun hazırlık puanı bir olmaktadır. Altı boyutlu hazırlık modelinin seviyesi bulunurken ağırlıklandırılmış ortalama alınarak hesaplanmaktadır. Ağırlıklandırılmış boyut puanı için firmalara yapılan anket çalışması değerlendirilerek önem dereceleri değerlendirilmektedir (Lichblau ve diğ., 2015).

IMPULS Modeli ele aldığı boyutlar açısından ve bu boyutların alt kriterleri açısından incelendiğinde diğer literatür çalışmalarında ele alınan temel boyutlar olarak bir işletmenin Endüstri 4.0 hazırlık seviyesini ölçebilmek için dijitalleşmede ele alınması gereken boyutları içermesinden dolayı bu tez çalışmasında IMPULS modeli referans alınmıştır. IMPULS modelinde her bir boyut için alt kriterler açısından belirlenen 0-5 seviyeleri işletmelerin hangi seviyede olduklarını bilmelerine ve puanlama yapabilmelerine yardımcı olmaktadır. IMPULS modelinin her bir boyutunun detayları Bölüm 3.3'de tablo olarak ifade edilmiştir. Ayrıca IMPULS modelinde Strateji ve Organizasyon, Akıllı Fabrika, Akıllı Operasyonlar, Akıllı Ürünler, Veri GÜdümlü Hizmetler ve Çalışanlar boyutu yer alırken bu tez çalışmasında ise Strateji ve Organizasyon, Akıllı Fabrika, Yatay ve Dikey Entegrasyon, Akıllı Operasyon, Büyük Veri, Çalışanlar, Bilgi Teknolojileri boyutları bulunmaktadır. Tez

çalışmasında ele alınan bu 7 temel boyut uzman görüşleri neticesinde IMPULS modeline yenilikler ve değişiklikler yapılarak son halini almıştır. Endüstri 4.0 hazırlık seviyesi sonuçlarının bulunmasında IMPULS modelinde de olduğu gibi ağırlıklı ortalamalar bulunarak hazırlık seviyesi sonuçları radar şemaları ile gösterilmiştir. IMPULS modeli uygulama sonrası sonuçlarla ilgili ele alınan aksiyonlar Bölüm 4.1’de açıklanmıştır.

#### **4.1 Endüstri 4.0 Aksiyon Maddeleri**

IMPULS modelinde her bir boyut için araştırma soruları sorularak Likert ölçeğinde anket çalışması uygulanmıştır. Ayrıca anket çalışmasında şirketlere Endüstri 4.0’ı uygulamada karşılaştıkları engellerin neler oldukları sorulmuş ve bu engellerin seviye farklılıklarına göre (liderler, öğrenenler, yeni gelenler) farklılaştığı ve elde edilen oranın farklı olduğu gözükmiştir. Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3’de IMPULS modelinde tanımlanan 3 seviye olan yeni gelenler, öğrenenler ve liderler için karşılaştıkları ana engeller ve bu engellere karşı alınması gereken aksiyonlar gösterilmiştir (VDMA 2015). Tablo 4.4’de IMPULS modelindeki Strateji ve Organizasyon boyutu için ölçeğin değerlendirmesi bulunmaktadır. Aynı şekilde Tablo 4.5’de Akıllı Fabrika boyutu, Tablo 4.6’da Akıllı Operasyonlar boyutu, Tablo 4.7’de Akıllı Ürünler boyutu, Tablo 4.8’de Çalışanlar boyutu ve Tablo 4.9’da ise Veri Güdümlü Hizmetler boyutu bulunmaktadır. Bu tablolarda IMPULS modelinin boyutlarının değerlendirme biçimleri seviyelendirilerek açıklamaları yapılmıştır. Bu tez çalışmasında Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi bulunan bir işletmede her bir boyut bazında işletmenin Endüstri 4.0’ı yakalayabilmesi adına aksiyonlar proje bazında yazılmıştır. Belirlenen bu projeler arasından TOPSIS aracılığıyla proje önceliklendirmesi yapılmıştır.



**Tablo 4.1:** Yeni Gelenler için aksiyon maddeleri (Olgunluk Seviyesi 0 ve 1) (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Endüstri 4.0 Boyutları</b>	<b>Strateji ve Organizasyon</b>	<b>Akıllı Fabrika</b>	<b>Akıllı Operasyonlar</b>	<b>Akıllı Ürünler</b>	<b>Veri Güdümlü Hizmetler</b>	<b>Çalışanlar</b>
Ana Zorluklar	Stratejik açıdan Endüstri 4.0 organizasyonda yer almamaktadır ya da kısmen yer alır.	Makinelere herhangi bir bilgi alınmamaktadır. Aynı zamanda süreç verisi toplanılmaz. Ekipman altyapısı Bilgi sistemleri ile bağlantı içermemektedir.	Sistemler arası entegrasyon bulunmamaktadır.	Ürünlerin özelliklerine ek olarak Bilgi ve İletişim Teknolojileri ile bağlantılı ek fonksiyonel özellikleri bulunmaz.	Geleneksel Ürünlere Odaklanma bulunurken, veri güdümlü hizmetler ya önerilmez ya da müşterilerle entegre edilmez.	Spesifik çalışan yeteneği bulunmaz ya da düşük seviyededir.
Engeller: Endüstri 4.0 hakkında genel belirsizlikten kaynaklı ekonomik fayda belirsizdir. Endüstri 4.0 hakkında genel bir belirsizliğin bulunması temel engeller arasındadır. Yeteneklerin az olması						
Aksiyon Maddeleri	Stratejilerin tanımlanarak Endüstri 4.0 farkındalığını oluştur.	Akıllı Fabrika oluşumu için ekipman altyapısının IT sistemleri ile iletişimi aşama aşama sağlanır.	Sistemler arası entegrasyon için ilk adımları planla.	Ek fonksiyonlar için potansiyeli tespit et.	Ürün portföyünü tekrar grupla ve veri güdümlü hizmetleri tanımla.	Endüstri 4.0'a ulaşabilmek adına profesyonel gelişim programları ayarla ve eğitimleri adapte et.

**Tablo 4.2:** Öğrenenler için aksiyon maddeleri (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Endüstri 4.0 Boyutları</b>	<b>Strateji ve Organizasyon</b>	<b>Akıllı Fabrika</b>	<b>Akıllı Operasyonlar</b>	<b>Akıllı Ürünler</b>	<b>Veri Güdümlü Hizmetler</b>	<b>Çalışanlar</b>
Ana Zorluklar	Endüstri 4.0 stratejik sürecin bir parçası olmamaktadır, ancak spesifik bir strateji henüz tanımlanmamıştır.	Ekipman altyapısı IT sistemleri ile bağlantılı değildir ve ekipman altyapısı limitli bir kapasitedir.	Sistem entegrasyonlu bilgi paylaşımının başlangıç adımları yoktur.	Ürünler ve süreçler optimize edilmemiş ve toplanan veriler analiz edilmemiştir.	Veri kullanım seviyesi 20-50% oranlara henüz ulaşmamıştır.	Bazı anahtar kilit bölgelerde henüz yeterli spesifik yetenekler bulunmamaktadır.
Engeller: Ekonomik faydası belirsiz Endüstri 4.0 hakkında genel bir belirsizliğin olması Pazar ihtiyacı yok. Yeteneklerin az olması						
Aksiyon Maddeleri	E4.0'a olan farkındalığın yaratılması Stratejilerin tanımlanması	Ekipman altyapısını IT ile entegreli çalışmasını planla.	Hem şirket içi hem şirket dışı sistem entegrasyonlu bilgi paylaşımını yay.	Toplanan verilerin sistematik analizini yap.	Veri kullanım seviyesini artır. Veri güdümlü hizmetlerin sayısını artır.	Profesyonel gelişim programlarını ayarla ve eğitime adapte et.

**Tablo 4.3:** Liderler için aksiyon maddeleri (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Endüstri 4.0 Boyutları</b>	<b>Strateji ve Organizasyon</b>	<b>Akıllı Fabrika</b>	<b>Akıllı Operasyonlar</b>	<b>Akıllı Ürünler</b>	<b>Veri Güdümlü Hizmetler</b>	<b>Çalışanlar</b>
Ana Zorluklar	Tanımlı Endüstri 4.0 stratejisi henüz uygulanmamıştır. Sistem göstergeleri henüz stratejik sürece entegre edilmemiştir.	Ekipman altyapısı henüz gelecekteki ihtiyaçları karşılamaz.	Otomatik rehberli iş parçaları ve kendi kendine reaksiyon halinde olan süreçler henüz kullanımda değildir	Ürünlerin Bilgi ve İletişim Teknolojileri ek fonksiyonları birkaç alanda bulunur.	Veri güdümlü hizmetler dijital müşteri entegrasyonunu içermez.	Endüstri 4.0 spesifik yetenekleri henüz tüm alanlarda mevcut değildir.
Engeller: Ekonomik faydası belirsiz Endüstri 4.0 hakkında genel bir belirsizliğin olması Pazar ihtiyacı yok. Yeteneklerin az olması						
Aksiyon Maddeleri	Tamamen stratejiyi uygula. Düzenli olarak strateji uygulamasını yayınla.	Dijital veri toplamasını yaygınlaştır. Ekipman altyapısını gelecekteki ihtiyaçları karşılayacak şekilde sırala.	Otomatik rehberli iş parçalarını ve kendi kendine reaksiyon halinde olan süreçleri kullan.	Ek fonksiyonların kapsamını genişlet.	Müşterilerle dijital olarak entegreli önerileri kapsayan hizmet portföyünü yaygınlaştır.	Gelişim Eğitim İşe Alım

## 4.2 IMPULS Model Boyutları

**Tablo 4.4:** Strateji ve Organizasyon Boyutu (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Strateji ve Organizasyon Boyutu</b>	<b>Seviye 0</b>	<b>Seviye 1</b>	<b>Seviye 2</b>	<b>Seviye 3</b>	<b>Seviye 4</b>	<b>Seviye 5</b>
<b>Strateji Uygulamanın Derecesi</b>	Endüstri 4.0 stratejik sürecin bir parçası değildir.	Endüstri 4.0 bölümlere ait bir konudur fakat strateji içerisine entegrasyonu yoktur.	Endüstri 4.0 stratejik sürecin bir parçasıdır ve bir strateji geliştiriliyor.	Bir Endüstri 4.0 stratejisi tanımlanmıştır.	Bir Endüstri 4.0 stratejisi uygulamada	Endüstri 4.0 stratejisi işletme genelinde uygulanmıştır.
<b>Göstergelerin Tanımlanması</b>	Endüstri 4.0 uygulamasının durumunu tanımlamada mevcutta göstergeler yoktur.	Endüstri 4.0 uygulamasının durumunu tanımlamak için mevcutta göstergeler yoktur.	Göstergeler uygulamanın durumunu anlamlandırmada yer almaktadır.	Göstergeler uygulamanın durumunu anlamlandırmada yer almaktadır.	Göstergeler uygulamanın durumunu anlamlandırmada yer almaktadır.	Göstergeler stratejik sürecin entegrasyonunda yer almaktadır.
<b>Yatırımlar</b>	Endüstri 4.0 yatırımı yoktur.	Başlangıç Endüstri 4.0 yatırımları bir bölgede bulunmakta	Endüstri 4.0 yatırımları düşük seviyede	Endüstri 4.0 yatırımları birkaç bölgede	Endüstri 4.0 yatırımları farklı bölgelerde	Endüstri 4.0 yatırımları kuruma yayılmış durumda
<b>İnovasyon Yönetimi</b>	İnovasyon yönetimi yok.	İnovasyon yönetimi yok.	İnovasyon yönetimi yok.	İzole edilmiş bölgelerde inovasyon yönetimi var.	Farklı departmanlarda inovasyon yönetimi uygulanmış durumda.	Departmanlararası inovasyon yönetimi kurulmuştur.

**Tablo 4.5:** Akıllı Fabrika Boyutu (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Akıllı Fabrika Boyutu</b>	<b>Seviye 0</b>	<b>Seviye 1</b>	<b>Seviye 2</b>	<b>Seviye 3</b>	<b>Seviye 4</b>	<b>Seviye 5</b>
<b>Ekipman Altyapısı (şimdiki)</b>	Makina ve sistem alt yapısı IT tarafından kontrol edilmez ve entegrasyon yoktur. (M2M)	Bazı makinalar IT tarafından kontrol edilebilir ve birlikte çalışabilir ya da M2M vardır.	Makine ve sistem altyapısı IT kapsamında kontrol edilebilir, birlikte çalışabilir ya da entegre edilebilir.	Makine ve sistem altyapısı IT tarafından kontrol edilebilir ve kısmen entegre edilebilir.	Makinalar tamamen IT tarafından kontrol edilebilir ve kısmen entegre edilebilir (M2M).	Makina ve sistemler hemen hemen tamamen IT tarafından kontrol edilebilir.
<b>Ekipman Altyapısı (hedef)</b>	Makinalar ve sistemler yükseltilemez.	Makina ve sistemlerin gelecek ihtiyaçları uygundur.	Bazı makine ve sistemler yükseltilebilir.	Bazı makine ve sistemler yükseltilebilir.	Makinalar bazı ihtiyaçları karşılayabilir ya da makinalar yükseltilebilir.	Makine ve sistemler gelecekte olabilecek bütün ihtiyaçları karşılar.
<b>Dijital Modelleme</b>	Dijital modelleme yok.	Dijital modelleme yok.	Bazı dijital modelleme	Bazı dijital modelleme	Bazı dijital modelleme	Tamamen dijital modelleme mümkün
<b>Veri Toplama</b>	Veri toplama yok.	Veri toplama yok.	Veri toplanır fakat birçok parçası manual olarak yapılır.	İlgili veri belirli bölgelerde dijital olarak toplanır.	Birçok alanda kapsamlı dijital veri toplama	Bütün bölgelerde kapsamlı veri toplama
<b>Veri Kullanımı</b>	Daha ileri kullanım için mevcut veri yoktur.	Daha ileri kullanım için mevcut veri yoktur.	Birkaç seçilmiş amaç için veri kullanılır.(daha fazla şeffaflık vs.)	Bazı veriler süreçleri optimize etmek için kullanılır.	Farklı alanlarda veri optimizasyon için kullanılır.	Kapsamlı süreç optimizasyonu için veri kullanılır.
<b>IT Sistemler</b>	IT desteği bulunmamaktadır.	Ana iş süreçleri IT tarafından desteklidir.	Bazı iş alanları IT tarafından desteklidir ve entegre halindedir.	Bazı iş alanları IT tarafından destekli ve bir diğerine entegre halindedir.	Tamamlanmış IT destekli süreçler,tamamen entegrasyon	Bütün şirket süreçleri IT tarafından destekli ve entegre halinde.

**Tablo 4.6:** Akıllı Operasyonlar Boyutu (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Akıllı Operasyonlar</b>	<b>Seviye 0</b>	<b>Seviye 1</b>	<b>Seviye 2</b>	<b>Seviye 3</b>	<b>Seviye 4</b>	<b>Seviye 5</b>
<b>Entegre Edilmiş Sistem Bilgi Paylaşımı</b>	Entegre edilmiş sistem bilgi paylaşımı yoktur.	Entegre edilmiş sistem bilgi paylaşımında başlangıç aşamasında	Şirkette bilgi paylaşımı kısmen sistem entegrasyonu ile	Bazısı şirkette ve başlangıç olarak dış kaynaklı entegre edilmiş sistem bilgi paylaşımı	Ağırlıklı olarak şirkette ve kısmen dış kaynaklı entegre edilmiş sistem bilgi paylaşımı	Geniş kapsamı şirkette ve kısmen dış kaynaklı entegre edilmiş bilgi paylaşımı
<b>Otomatik Rehberli İş Parçaları</b>	Otomatik rehberli iş parçaları kullanılmaz.	Otomatik rehberli iş parçaları kullanılmaz.	Otomatik rehberli iş parçaları kullanılmaz.	Otomatik rehberli iş parçaları kullanılmaz.	Test ve pilot fazı aşamasındaki deneyler	Seçilen bölgelerde kullanımı ya da çapraz girişimli kullanım
<b>Kendi Kendine Reaksiyon Veren Süreçler</b>	Kendi kendine reaksiyon veren süreçlerin kullanımı yoktur.	Kendi kendine reaksiyon veren süreçlerin kullanımı yoktur.	Kendi kendine reaksiyon veren süreçlerin kullanımı yoktur.	Kendi kendine reaksiyon veren süreçlerin kullanımı yoktur.	Test ve pilot fazı aşamasındaki deneyler	Seçilen bölgelerde kullanımı ya da çapraz girişimli kullanım
<b>IT gizliliği</b>	Gelişimde ve uygulamada IT gizliliği hakkında çözümler bulunmamaktadır.	IT gizliliği hakkında çözümler planlanılır.(Başlangıç)	IT gizliliği hakkında çözümler planlanılır ya da başlangıç çözümler gelişim aşamasındadır.	IT gizliliği çözümleri kısmen uygulanır.	Kapsamlı biçimde IT gizliliği çözümleri uygulanır, mevcuttaki boşluklar kapatılır.	Bütün ilgili alanlarda IT gizliliği çözümleri uygulanır.
<b>Bulut Kullanımı</b>	Bulut çözümleri kullanımda değildir.	Bulut çözümleri kullanımda değildir.	Bulut çözümleri kullanımda değildir.	Başlangıç çözümler bulut tabanlı yazılımlar, veri kullanımı ve veri analizi için planlanılır.	Başlangıç çözümler uygulamada	Çoklu çözümler uygulamada

**Tablo 4.7:** Akıllı Ürünler Boyutu (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Akıllı Ürünler</b>	<b>Seviye 0</b>	<b>Seviye 1</b>	<b>Seviye 2</b>	<b>Seviye 3</b>	<b>Seviye 4</b>	<b>Seviye 5</b>
<b>Bilgi ve İletişim Teknolojileri ürünlerin ek fonksiyonları</b>	İlave fonksiyonları yoktur.	Ürünler ilk işaretlerini gösterirler.	Ürünler ilave olan fonksiyonları karakterize eder.(başlangıç)	Ürünler birçok ve birbiri ile ilişkili eklentili işlevlere sahiptir.	Ürünler farklı alanlarda eklentili işlevlere sahiptir.	Ürünler kapsamlı eklentili işlevlere sahiptir.
<b>Veri Kullanımı(ürün gelişimi, satış desteği için veri kullanımı)</b>	Veri kullanımı yoktur.	Veri kullanımı yoktur.	Veri toplanır fakat analiz edilmez/kullanılmaz.	Veri analiz edilir/kullanılır	Veri analiz edilir/kullanılır	Veri analiz edilir/kullanılır

**Tablo 4.8:** Çalışanlar boyutu (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Çalışanlar</b>	<b>Seviye 0</b>	<b>Seviye 1</b>	<b>Seviye 2</b>	<b>Seviye 3</b>	<b>Seviye 4</b>	<b>Seviye 5</b>
<b>Çalışan Yetenekleri</b>	Yetenek yok.	Çalışanların ilgili bir bölgede düşük seviyede yetenekleri bulunur.	Çalışanların birkaç ilgili bölgede düşük seviyede yetenekleri bulunur.	Çalışanların bazı ilgili bölgelerde yeterli seviyede yetenekleri bulunur.	Çalışanların farklı bölgelerde yeterli seviyede yetenekleri bulunur.	Çalışanlar farklı bölgelerde bütün gerekli yeteneklere sahiptir.

**Tablo 4.9:** Veri güdümlü hizmetler boyutu (Lichblau ve diğ., 2015).

<b>Veri Güdümlü Hizmetler</b>	<b>Seviye 0</b>	<b>Seviye 1</b>	<b>Seviye 2</b>	<b>Seviye 3</b>	<b>Seviye 4</b>	<b>Seviye 5</b>
Veri Güdümlü Hizmetler	Önerilen veri güdümlü hizmetler bulunmaz.	Veri güdümlü hizmetler önerilir fakat müşteri entegrasyonu yoktur.	Veri güdümlü hizmetler önerilir fakat müşteri entegrasyonu yoktur.	Veri güdümlü hizmetler önerilir fakat müşteri entegrasyonu yoktur.	Veri güdümlü hizmetler müşteri entegrasyonu ile önerilir.	İş modelinin içerisinde veri güdümlü hizmetler tamamen entegre halindedir.(müşterilerle entegre)
Gelirlerin Paylaşımı	Gelirlerin paylaşımı yoktur.	İlk gelirlerin paylaşımı için veri güdümlü hizmetlerin hesabı (<1%)	İlk gelirlerin paylaşımı için veri güdümlü hizmetlerin hesabı (<2.5%)	İlk gelirlerin paylaşımı için veri güdümlü hizmetlerin hesabı (<7.5%)	Gelirlerin paylaşımı önemlidir.<10%)	Gelirler içerisinde veri güdümlü hizmetler önemli bir rol oynar.>10%)
Veri Kullanım Seviyesi	Veri kullanılmaz.	Veri kullanılmaz.	Toplanmış verinin 0-20% kullanılır.	Toplanan verinin 20-50% kullanılır.	Toplanan verinin 20-50% kullanılır.	Toplanan verinin %50 den fazlası kullanılır.



## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1 Tezde Ele Alınan Olgunluk Seviyesi Modeli

Endüstri 4.0'a giden yolda firmaların Endüstri 4.0'a yakınlığını tespit edebilmek önemli bir konu haline gelmiştir. Firmaların ne durumda olduklarını bilmeleri sektördeki durumlarına bağlıdır. Bu nedenle Endüstri 4.0 olgunluk seviyesinin sektör kırımlarında da ne durumda olduklarını bilmek önem arz etmektedir. Öncelikli olarak bu tez çalışmasında literatür araştırmaları yapılarak şimdiye kadar literatürde bulunan olgunluk seviyesi modelleri araştırılmış ve incelenmiştir. Aynı zamanda Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinin ne olduğu konusu sorgulanmıştır.

Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri olarak Akıllı Fabrika, Akıllı Operasyonlar, Bilgi Teknolojileri, Büyük Veri, Çalışanlar, Simülasyon, Bulut, 3D Yazıcılar, Siber Güvenlik, Eklemeli Üretim, Dikey ve Yatay Entegrasyon, Akıllı Ürünler vb. bileşenlerin varlığı literatürde tespit edilmiştir. Literatürde olgunluk seviyesini tespit edebilmek adına çeşitli modeller yer almaktadır. Bu modeller ele aldıkları boyutlar yani Endüstri 4.0'ı temsil eden temel bileşenler açısından farklılaşmaktadır. Olgunluk seviyesi modellerinde yer alan bir diğer farklılaşma ise modellerin ele aldıkları seviyelerdir. Aşağıda yer alan Tablo 5.1'de literatürde yer alan modeller ve bu modellerin birbirlerinden farklılıkları yer almaktadır. Devamında ise tezde kullanılan modelin literatürdeki modellerden farklılıkları anlatılmıştır.

Tezde kullanılan modeli belirleyebilmek adına öncelikli olarak diğer modeller incelendikten sonra modelin boyut seviyesi ve bu boyutların nelerden oluşması gerektiği konusu tartışılmıştır. Seviyeler ve boyutlar tespit edildikten sonra ve her bir boyutu temsil eden araştırma sorularının neler olacağı konusu da tespit edilerek uzman görüşleri alınmıştır.

İlk modelde tanımlı olan boyutlar aşağıdaki gibidir;

- Akıllı Fabrika
- Akıllı Operasyonlar
- Strateji ve Organizasyon
- Bilgi Teknolojileri
- Büyük Veri
- Çalışanlar

Belirlenen bu boyutlar ve araştırma soruları 3 farklı uzmanın görüşü alındıktan sonra 7 boyuta çıkarılmıştır. Nihai modele eklenen boyut ise sistemin uçtan uca ve dikeyde entegrasyonunu temsil eden Dikey ve Yatay Entegrasyondur. Model belirlenirken tespit edilen her bir araştırma sorusunun referans kaynağı tanımlanmıştır. Aynı zamanda Likert ölçeği ile seviyelendirme 1-5 skalasında tanımlanmıştır. Likert ölçeği sayesinde ankete katılacak olan firma temsilcilerinden soruları puanlandırmaları istenmiştir. Her bir seviyenin açıklaması tanımlanarak her bir katılımcının soruları doğru şekilde anlaması amaçlanmıştır. Aynı zamanda diğer seçeneği de modele eklenerek katılımcılardan sorular için farklı bir cevaplarının olup olmadığı da istenmiştir. Uzman görüşlerden gelen incelemeler neticesinde olgunluk modeli versiyonları değiştirilerek nihai modele ulaşılmıştır. Nihai modele eklenen sorulardan biri olan tamamen müşteri odaklı çalışmak isteyen firmalar için 3D yazıcıların firmalarında yer alıp almadığı sorulmuştur. Böylelikle müşteri odaklı üretim yapılıp yapılmadığı konusunda bilgi edinilmiştir. Şayet firma eğer müşteri odaklı çalışmakta ise Endüstri 4.0 konusunda daha detaylı çalışmalar yapması gerekecektir. Zaten firmanın stoğa göre mi yoksa siparişe göre mi üretim yapıp yapmadığı demografik sorular kısmında firma katılımcılarına sorulmuştur. Modele 7. Boyut olarak yatayda (tedarikçileri ile bağlılık) ve dikeyde bağlılık (ERP vb. yazılımların olup olmadığı) eklenerek sorgulanmıştır.

**Tablo 5.1:** Endüstri 4.0 Modelleri

Model Adı/Tanımı	Boyutlar					Seviyeler				Diğer	Kaynakça
	3	5	6	7	9	4	5	6	10		
Impuls			X					X			Lichtblau ve diğ., (2015)
Sektör Bazlı Dijital Dönüşüm Yol Haritası		X				X					Lengerli ve diğ., (2018)
Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası										X	TÜBİTAK, (2017)
SIMMI 4.0 modeli	X						X				Leyh ve diğ., (2016)
Schumacher ve diğ. 2016 (Impuls Modeline Dayalı)					X		X				Schumacher ve diğ., (2016)
Capgemini Dijital Dönüşüm Yaklaşımı										X	Bechtold ve diğ., (2014)
Fabrikada Endüstri 4.0 Olgunluk Seviyesi Ölçümü					X	X					Koska ve diğ., (2017)
<b>Tezde Önerilen Model</b>				X			X				Uzman görüşleri ve literatür incelemeleri

Tablo 5.1’de literatürde yer alan modellere bakıldığında ele adıkları boyutlar açısından farklılıklar görülmektedir. Bu nedenle literatürdeki modeller ve IMPULS modeli incelendikten sonra uzman görüşleri neticesinde Endüstri 4.0 olgunluk modeli oluşturulmuştur. Bu modelin diğer modellerden temel farklılığı 7 temel boyutta olmasıdır. Modelde yer alan boyutlar Akıllı Fabrika, Akıllı Operasyonlar, Çalışanlar, Yatay ve Dikey Entegrasyon, Strateji ve Organizasyon, Büyük Veri ve Bilgi Teknolojileri boyutlarıdır. Bu boyutlar işletmenin Endüstri 4.0’a giden yolda edinmesi gereken aşamalar olmakla birlikte bu boyutlar açısından değerlendirme yapmak gerekmektedir.

Tablo 5.2’de tezde kullanılan model yer almaktadır. Modelin diğer modellerden farklılıklarına gelindiğinde ise 7 boyutta ele alınması ve araştırma soruları ile farklılaşmaktadır. Aynı zamanda model değerlendirilirken araştırma soruları odak grupta ağırlıklandırılmıştır. Boyutların ağırlıklandırılması ise anket çalışmasına katılan firma temsilcilerinin yanıtlarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Ağırlıklı ortalama alınarak hesaplanan Endüstri 4.0 sonucu 1. yaklaşım olarak ele alınmıştır. 2.yaklaşımında ise boyut seviyelerinin önem dereceleri eşit alınarak Endüstri 4.0 sonucu paylaşılmıştır. 3. yaklaşımında ise uzman görüşleri alınarak Endüstri 4.0 seviyesi hesaplanmıştır. Uzman görüşleri Endüstri 4.0 konusunda bilgi sahibi 14 uzmandan gelen yanıtların ortalamaları alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Endüstri 4.0 sonucu aynı zamanda boyutlar bazında da incelenerek paylaşılmıştır.

**Tablo 5.2:** Tezde Önerilen Model

Ana Boyut	Kimlik	Özellikler - Strateji	Referans Tanımı	Alınan Referans Kaynağı
Akıllı Fabrika	A1.	Üretim modelinin otomasyon seviyesi	Birbiri ile entegre, otomatize ve optimal üretim akışının yer aldığı sistemler Endüstri 4.0'ın yapıtaşlarından biridir.	TÜSİAD, (2016)
	A2.	Üretim hattının esnekliği	İmal edilen ürünlerin değişen ürün seçeneklerine ve üretim tekniklerine kolaylıkla adapte edilebilmesi üretim hattının esnekliği ile sağlanır.	Uzman Görüşü
	A3.	Akıllı robotların varlığı	Robot teknolojilerin varlığı üretimin daha esnek ve işbirliğine uygun bir şekilde üretimin gerçekleşmesini sağlamaktadır.	TÜSİAD, (2016)
	A4.	İş kazalarını önleyici sensörlerin varlığı	İşletmelerde iş kazalarını önleyici sensörlerin yer alması işletmelerde iş güvenliğini sağlama açısından önem arz etmektedir.	Uzman Görüşü
	A5.	Makine ile Makine İletişimi	M2M iletişiminin sağlanması üretim sürecindeki eşgüdümlemenin kusursuz ve tam zamanında olmasını sağlayacaktır.	Pamuk ve Soysal (2018)
	A6.	3D Yazıcıların varlığı	Müşterilerin isteklerine yönelik özel ürünler 3D yazıcılar sayesinde kolaylıkla modellenebilecektir.	Bağcı (2018)
	A7.	Makinaların üretimi durdurma yeteneği	Makinaların üretimi durdurma yeteneğine sahip olarak sorunları düzeltmek adına sinyal vermektedir.	EBSO (2015)

**Tablo 5.2** (devam)

<b>Ana Boyut</b>	<b>Tanım</b>	<b>Özellikler - Strateji</b>	<b>Referans Tanımı</b>	<b>Alınan Referans Kaynağı</b>
Akıllı Operasyonlar	B1.	RFID Teknolojisinin varlığı	Akıllı fabrikalarda işlem gören hammaddelerde okunabilen ve yazılabilen RFID etiketleri kullanılabilir.	Wang ve diğ., (2015)
	B2.	Sevkiyat robotlarının kullanımı	Sevkiyat robotları ve otonom nakil araçlarının varlığı ile üretimdeki işgücü verimliliğinin artması beklenmektedir.	TÜSİAD, (2016)
	B3.	Otonom Nakil Araçlarının kullanımı (AGV)	Akıllı depo ve şirket içi lojistik çözümleri ile uçtan uca üretim planlaması yapılması ve AGV kullanan sevkiyat sistemleri sayesinde teslim süreleri kısaldı, stok yönetimi daha verimli hale gelecektir	TÜSİAD, (2016)
	B4.	Depo operasyonlarının online izlenebilmesi	Depo sistemlerinde "Depo Yönetim Sistemleri" etkisi hızla artmaktadır. AS/RS ve RFID teknolojileri de depo yönetim sistemi için ayrılmaz bir parça olmaktadır.	Öztemel ve Gürsev, (2018)
Bilgi Teknolojileri	C1.	Yazılım ve donanım sistemlerinin güvenilirliği	Siber fiziksel sistemler için yüksek güvenilirlikte, yeniden ayarlanabilen ve birçok uygulamada yer alan, sertifikalı ve güven endişesi bulunmayan yazılım ve donanım gereksinimine ihtiyaç bulunmaktadır .	Baheti ve Gill, (2011)
	C2.	Konsolide eden ara katman yazılımların varlığı	Prosesten ve sensörlerden gerçek zamanlı bilgi toplayan ve diğer sistemler tarafından kullanılacak platformlarda konsolide eden ara katman yazılımlar	TÜBİTAK, (2017)
	C3.	Veri analiz departmanı varlığı	Büyük veri ile ortaya çıkan bilgi yığını yönetebilmede veri analiz departmanlarının işletmelerde kurulması gerekmektedir.	Uzman Görüşü
	C4.	Sızma testlerin varlığı	Endüstriyel ağlar ve SCADA sistemleri için sızma tespit ve önleme çözümleri işletmeler için bir konu olmaktadır.	TÜBİTAK, (2017)

**Tablo 5.2** (devam)

Ana Boyut	Tanım	Özellikler - Strateji	Referans Tanımı	Alınan Referans Kaynağı
Büyük Veri	D1.	Otomatik veri toplama işlemi	Endüstri 4.0 sayesinde üretim sistemlerinin yanı sıra kurumsal ve müşteri bazlı yönetim sistemleri gibi farklı kaynaklardan gelen verilerin toplanmasının ve kapsamlı olarak değerlendirilmesinin, gerçek zamanlı karar verme süreçlerinde standart hale getirilmesi öngörülmektedir.	TÜSİAD, (2016)
	D2.	Büyük Veri Kullanılabilirlik Düzeyi	Yarı iletken malzemeler üreten “Infineon Technologies” üretim sürecinin sonundaki test aşamasında tek çipten elde edilen veriler ile sürecin önceki aşamalarında elde edilen süreç verilerini ilişkilendirerek ürün hatalarını azalttı.	TÜSİAD, (2016)
	D3.	Bulut Sistemlerin Varlığı	Sanayi 4.0’ın “Akıllı Fabrikaları” iş ihtiyacını sensörlerle algılayıp, uzaktaki diğer üretim araçlarıyla internet vasıtasıyla iletişim kurup, ihtiyaç duydukları üretim bilgisini bulut sistemler içerisindeki Büyük Veriden çeken akıllı makineler ve sistemleri içermektedir.	Alçın, (2016)
Strateji ve Organizasyon	E1.	Personel ihtiyacını karşılayabilme durumu	Endüstri 4.0 işletmenin verimliliğini, rekabetini, gelirini arttırmakta ve teknik bilgisi yüksek personele ihtiyaç duyulması ile birlikte yüksek maaşlı işte çalışan sayısında artış olmaktadır.	Ötleş ve Özyurt (2016)
	E2.	Endüstri 4.0 adına kaynakların yeterliliği	Endüstri 4.0’ın endüstriyel işgücünde önemli bir etkisi bulunmakta ve sebep olarak, Endüstri 4.0’ın yeni yeteneklere olan ihtiyacı bulunmaktadır söylenebilir.	Lorenz ve diğ., (2016)
	E3.	Mevcut İşgücü Profiline Yeterliliği	Gelecekte nitelikli olmayan işçilik gereksiniminde 400-500 bine kadar azalma olması beklenmekte ve 100 bine kadar da yüksek nitelikli çalışan ihtiyacı olması beklenmektedir.	TÜSİAD, (2016)
	E4.	Endüstri 4.0 adına yatırımlar yapılmaz düzeyi	Türkiye’de Siemens ve Koç Sistem gibi şirketler, dünya genelinde ise IBM ve Oracle gibi uluslararası yabancı firmalar nesnelere interneti alanında ciddi yatırımlar yapmaktadırlar.	Pamuk ve Soysal, (2018)
	E5.	Endüstri 4.0 yol haritası	Türkiye sanayisinin gelişmesinde ve rekabetçiliğinin artırılmasında Endüstri 4.0 rol oynamaktadır.	TÜSİAD, (2016)
	E6.	Şirket vizyonu içerisindeki Endüstri 4.0’ın konumu	Vizyon belirleme çalışmalarında Endüstri 4.0’ın yer alması işletmelerin Endüstri 4.0’a yakınlığının bir aracı olmaktadır.	Uzman Görüşü
	E7.	İşletmenin eğitime verdiği önem	Endüstri 4.0 ile birlikte işletmelerin gereken eğitime önem vermeleri ve eğitim planlarına Endüstri 4.0’ı dahil etmeleri gerekmektedir.	Uzman Görüşü

**Tablo 5.2** (devam)

Ana Boyut	Tanım	Özellikler - Strateji	Referans Tanımı	Alınan Referans Kaynağı
Çalışanlar	F1.	Yeniliklere adapte olabilme seviyesi	Çalışanlar Endüstri 4.0'ın adapte edilme sürecinde bir rol oynamakta ve yeniliklere adapte olabilme seviyeleri Endüstri 4.0'a ne derece yakın olduklarını göstermektedir.	Uzman Görüşü
	F2.	Çalışanların organizasyonel değişime gösterdiği direnç	Endüstri 4.0'ın adaptasyonu süresince çalışanlar bu değişikliklere bir takım direnç gösterme eğilimindedirler.	Uzman Görüşü
Dikey ve Yatay Entegrasyon	G1.	Yatay entegrasyon	Yatay Entegrasyon, üretim ve planlama sürecindeki her bir adımın kendi arasında, ayrıca farklı işletmelerin üretim ve planlama süreçlerindeki adımlar arasında kesintisiz bir akış sağlamak anlamına geliyor. Bu entegrasyon; ham madde tedarikinden tasarıma, üretime, pazarlamaya, sevkiyata kadar her noktayı kapsıyor. Farklı işletmeler arasında kurulan Yatay Entegrasyon yeni iş modellerinin geliştirilmesine de olanak yaratıyor	SIEMENS, (2016)
	G2.	Şirket içi sistemlerin dikey entegrasyonu	Dikey Entegrasyon süreçler arasında değil, tüm süreçlerde kullanılan teknolojik altyapıda kesintisiz bir iletişim ve akış sağlamak anlamına geliyor. Örneğin üretim alanındaki sensörler, aktüatörler, vanalar, motorlar, kumanda panelleri, üretim yönetimi sistemleri, kurumsal kaynak planlama yazılımları, iş zekası uygulamaları gibi birimlerin entegrasyonu bu kapsamda ele alınıyor.	SIEMENS, (2016)



Olgunluk Modeli son haline getirildikten sonra Google dokümanlar üzerinden anket platformu oluşturulmuştur. Anket platformu hazır olduktan sonra da anket çalışmasının kimlerle yapılacağı ve hangi firmalara iletileceği konusu tartışılmıştır. Anket çalışmasının gönderileceği firma listesi hazırlanmış ve firmalara email, yüz yüze görüşmelerle ya da telefonla ulaşılmıştır. Yaklaşık 2 aylık bir sürede sahadan veri toplanarak elde edilen veriler excele aktarılarak anket sonuçlarının analizlerine başlanmıştır. Gruplama yapılarak sektör sayısı 6 'ya indirgenmiştir. Sektör sonuçları da radar grafikleri ile gösterilmiştir.

Daha sonra sektör bazında Endüstri 4.0 sonuçlarının yanı sıra örneklem alınan bir işletmede TOPSIS yöntemi kullanılarak firmanın Endüstri 4.0'ı yakalayabilmesi için hangi projelere öncelik vermesi gerektiği konusunda projelerin önceliklendirilmesi çalışması yapılmıştır. Proje önceliklendirilmesinde kriterlerin ağırlıklandırılmalarında Saaty'nin 1-9 skalası kullanılarak uzman görüşlerinden gelen bilgilerin geometrik ortalamaları alınarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Uzmanlar kriterlerin ikili karşılaştırmalarında Thomas Saaty'nin 1-9 skalasını kullanarak kriterlere puanlama yapmışlardır. Yapılan puanlamalar neticesinde de her bir uzmanın verdikleri puanların geometrik ortalamaları alınarak kriterlerin ağırlıkları bulunmuştur.

## 5.2 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi Yoon ve Hwang tarafından 1980 senesinde Electre yönteminin yaklaşımlarına dayanarak ortaya atılmıştır. Çözüm süreci Electre ile kıyaslanıldığı zaman daha kısa olduğu gözükmemektedir. Ana prensibi karar noktalarının ideal çözüme yakınlığıdır. Çözüm süreci 6 temel adımda tanımlanır (Yaralioğlu, 2019).

### **Adım 1: Karar Matrisi (A) Oluşturulması**

Öncelikli olarak karar matrisi tanımlanarak çözüme başlanır. Karar noktaları satırları ifade ederken, sütunlar karar vermede kullanılacak olan değerlendirme faktörlerini içerir. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisi olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir (Yaralioğlu, 2019).

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$A_{ij}$  matrisinde karar noktası sayısını  $m$ ,  $n$  ise değerlendirme faktörü sayısını ifade eder.

### Adım 2: Standart Karar Matrisinin ( $R$ ) Oluşturulması

$A_{ij}$  matrisi kullanılarak standart karar matrisi oluşturulmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5.2)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

### Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin ( $V$ ) Oluşturulması

$R$  matrisinin her bir sütunundaki elemanları ile değerlendirme faktörüne ilişkin ağırlık değerleri çarpılarak  $V$  matrisi bulunur. Değerlendirme faktörüne ilişkin ağırlık değerlerinin toplamı 1 olmalıdır (Yaralioğlu, 2019).

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

#### **Adım 4: İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması**

İdeal çözüm için  $V$  matrisindeki sütun değerlerinin en büyüğü seçilirken, negatif ideal çözüm için ise en küçük değer seçilir. Her iki çözüm seti  $m$  elemandan oluşmaktadır. Sebebi ise değerlendirme faktörü sayısı kadar içeriyor olmasıdır (Yaralioğlu, 2019).

#### **Adım 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması ve İdeal Çözüme Göre Yakınlık Hesaplaması**

Her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme faktörünün İdeal ve negatifideal çözüm setinden sapmaları Euclidian Uzaklık Yaklaşımı kullanılarak bulunur. Euclidian Uzaklık Yaklaşımı hesabı neticesinde İdeal Ayırım ( $S_i^+$ ) ve Negatif İdeal Ayırım ( $S_i^-$ ) Ölçüsü bulunur (Yaralioğlu, 2019).

İdeal çözüme görelî yakınlık ( $S_i^*$ ) olarak ifade edilmektedir. ( $S_i^*$ ) hesabı ideal ve negatif ideal ayırım ölçüleri kullanılarak bulunur. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır (Yaralioğlu, 2019).

## 6. UYGULAMA VE BULGULAR

Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerinin belirlenmesi adına literatürde yapılan incelemeler sonucuna göre Endüstri 4.0 bileşenleri olarak; Akıllı Fabrika, Akıllı Operasyonlar, Bilgi Teknolojileri, Büyük Veri, Strateji ve Organizasyon, Çalışanlar, Dikey ve Yatay Entegrasyon olmak üzere yedi boyut belirlenmiştir. Yöntem olarak ise kantitatif araştırmalar yöntemi kullanılmıştır. Literatürde Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi modellerinin incelenmesi neticesinde yeni bir model bu tez çalışmasında önerilmiştir. Olgunluk seviyesi modelinin belirlenmesi ile birlikte anket çalışması yapılmaya karar verilmiştir. Anket çalışması katılımcılara eposta anketleri gönderilerek ve ya organize sanayide yer alan firma listelerine ulaşılarak tamamlanmıştır. Anket çalışmasında farklı sektörlerle ulaşılmaya çalışılarak farklı sektörlerden 72 farklı firma ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Katılımcılardan gelen cevaplar sonucunda sektör gruplaması yapılarak sektör çıktıları hesaplanmıştır. Böylelikle sektörler arası kıyaslamalar yapılmıştır. Çalışmaya katılan sektörler Metal, Maden Sektörü, Diğer Sektörler (mobilya vb sektörler), Tekstil, Hazır Giyim Sektörü, Gıda Sektörü, Otomotiv Sektörü, Elektrik ve Elektronik, Enerji Sektörü olmak üzere 6 farklı sektör olarak gruplandırılmıştır.

Anket çalışmasında her bir Endüstri 4.0 bileşeninin alt kırınımlarında yer alan anket soruları için katılımcılardan beş farklı cevap seçeneğinden birini işaretlemeleri istenmiştir. Her bir sorunun referansı sorunun yanına açıklaması ile birlikte eklenerek katılımcının her bir soruyu net olarak algılaması hedeflenmiştir. Cevap seçenekleri 1 en düşük 5 en yüksek olacak şekilde hazırlanmıştır. Fakat 1-5 skalası olarak değerlendirmeleri istenmemiştir. 1-5 skalası anketin arka planında yer almaktadır.

Boyutların önem dereceleri her bir katılımcıdan 1-5 skalasında değerlendirme yapmaları istenerek ortaya çıkarılmıştır. Tüm sektörlerin genel ortalama Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi puanı ve her bir sektörün Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi puanları ağırlıklandırılmış ortalama hesaplanarak elde edilmiştir.

Anket çalışması hazırlanırken literatürdeki Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi konulu çalışmalar ile IMPULS metodolojisi incelenerek, Endüstri 4.0 konulu seminere katılarak ve internet aracılığıyla konuşmalar dinlenerek araştırma soruları belirlenmiştir. Nihai anket çalışması uzman görüşleri alınarak tamamlanmıştır.

Araştırma sorularının her birinin temel boyutunun neler olduğu incelenerek araştırma soruları gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmalar neticesinde bir işletmenin Endüstri 4.0 seviyesini ölçme aracı olarak yedi temel boyut oluşturulmuştur.

Olgunluk seviyesini ölçme aracı olarak kullanılan temel boyutlar;

- Akıllı Fabrika
- Akıllı Operasyonlar
- Bilgi Teknolojileri
- Büyük Veri
- Strateji ve Organizasyon
- Çalışanlar
- Dikey ve Yatay Entegrasyon

Anket çalışması Google formlar üzerinden oluşturularak katılımcılara iletilmiştir. Anket çalışmasının ilk kısmında işletme bilgileri alanı oluşturulmuştur. Bu alanda işletme ile alakalı demografik sorular sorulmuştur. Bu sorular neticesinde katılımcılar sektör bazında ayrılmıştır. Sektör bazında çalışan sayıları sorularak işletmenin büyüklüğü konusunda bilgi sahibi olunmuştur. İşletme üretim yapısı ile ilgili araştırma sorusu eklenerek üretimin siparişe göre mi yoksa stoğa göre mi yapıldığı hakkında bilgi alınmıştır. Firmalarda eğer müşteri odaklı bir üretim yapıyorsa eğer bu firmaların Endüstri 4.0'ı daha çok önemsemeleri gerekmektedir. Stok üretimi yapan bir firma için Endüstri 4.0 ise çok da önemli olmayacaktır.

Araştırma sorularından biri de yatayda (işletmenin tedarikçilerle bağlılığı) ve dikeyde bağlılık (ERP vb yazılımların kullanımı) sorularıdır. Bu soruların önemi şu noktada ortaya çıkmaktadır; Firmada dijital dönüşüm yapılmak istenildiğinde müşteriler ve tedarikçiler açısından etkisinin ne olacağı konusu da devreye girmektedir.

Dijitalleşme problemlerini firmalar tek başına çözmektedir ama tedarik zinciri boyunca hep birlikte dijitalleşme problemleri çözülebilir. Bu da müşteri odaklılık adına rekabetçiliğin birleşmesi ve tedarik zinciri boyunca yer alan müşteriler ve tedarikçilerin dijitalleşmeye önem vermelerini ve birlikte çalışmalarını gerektirmektedir.

Temel boyutlardan biri olan Akıllı Fabrika boyutunda işletmede uygulanan üretim modelinin otomasyon seviyesinin ne olduğu sorulmuştur. Üretim esnekliği düzeyi araştırma sorusu ile işletmenin tek tip yığın üretim mi yapıldığı yoksa tamamen esnek bir üretim ile bütün ürünleri tek bir hatta üretilip üretilmediği öğrenilmiştir. Akıllı robotlarla ilgili olan araştırma sorusu ile işletmede akıllı robot kullanımının olup olmadığı öğrenilmiştir. İş kazalarını önleme sistemlerinin işletmede var olması araştırma sorusu ile de işletmenin iş kazalarını önleyici sensörleri ne düzeyde kullandığı bilgisi edinilmiştir.

Makinalar arasında iletişim kurabilme (M2M) yeteneği ile makinalar IT tarafından kontrol edilebilir ve entegrasyon sağlanabilir. Makineler arasında kablosuz haberleşme sayesinde üretim hatları daha çevik ve süreçler uçtan uca birbiri ile bağlantılı olabilir ve üretim hattının ne zaman çalışmayacağı tahmin edilebilir. Makineler arası haberleşme sistemlerinin varlığı araştırma sorusu olarak Akıllı Fabrika boyutunda ele alınmıştır.

Akıllı Operasyonlar boyutunda RFID teknolojilerinin varlığı, üretim sürecinin ihtiyacı olan malzemelerin otomatik olarak bulunması işlemini yapan sevkiyat robotlarının varlığı, AGV sistemlerinin olup olmaması ve Depo Yönetim Sistemlerinin varlığını ölçebilmek adına depo operasyonlarının ne derecede online olarak izlendiği ve operasyonlardaki mekanizmaların otomatik olarak birbirini tetikleme durumu araştırma sorusu olarak yer almıştır.

Bilgi Teknolojileri boyutu Endüstri 4.0'a giden yolda işletmelerin ihtiyaç duydukları ve ele alınması gereken bir boyuttur. Makinalar arası iletişim, makinalardan otomatik veri toplama ya da makinaya üretimle ilgili olan parametrelerin otomatik olarak sistem üzerinden aktarılması, depo operasyonlarını ve üretim süreçlerini otomatik takip edebilmede kısacası dijitalleşmeye giden yolda Bilgi Teknolojileri karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda yazılım ve donanım sistemlerinin ne derece güvenilir olduğu ve sensörlerden gerçek zamanlı olarak bilgi toplayan ve diğer sistemler tarafından kullanılacak platformlarda konsolide eden ara katman yazılımların işletmede ne derecede kullanıldığı ile ilgili araştırma soruları ankete eklenmiştir. Endüstri 4.0 ile birlikte makinalardan toplanan verilerin işlenmesi ve analiz edilebilmesi adına işletmelerde veri analiz departmanının olması gerekmektedir.

Bir diğerk araştırma sorusu bununla ilgilidir. Son araştırma sorusu da güvenilirliğı ölçen sızma testlerin işletmede uygulanması ile ilgilidir.

Büyük veri boyutunda makinalardan otomatik veri toplama işleminin olup olmaması, büyük veri kavramını kullanabilme yeteneğı ve bulut sistemlerin varlığı ele alınmıştır. Strateji ve organizasyon boyutunda yer alan araştırma soruları aşağıdaki gibidir;

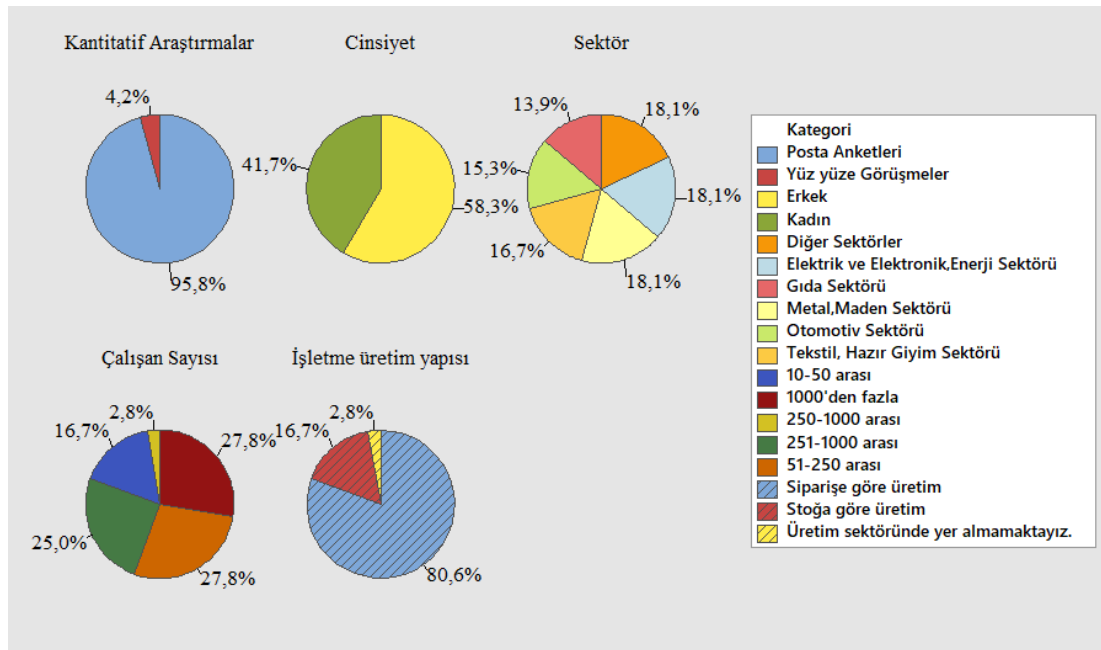
- Endüstri 4.0'u entegre edebilmede ve entegrasyon sonrasında Endüstri 4.0 ile birlikte gelen teknik bilgisi yüksek personel ihtiyacı için bu ihtiyacı bulabilecek bir ortam bulunmakta mıdır?
- Endüstri 4.0'ı işletmeye entegre edebilme ve dijitalleşmeyi sağlayabilmek adına işletmede bütçe ayrılmış mıdır ?
- Endüstri 4.0 için yeterli yetkinlikte çalışan profiline sahip olduğunuzu düşünüyor musunuz?
- Şirketinizde Endüstri 4.0 adına yatırımlar yapılmakta mıdır ?
- İşletmenizde Endüstri 4.0 ve dijitalleşme için bir yol haritası oluşturulmuş mudur ?
- İşletmenizde Endüstri 4.0 konusunda vizyon ifadesi yer almakta mıdır?
- İşletmenizde Endüstri 4.0 hakkında çalışanlarınıza herhangi bir eğitim verdiniz mi?

Çalışanlar boyutunda çalışanların Endüstri 4.0'la gelecek olan yeniliklere adapte olma seviyeleri ve Endüstri 4.0 ile gelecek olan organizasyonel değışiklere karşı çalışanların direnç gösterme durumları ele alınmıştır. Son boyut olan Dikey ve Yatay Entegrasyonda işletmenin yatayda bağılılığı ve dikeyde (ERP vb yazılımlarla) bağılılık seviyesi irdelenmiştir.

İşletmelerden elde edilen veriler neticesinde 72 firmanın ortalama Endüstri 4.0 puanı ve her bir boyut bazında Endüstri 4.0 puanı hesaplanmış ve radar şeması ile gösterilmiştir. Demografik bilgiler sınıflandırılmış ve istatistiksel araçlar kullanılarak gösterilmiştir. Firmaların sektör bazında dağılımlarının pareto ve pasta grafiğı ile gösterimi, çalışan sayısı dağılımları, işletme üretim yapısı dağılımları ve kantitatif araştırmaların hangi oranda posta anketleri ve hangi oranda yüzyüze görüşme aracılığıyla yapıldığının gösterimi grafiklerle gösterilmiştir.

Çalışmada veri toplama planı kullanılmıştır. Veri toplama planı katılımcılara nasıl ulaşılacağı ve hangi katılımcılara gönderileceği konusunda bir yol haritası çizmektedir. Anket çalışması firmalarda temsilci seçilerek firma temsilcisine gönderilerek uygulanmıştır. Gelen veriler MS Excel ve Minitab kullanılarak analiz edilmektedir.

Katılımcıların %16,7'si tekstil, hazır giyim sektöründen, %18,1'u elektrik ve elektronik, enerji sektöründen, %15,3'lük bölümü otomotiv sektöründen, %18,1'i diğer sektörlerden, %18,1'i metal ve maden sektöründen, %13,9'u gıda sektöründendir. Katılımcılar belirlenirken farklı sektörlerden farklı firmalara ulaşarak homojen bir dağılım olmasına dikkat edilmiştir. Katılımcıların bir çoğu firma yetkililerinden seçilmiştir ve genel olarak firmalarda mühendis pozisyonunda görev almaktadır.



Şekil 6.1: Tüm Sektörlerin Demografik Sonuçları.

Çalışmaya katılanların % 41,7'si kadın katılımcı, % 58,3'ü erkek katılımcıdır. İşletme üretim yapısı dağılımına baktığımızda % 80,6'sı siparişe göre üretim yapan firmaları temsil ederken, % 16,7'si stoğa göre üretim yapan firmaları temsil etmektedir. Üretim sektöründe yer almayan % 2,8'lik kısım diğer sektörler içerisine dahil edilmiştir.

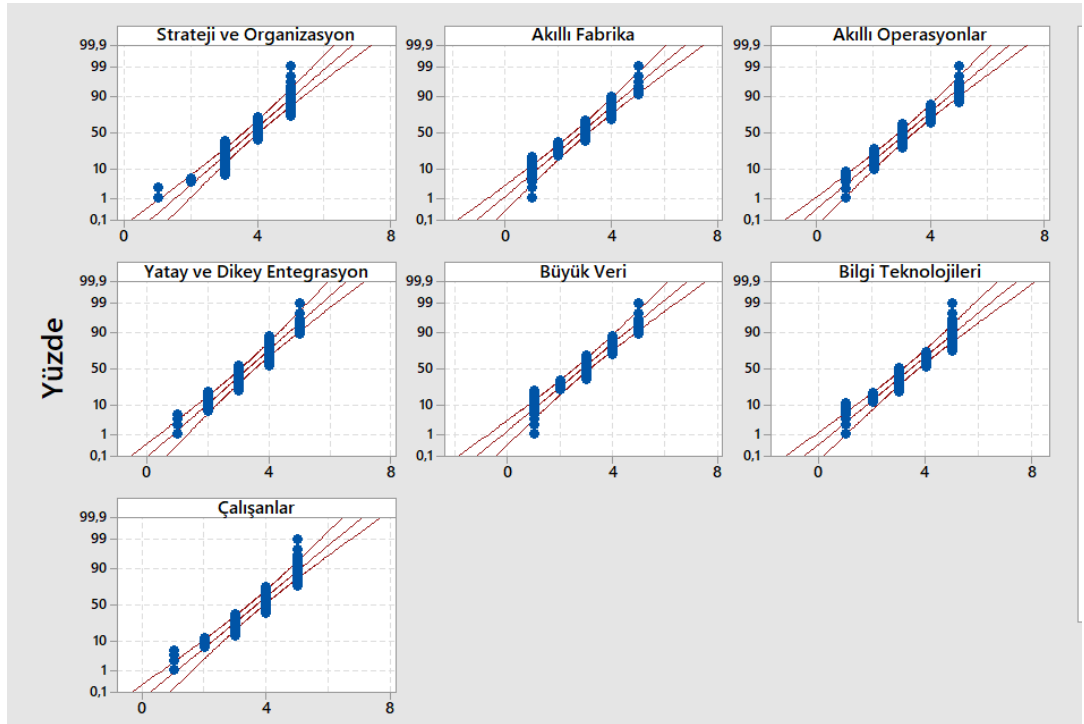


Veri toplama formları yüzyüze görüşmeler ve posta anketleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların % 4,2'sine yüzyüze görüşmelerle, kalan % 95,8'ine ise posta anketleri ile ulaşılmıştır. Şekil 6.1 pasta grafiği ile gösterimi bulunmaktadır. Çalışan sayıları işletme bilgilerinde sorularak tüm sektörlerin çalışan sayısı dağılımları Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.1:** Sektörlerin Çalışan Sayısı Dağılımları

Çalışan Sayısı	Elektrik ve Elektronik, Enerji Sektörü	Gıda Sektörü	Metal ve Maden Sektörü	Otomotiv Sektörü	Tekstil, Hazır Giyim Sektörü	Diğer Sektörler
1000'den fazla	2	5	2	7	2	2
10-50 arası	2	1	5	1	2	2
251-1000 arası	3	1	4	2	6	3
51-250 arası	6	3	2	1	2	6

Katılımcılardan gelen boyutlara verilen önem puanları (ağırlıklandırma) ve katılımcıların yanıtladıkları araştırma sorularının ortalamaları, standart sapmaları ve medyan değerleri hesaplanmıştır. Katılımcıların boyutlara verdikleri önem puanlarının dağılımı Şekil 5.2 'de gösterilmektedir.

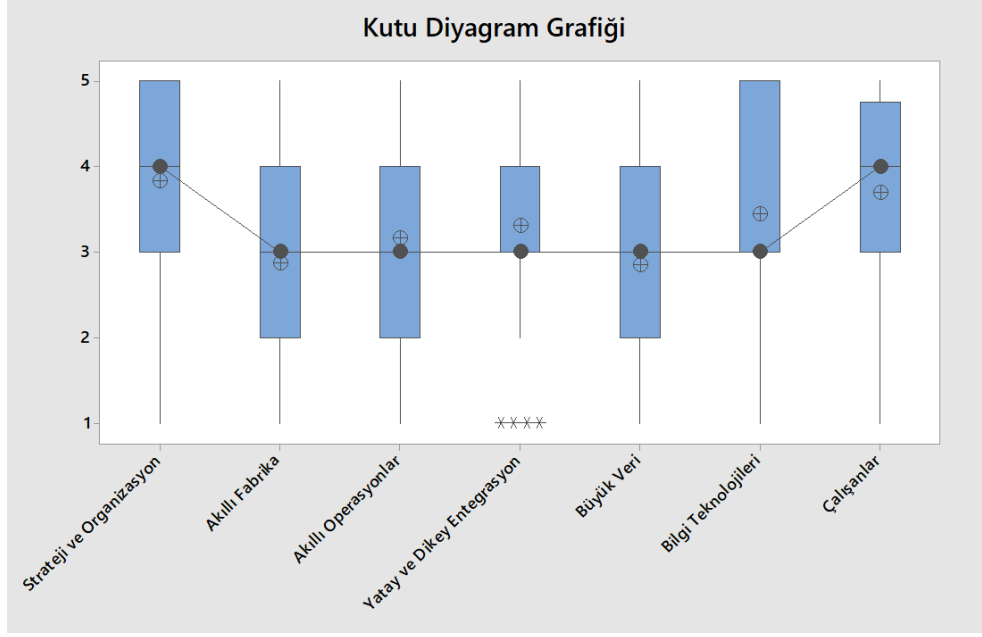


**Şekil 5.2:** Endüstri 4.0 Boyutlarının Önem Puanları.

**Tablo 6.2:** Boyut Puanlarının Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

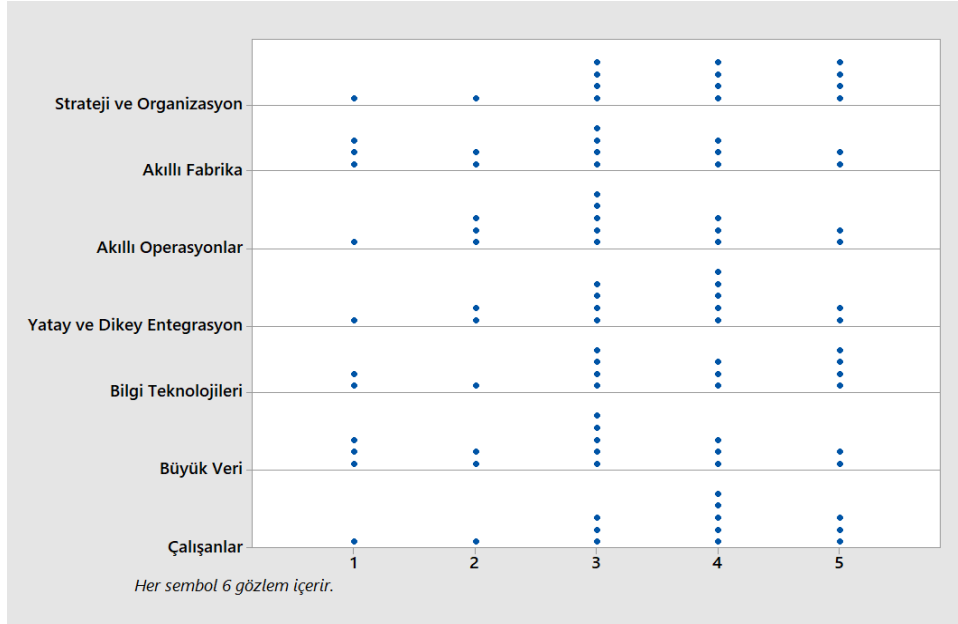
Boyut	$N$	$\bar{x}$	$\sigma$
Strateji ve Organizasyon	71	3,83	0,985
Akıllı Fabrika	71	2,87	1,26
Akıllı Operasyonlar	72	3,167	1,163
Büyük Veri	72	2,847	1,285
Bilgi Teknolojileri	72	3,444	1,277
Çalışanlar	72	3,694	1,096
Yatay ve Dikey Entegrasyon	72	3,306	1,043

Boyut puanlarının ortalamalarının ve standart sapmalarının hesaplanmasında 72 farklı firmadan gelen yanıtlar değerlendirilmiştir. Burada Strateji ve Organizasyon ile Akıllı Fabrika boyutlarında önem derecelerine verilen puanlardan bir veri, veri setinden çıkarılarak hesaplamalar yapılmıştır; dolayısı  $N=71$ 'dir. Histogram grafiklerine bakıldığında ortalama olarak en yüksek önem derecesi olan boyutlardan biri olarak Strateji ve Organizasyon boyutu gelmektedir. Firmalar Endüstri 4.0'a giden yolda kendi firmaları için Strateji ve Organizasyon boyutunun önemli olduğunu düşünmektedirler. Kutu diyagram gösterimi ile her bir boyutun ortalamaları ve değişkenlikleri karşılaştırılmaktadır. Önem puanları için verilerin en çok nerelerde dağıldığını anlayabilmek ve katılımcıların hangi sıklıkta hangi puanı verdiklerini görebilmek adına nokta grafiği gösterimi bulunmaktadır. Strateji ve Organizasyon boyutu için medyan değeri 4, ortalama 3,83 ve standart sapma değeri 0,985 olarak bulunmuştur. Akıllı Fabrika boyutunun ortalama değeri ise 2,87, medyan değeri 3 ve standart sapma değeri 1,26'dır. Tüm boyutların istatistiksel sonuçları bir sonraki sayfalarda paylaşılmıştır. Araştırma sorularına verilen puanların kutu diyagram gösterimi her bir soru bazında ortalamaları da gösterilerek Şekil 5.3'de bulunmaktadır.



Şekil 6.3: Endüstri 4.0 Boyutlarının Önem Puanları Kutu Diyagramı.

Endüstri 4.0 boyutlarına verilen önem derecelerine kutu diyagram gösteriminde bakıldığında işletmeler Strateji ve Organizasyon boyutunu önemli bulmaktadırlar. 72 farklı katılımcıdan gelen yanıtlar neticesinde Bilgi Teknolojilerine verilen puanların da yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.4: Endüstri 4.0 Boyutlarının Önem Puanları Nokta Grafiği.

Aşağıda yer alan Tablo 6.3’de anket çalışmasında yer alan araştırma sorularının tanımlayıcı istatistiksel sonuçları yer almaktadır. Modelde yer alan her bir araştırma sorusuna ait katılımcılardan gelen 1 ile 5 arasındaki yanıtların ortalaması ortalama satırında yer almaktadır. Her bir araştırma sorusunun standart sapması, verilen en büyük değer, en küçük değer ve kaç adet cevap alındığı ile ilgili istatistiksel bilgilere aşağıdaki tablo 5.3’de yer verilmiştir. Araştırma sorularından akıllı robotların kullanılma düzeyi, işletmede AGV kullanımı ile RFID kullanımının düzeyi ortalamasının en düşük olduğu araştırma sorularıdır. Bu da işletmelerin bu konularda ne kadar uzak olduğunu göstermektedir. Standart sapma ise sızma testlerinin işletmede kullanılması ile depo operasyonlarının online olarak izlenmesi sorularında diğer araştırma sorularına göre yüksek olduğu gözükmektedir.

**Tablo 6.3:** Anket Sorularının İstatiksel Çıktıları.

Araştırma Soruları	N	$\bar{x}$	$\sigma$	Ortanca
Üretim modelinin otomasyon seviyesi	72	2,9	1,4	3,0
Üretim esnekliği	72	3,2	1,4	4,0
Akıllı robotların kullanılma düzeyi	72	1,8	1,1	1,0
İş kazalarını önleyici sensörler	72	3,5	1,6	4,0
M2M	72	2,1	1,4	1,5
3D Yazıcılar	72	2,4	1,5	2,0
Makinaların hata ile karşılaştıklarında otomatik olarak kendini durdurabilme yetenekleri	72	2,9	1,8	3,0
RFID	72	1,8	1,4	1,0
Sevkiyat robotlarının kullanımı	72	1,5	1,3	1,0
AGV Kullanımı	72	1,7	1,3	1,0
Depo operasyonlarının online izlenmesi	72	2,5	1,6	2,0
Yazılım ve donanım sistemlerinin güvenilirliği	71	3,6	1,6	4,0
Konsolide edilmiş ara katman yazılımları	72	2,4	1,7	1,5
Veri analiz departmanının varlığı	72	2,4	1,7	2,0
Sızma testleri	71	2,4	1,7	1,0
Otomatik olarak veri toplama işlemi	72	2,4	1,6	2,0
Büyük veri kavramını kullanabilme yeteneği	72	2,1	1,3	1,0
Bulut sistemlerinin varlığı	72	1,9	1,5	1,0
Teknik bilgisi yüksek personel bulabilme (Çevre etkisi)	72	2,7	1,4	2,0
Endüstri 4.0 adına kaynakların yeterliliği	72	2,1	1,2	2,0
Endüstri 4.0 için yeterli yetkinlikte çalışan profili	72	2,4	1,2	2,0

**Tablo 6.3:** (Devam).

<b>Araştırma Soruları</b>	<b><i>N</i></b>	<b><math>\bar{x}</math></b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Ortanca</b>
Yatırımlar	72	2,0	1,2	2,0
Yol haritası	72	2,0	1,3	2,0
Vizyon	72	1,9	1,2	2,0
Eğitimler	72	1,8	1,2	1,0
Yeniliklere adapte olabilme seviyeleri	72	3,1	1,2	3,0
Çalışanların direnç gösterme durumu	72	3,3	1,1	3,0
Yatay Entegrasyon	72	3,1	1,2	3,0
Dikey Entegrasyon	72	3,0	1,2	3,0

Çalışmada Anova analizi kullanılarak her bir araştırma sorusunun ortalamaları arasında fark olup olmadığının tespit edilmesi için sıfır hipotezi ile alternatif hipotez kurulmuştur.

$H_0$ : Araştırma sorularının ortalamaları arasında fark yoktur.

$H_1$ : Araştırma sorularının ortalamaları arasında fark vardır.

**Tablo 6.4:** Tanımlayıcı İstatistikler 1.

Araştırma Soruları	$\bar{x}$	$\sigma$
Üretim modelinin otomasyon seviyesi	2,88	2
Üretim esnekliği	3,15	1,96
Akıllı robotların kullanılma düzeyi	1,79	1,27
İş kazalarını önleyici sensörler	3,5	2,45
M2M	2,1	1,89
3D Yazıcılar	2,4	2,1
Makinaların hata ile karşılaştıklarında otomatik kendini durdurabilme yetenekleri	2,9	3,22
RFID	1,78	1,98
Sevkiyat robotlarının kullanılması	1,51	1,66
AGV Kullanımı	1,67	1,8
Depo operasyonlarının online izlenmesi	2,53	2,65
Yazılım ve donanım sistemlerinin güvenilirliği	3,62	2,47
Konsolide edilmiş ara katman yazılımları	2,47	3,01
Veri analiz departmanı	2,42	2,78
Sızma testleri	2,41	3,02
Otomatik olarak veri toplama işlemi	2,44	2,53
Büyük veri kavramını kullanabilme yeteneği	2,06	1,8
Bulut sistemlerinin varlığı	1,92	2,11
Teknik bilgisi yüksek personel bulabilme (Çevre etkisi)	2,67	2,06
Endüstri 4.0 adına kaynakların yeterliliği	2,08	1,35
Endüstri 4.0 için yeterli yetkinlikte çalışan profili	2,43	1,4
Yatırımlar	2,04	1,48
Yol haritası	2,01	1,56
Vizyon	1,92	1,43
Eğitimler	1,82	1,53
Yeniliklere adapte olabilme seviyeleri	3,08	1,43
Çalışanların direnç gösterme durumu	3,28	1,27
Yatay Entegrasyon	3,1	1,36
Dikey Entegrasyon	2,96	1,42

**Tablo 6.5:** Anova Çıktısı 2.

Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	p	F ölçütü
Gruplar Arasında	667,1742	28	23,82	12,13	0,00	1,48
Gruplar İçinde	4040,096	2057	1,964			
Toplam	4707,27	2085				

Anova çıktılarına bakıldığında sıfır hipotezi F sonucu F ölçütünden yüksek olduğu için reddedilir ve alternatif hipotez olan gruplar arasında en az birinde farklılık olduğu hipotezi kabul edilir. Araştırma sorularının ortalamaları arasında en az birinde farklılık olduğu gözükmemektedir.

### 6.1 Sektörlerin Endüstri 4.0 Sonuçları

Sektörlerin boyut bazında ortalama puanları hesaplanırken her bir araştırma sorusu için katılımcıların verdikleri puanların ortalamaları ve odak grupta birlikte yapılan araştırma sorularının önem puanları alınmıştır. Matematiksel formülün gösteriminde  $O$ ; olgunluk,  $L$ ; boyut,  $I$ ; kalem,  $g$ ; ağırlık faktörü,  $n$  ise olgunluk seviyesinin kalem sayısını ifade eder.

$$O_L = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Lli} * g_{Lli}}{\sum_{i=1}^n g_{Lli}} \quad (6.1)$$

Genel ortalama Endüstri 4.0 puanı hesaplamasında da yukarıdaki matematiksel formül kullanılmıştır. Böylelikle ağırlıklandırılmış ortalama bulunarak sektör bazında ve tüm sektörlerin Endüstri 4.0'a yakınlık seviyeleri bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar ile sektörlerin boyut bazında Endüstri 4.0'a yakınlıkları belirtilmiştir. Örneklem alınan bir işletmede de departman bazında işletmenin boyut bazında Endüstri 4.0 puanı hesaplanarak disiplinler arası farklılıklar radar şemaları ile ortaya konulmuştur.



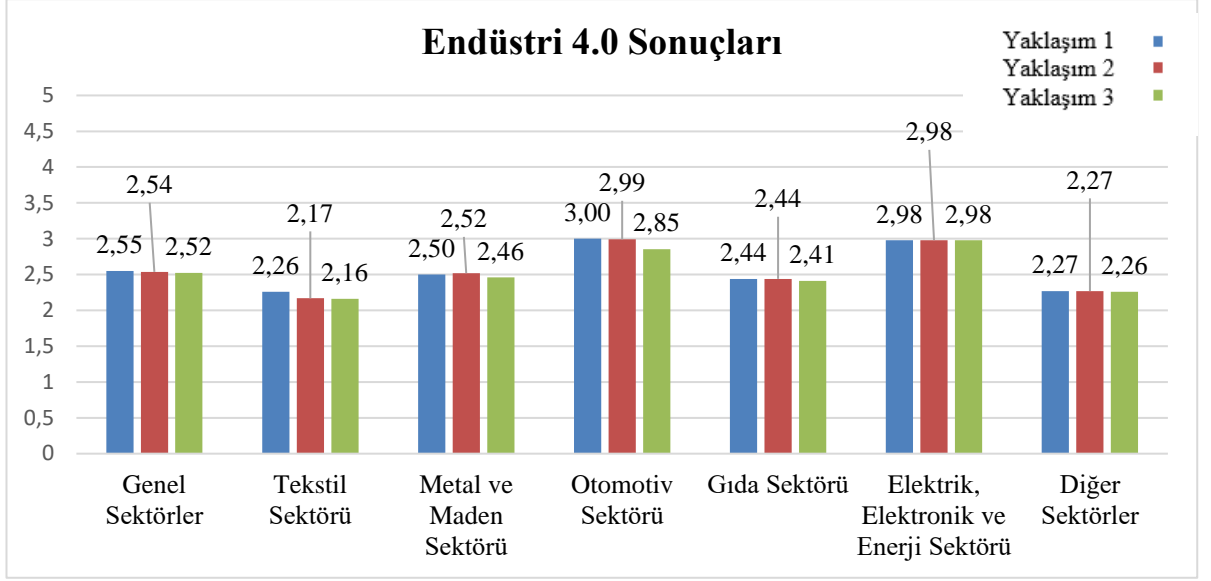
Hesaplamalar neticesinde 72 farklı katılımcı firmanın ortalama Endüstri 4.0 puanı 2,55 olarak bulunmuştur. Şekil 6.6’da boyut olarak gösterimi bulunmaktadır. Boyutlarda Akıllı Operasyonlar boyutu en düşük, en yüksek puan olarak da Çalışanlar bulunmuştur. Önem dereceleri eşit alınarak Endüstri 4.0 seviyesi 2,54 ve uzman görüşleri alınarak hesaplanan Endüstri 4.0 seviyesi ise 2,52 olarak bulunmuştur. Önem dereceleri eşit alınarak hesaplama yapıldığında boyut seviyesi en düşük olan boyut olarak Akıllı Operasyonlar, en yüksek boyut olarak ise Çalışanlar boyutu karşımıza çıkmaktadır. Aynı şekilde de uzman görüşleri alınarak hesaplamalar yapıldığında da Akıllı Operasyonlar en düşük boyutlu, Çalışanlar ise en yüksek boyut seviyesi olarak bulunmuştur.

Akıllı fabrika bileşenlerinde gerçekleştirmelere bakıldığında “İşletmenizde makinalar arasında iletişim bulunmakta mıdır? ” sorusu ikinci sırada en düşük puanı almıştır. Dijitalleşmeyi sağlayabilmek adına işletmelerin M2M ile ilgili çalışma yapmaları gerekmektedir. İşletmede akıllı robot kullanma düzeyi ile ilgili olarak işletmeler en düşük puanı alarak gelişime açık bir alan bulunmuştur.

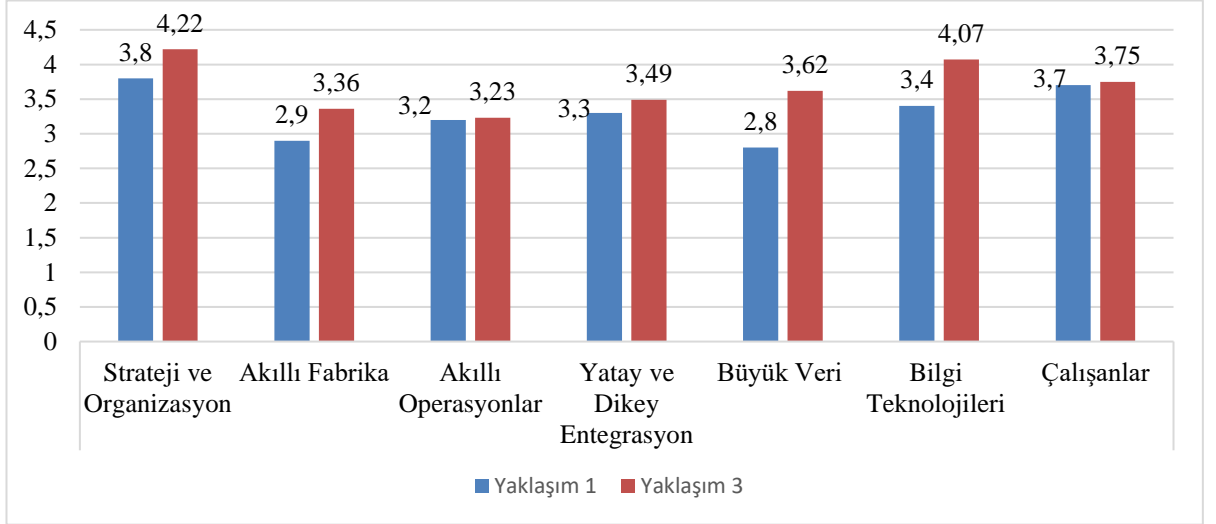
Akıllı Operasyonlar boyutunda gerçekleştirmelerde hedefe göre en uzak olarak “İşletmenizde üretim sahasında bir sonraki üretim sürecinin ihtiyacı olan malzemelerin otomatik olarak bulunması ve seçilmesi işlemi yapan sevkiyat robotları bulunmakta mıdır? ” araştırma sorusu olarak katılımcılardan 1,51 puan almıştır.

**Tablo 6.6:** Sektörlerin Boyut Bazında Endüstri 4.0 Sonuçları.

Değerlendirme Yöntemi	Sektörler	Strateji ve Organizasyon	Akıllı Fabrika	Akıllı Operasyonlar	Yatay ve Dikey Entegrasyon	Büyük Veri	Bilgi Teknolojileri	Çalışanlar
Yaklaşım 1	Tüm Sektörler	2,13	2,66	1,89	3,03	2,17	2,71	3,17
	Tekstil Sektörü	<b>1,73</b>	<b>2,44</b>	1,62	2,71	<b>1,43</b>	2,47	2,89
	Metal ve Maden Sektörü	2,1	2,7	1,7	2,8	2,1	2,6	<b>3,7</b>
	Otomotiv Sektörü	2,5	<b>3,2</b>	2,2	<b>3,6</b>	2,8	3,1	3,5
	Gıda Sektörü	1,99	2,9	<b>2,23</b>	<b>2,55</b>	1,94	2,61	2,82
	Elektrik, Elektronik ve Enerji Sektörü	<b>2,51</b>	2,76	2,2	3,65	<b>3,01</b>	<b>3,26</b>	3,53
	Diğer Sektörler	2,1	2,2	<b>1,6</b>	2,8	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,8</b>
Yaklaşım 2	Tüm Sektörler	2,1	2,7	1,9	3,0	2,1	2,7	3,2
	Tekstil Sektörü	1,7	2,4	<b>1,6</b>	2,7	1,4	<b>2,4</b>	2,9
	Metal ve Maden Sektörü	2,1	2,7	<b>1,6</b>	2,8	2,1	2,6	<b>3,7</b>
	Otomotiv Sektörü	<b>2,5</b>	<b>3,3</b>	2,2	3,6	2,7	3,1	3,5
	Gıda Sektörü	<b>2,0</b>	2,9	<b>2,3</b>	<b>2,6</b>	<b>1,9</b>	2,6	2,9
	Elektrik, Elektronik ve Enerji Sektörü	<b>2,5</b>	2,8	2,1	<b>3,7</b>	<b>2,9</b>	<b>3,3</b>	3,5
	Diğer Sektörler	2,1	<b>2,2</b>	1,7	2,8	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,8</b>
Yaklaşım 3	Tüm Sektörler	2,11	2,61	1,91	3,03	2,14	2,68	3,17
	Tekstil Sektörü	<b>1,70</b>	2,37	1,64	<b>2,71</b>	1,42	2,40	2,88
	Metal ve Maden Sektörü	2,03	2,53	1,65	2,89	2,06	2,49	<b>3,55</b>
	Otomotiv Sektörü	2,46	<b>3,06</b>	2,16	3,45	2,61	2,92	3,32
	Gıda Sektörü	1,95	2,84	<b>2,28</b>	2,55	1,93	<b>2,56</b>	<b>2,82</b>
	Elektrik, Elektronik ve Enerji Sektörü	<b>2,49</b>	2,79	2,19	<b>3,65</b>	<b>2,93</b>	<b>3,29</b>	3,53
	Diğer Sektörler	2,07	<b>2,18</b>	<b>1,63</b>	2,85	<b>1,85</b>	2,43	2,82



**Şekil 6.5:** Sektörlerin Hesaplanan Endüstri 4.0 Seviyeleri.



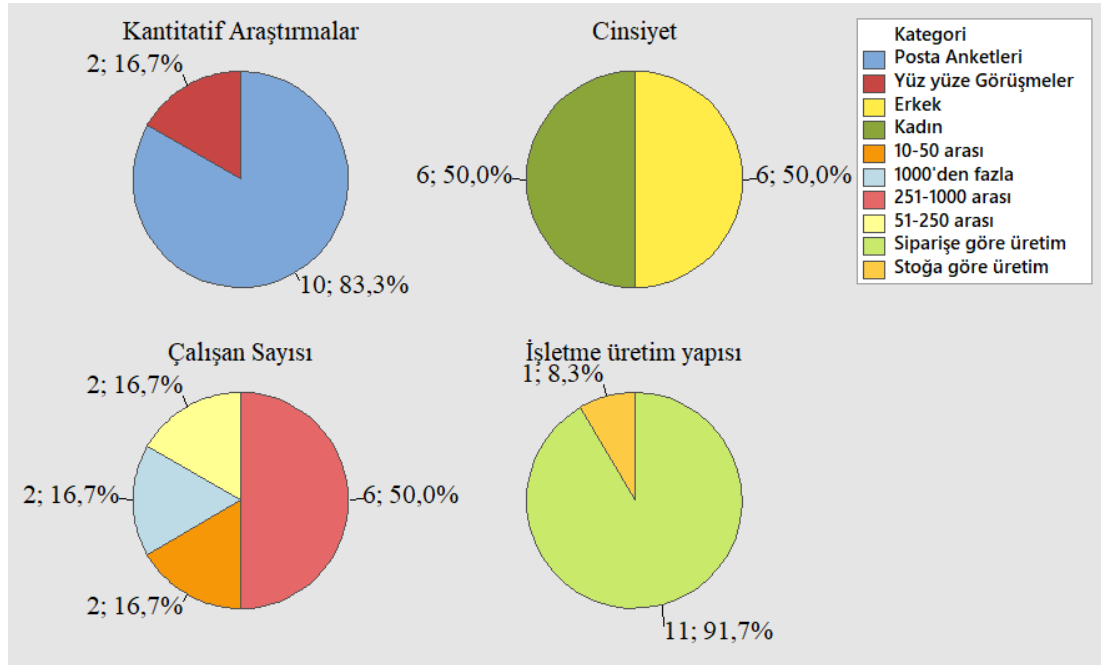
**Şekil 6.6:** Tüm Sektörlerin Boyut Bazında Önem Dereceleri.

Sektörlerin Endüstri 4.0 seviyeleri 3 farklı yaklaşımla hesaplanmıştır. İlk versiyonda 72 farklı firmadan alınan sonuçlara göre katılımcıların önem derecelerine ve araştırma sorularına verdikleri puanların ağırlıklı ortalamaları alınarak *genel sektörler* olarak bir Endüstri 4.0 seviyesi bulunmuştur. 72 farklı katılımcı sektör olarak gruplandırma yapılarak her bir sektöre o sektörde bulunan katılımcıların verdikleri puanlara göre ağırlıklı ortalama alınarak Endüstri 4.0 seviyesi hesaplanmıştır. Yaklaşım 1'e bakıldığında ortalama Endüstri 4.0 seviyesi 2,55 iken tekstil ve hazır giyim sektörü 2,26 puan alarak sektörler arasında Endüstri 4.0'a en uzak olan sektör olmuştur. Bunu diğer sektörler takip etmektedir. Metal ve maden sektörü 2,50 ile 2,55 olan ortalamamın altında kalmıştır. Gıda sektörü de 2,44 puan alarak ortalamamın

altındadır. Endüstri 4.0 seviyesi en yüksek olan sektör ise Otomotiv sektörü olarak bulunmuştur. 2,98 puan ile Elektrik, Elektronik ve Enerji sektörü Otomotiv sektörünü takip ederek Endüstri 4.0'a en yakın 2 sektörden biri olmuştur. Hesaplamaların 2. yaklaşımında önem dereceleri eşit alınmıştır. Önem dereceleri eşit alındığında Endüstri 4.0 seviyesi 2,54 bulunmuştur. Endüstri 4.0'a en yakın iki sektör Otomotiv ve Elektrik, Elektronik ve Enerji sektörü olmuştur. Tekstil sektörü ise en uzak sektör olmuştur. Hesaplamaların 3. yaklaşımında 14 uzmandan uzman görüşü alınarak ağırlıklı ortalamalar neticesinde 2,52 olarak Endüstri 4.0 seviyesi hesaplanmıştır. Uzman görüşleri neticesinde de Endüstri 4.0'a en yakın 2 sektör Otomotiv ve Elektrik, Elektronik ve Enerji Sektörü iken, en uzak sektör de Tekstil sektörü olmuştur.

### 6.1.1 Tekstil Sektörü

Dijitalleşmeye giden yolda çalışma yapılan sektörlerden biri olan Tekstil sektöründe potansiyel verimlilik artışının yaklaşık olarak %10-16 olması beklenmektedir. Toplam maliyette ise verimlilik artışı beklentisinin % 4-9 civarı olması tahmin edilmektedir (TÜSİAD, 2016). Çalışmaya katılan firmaların 12 tanesi Tekstil sektöründe yer almakta, 6 tanesinin çalışan sayısı 251-1000 arası, 2 tanesinin 1000'den fazla, diğer 2 tanesinin 51-250 arası ve 2 tane firmanın çalışan sayısı 10-50 arasındadır.



Şekil 6.7: Tekstil Sektörünün Demografik Sonuçları.

Katılımcıların işletme üretim yapısı bazında incelediğimizde % 91,7'si siparişe göre üretim yapan firmaları, % 8,3'ü ise stoğa göre üretim yapan firmaları kapsamaktadır.

Tekstil firmalarının verdikleri yanıtlara göre alınan ortalamalar ve verdikleri ağırlıklandırmalar neticesinde hesaplanan ağırlıklandırılmış ortalama ile Tekstil sektöründe olgunluk seviyesi 1. yaklaşımda 2,26 olarak hesaplanmıştır. Önem dereceleri eşit alınarak hesaplamalar yapıldığında Endüstri 4.0 seviyesi 2,17 iken, uzman görüşleri alınarak yapılan hesaplamalar ile 2,16 olarak Endüstri 4.0 seviyesi bulunmuştur.

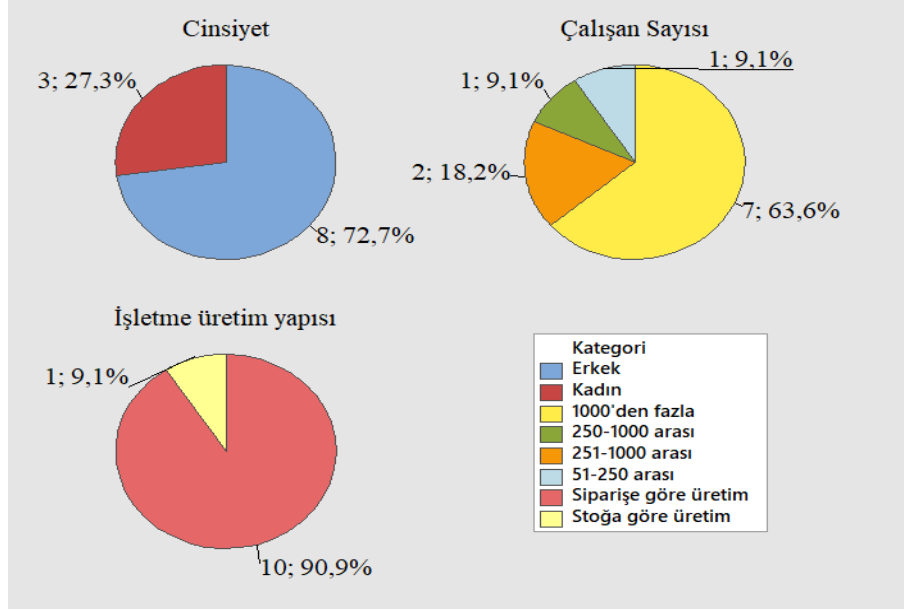
Tekstil sektöründeki katılımcıların Endüstri 4.0 boyutlarına verdikleri önem dereceleri puanlarına bakıldığında işletmeler için *Çalışanlar* boyutunun öneminin yüksek derecede olduğu saptanmıştır. Bilgi Teknolojileri boyutu da Çalışanlar boyutunu takip etmektedir. Akıllı Operasyonlar boyutunun Endüstri 4.0 seviyesine bakıldığında ise işletmelerin bu boyutta önlem almaları gerekmektedir ve operasyonlarının dijitalleşme ile yönetilmesini sağlamalıdır.

Akıllı Fabrikalar üretimin esnekliğini, makinalar arası iletişimi, üretim akışının optimal olmasını, akıllı robot kullanımını, 3D yazıcıları, iş kazalarını önleme sistemlerinin varlığını içermektedir. Tekstil sektöründe görüldüğü üzere akıllı robot kullanımı 1,36 puan alarak en düşük seviye olarak ortaya çıkmaktadır.

Tekstil sektöründe Strateji ve Organizasyon boyutunun aldığı puanın düşük olması işletmelerin Endüstri 4.0'a başlayabilmelerinde en önemli ayak olan bu boyuta önem vermeleri gerektiğini vurgulamaktadır. Boyut içerisinde yer alan Endüstri 4.0 için yol haritası oluşturmada dijitalleşmeye adılan ilk adım olmakta ve işletmelerin nasıl bir yol çizeceklerini kendilerine göstermektedir.

### **6.1.2 Otomotiv Sektörü**

Otomotiv sektörü Endüstri 4.0'ı işletmelere uygulayabilme açısından en yakın sektörlerden biridir. Bu çalışmada otomotiv sektöründe yer alan 11 adet firma ile yapılan görüşmeler neticesinde katılımcıların büyük çoğunluğunun erkek ve çoğu işletmede 1000'den fazla çalışan sayısının olduğu görülmektedir. İşletme üretim yapısını % 90,9'u siparişe göre üretim yapılan firmalar, % 9,1'ini ise stoğa göre üretim yapılan firmalar oluşturmaktadır. Siparişe göre üretim yapan firmaların Endüstri 4.0'ı ve onunla birlikte gelen teknolojik eğilimleri, trendleri ve yenilikleri yakından takip etmeleri gerekmektedir.



**Şekil 6.8:** Otomotiv Sektöründe Katılımcıların Cinsiyet Dağılımları.

Çalışmaya katılım gösteren firma temsilcilerinin dağılımlarına bakıldığında %72,7'si erkek temsilci, % 27,3'ünü bayan temsilci oluşturmaktadır. Çalışan sayısı dağılımlarına bakıldığında ise % 63,6'sı 1000'den fazla, % 18,2'si 251-1000 arası, % 9,1'i 250-1000 arası, % 9,1'i ise 51-250 arası çalışan sayısı mevcuttur.

Otomotiv Sektörünün Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi tespiti çalışması neticesinde yaklaşım 1 ile yapılan değerlendirme neticesinde olgunluk seviyesi puanı 3,00 olarak belirlenmiştir. 1.yaklaşımında otomotiv firmalarından katılımcıların verdikleri önem derecelerinden gelen ağırlıklandırılmış ortalama ile hesaplama yapılmıştır. Katılımcıların verdiği her bir boyutun araştırma sorularının ortalamaları ve önem dereceleri alınarak ağırlıklandırılmış ortalama hesabı ile boyut puanları ortaya çıkarılmış ve bu sektördeki katılımcıların boyutlara verdikleri ağırlıklandırmaların ortalamaları bulunmuştur. Ağırlıklandırma puanları ortaya çıkan boyutlar ile boyut puanları arasında ağırlıklandırma ortalama hesaplaması yapılarak sektörün genel ortalama Endüstri 4.0'a yakınlık seviyesi bulunmuştur. Yaklaşım 2 olarak önem dereceleri eşit alınarak Endüstri 4.0 seviyesi hesaplanıldığında ise Endüstri 4.0 seviyesi 2,99 olarak hesap edilmiştir. Endüstri 4.0 seviyesinin ortaya çıkarılmasında diğer bir yaklaşım olan uzman görüşlerinden gelen önem derecelerinin ortalamaları alınarak otomotiv sektörü puanı 2,85 olarak ortaya çıkmaktadır.

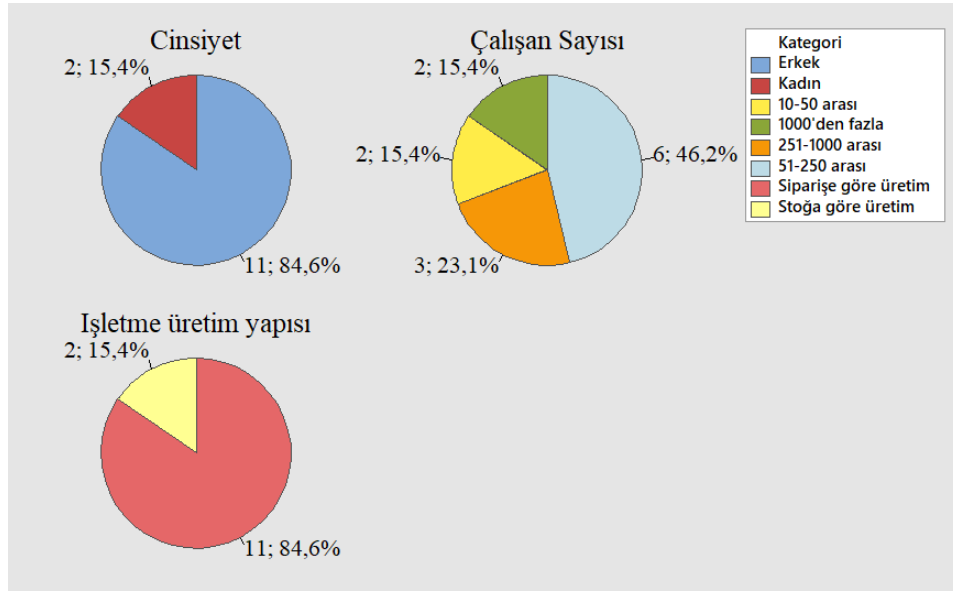
Endüstri 4.0 seviyesine etki eden Akıllı Fabrika bileşenleri incelendiğinde 3D yazıcılar, akıllı robotların kullanımı, Makine ile makine iletişimi ile ilgili olan araştırma soruları puan olarak 3'ün altında kalmıştır. Akıllı operasyonlara bakıldığında AGV sistemlerin kullanımının firmalarda düşük seviyede olduğu anlaşılmaktadır.

Bilgi Teknolojileri Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biridir. Bundan dolayı işletmelerin Bilgi teknolojileri alanına yönelmeleri gerekmektedir. Makinalardan veri alabilmek ve prosesteki parametre değerlerini makineye operatörün manuel veri girişi yapmadan ERP vb. sistemlerdeki verilerin otomatik olarak makinelere set edilebilmesi için ara katman yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Otomatik veri girişi sayesinde üretimdeki duruşlar kısılacak ve bu sayede verimlilik artacaktır. İşletmelerin verimlilik hesaplamalarında ve ISO:9001 2005 Kalite Yönetim Sistemleri standartlarında bir girdi olarak yer alan *Genel Ekipman Etkinliği* hesaplamasında parametrelerden biri olan kullanılabilirlik artacaktır. Bu da bir çıktı olarak *Genel Ekipman Etkinliğini* arttıracaktır.



### 6.1.3 Elektrik ve Elektronik, Enerji Sektörü

Elektrik ve Elektronik sektörü ile enerji sektöründe yer alan katılımcı firmaların az olması nedeni ile bu iki sektör çalışmada birleştirilerek analiz edilmiştir. Toplam 13 firmanın katılım sağladığı bu sektör kırılımında firmaların yarısının çalışan sayısı 51-250 arasındadır.



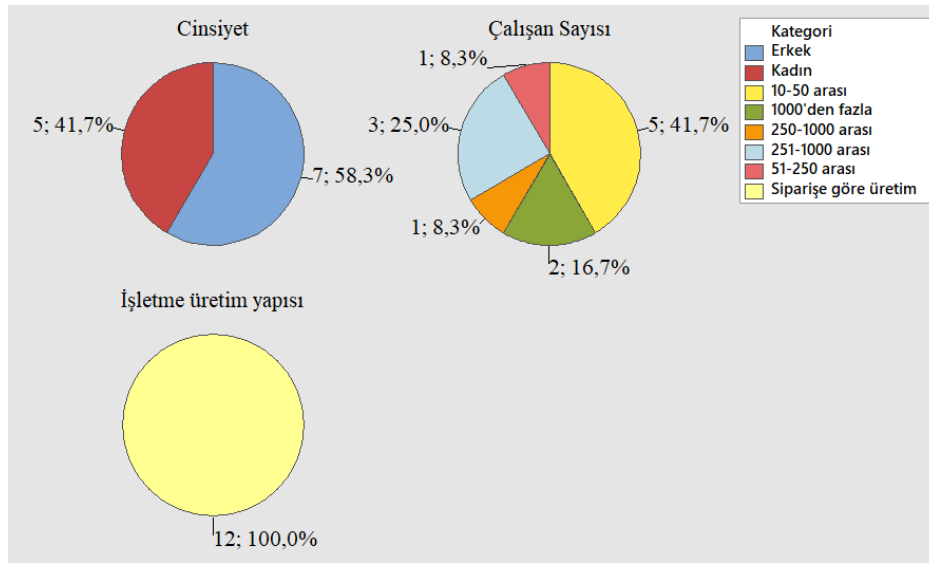
Şekil 6.9: Elektrik ve Elektronik, Enerji Sektöründe Cinsiyet Dağılımları.

Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi puanı bu sektörde sektör katılımcılarının verdikleri puanlar ve önem dereceleri alınarak hesaplamalar yapıldığında 2,98 olarak bulunmuştur. Yaklaşım 2'de önem dereceleri eşit alındığında da Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi 2,98 olmuştur. Uzman görüşleri alınarak hesaplamalar yapıldığında Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi 2,98 olarak hesaplanmıştır. Yaklaşım 1'de katılımcılar önem derecelendirmelerinde Strateji ve Organizasyon boyutuna diğer boyutlara göre yüksek puanlama yapmışlardır. Her üç farklı yaklaşıma göre hesaplamalarda Endüstri 4.0 sonucu sektör için 2,98 olmaktadır.

#### 6.1.4 Metal ve Maden Sektörü

Metal ve Maden sektörü, sektörler içerisinde en ağır ve yoğun işgücü emeği gerektiren sektörlerden birisidir. Bu sektörde yer alan katılımcıların % 58,3'ü erkek katılımcılardan oluşmaktadır. Katılımcıların çalışan sayısı dağılımlarına bakıldığında ise % 16,7'si 1000'den fazla, % 41,7'si 10-50 arası, % 33,3'ü 250-1000 arası ve % 8,3'ü ise 51-250 arası çalışan sayısı oluşturmaktadır.

Metal ve Maden sektörü için Endüstri 4.0 hesaplamaları sektör katılımcılarının verdikleri puanlar ve önem dereceleri dikkate alınarak hesaplama yapıldığında sonuç 2,50 olmaktadır. Önem dereceleri eşit alınarak hesaplamalar yapıldığında ise 2,52 olmaktadır. Uzman görüşlerinden gelen sonuçlara göre ise 2,46 olarak karşımıza çıkmaktadır. Metal ve Maden sektörünün çıktıları ortalama Endüstri 4.0 puanına yakın bir düzeydedir.

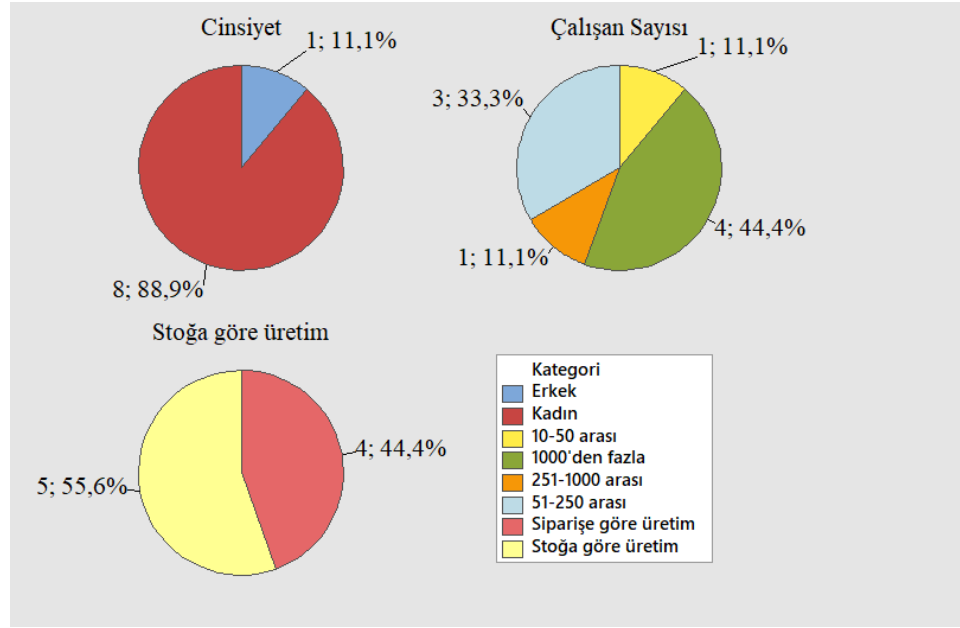


Şekil 6.10: Metal, Maden Sektöründe Katılımcıların Cinsiyet Dağılımları.

#### 6.1.5 Gıda Sektörü

Gıda sektöründe yer almakta olan katılımcı 10 firmanın demografik istatistiklerine bakıldığında 5 firmanın çalışan sayısının 1000'den fazla olduğu, 3 firmanın çalışan sayısının 51-250 arasında olduğu, 1 firmanın da 251-1000 arasında ve 1 firmanın da 10-50 arası çalışan sayısına sahip olduğu bilinmektedir. Çalışmaya

katılan bu firmaların ağırlıklandırılmış olgunluk seviyesi puanı versiyon 1'e göre hesaplanıldığında 2,44 olarak bulunmuştur. Bu yaklaşımda gıda sektöründen katılımcıların anket çalışmalarına vermiş oldukları puanların ve önem derecelerinin ortalamaları alınmıştır. Diğer bir yaklaşım ise önem derecelerinin eşit alınmasıdır. Boyutların önem dereceleri eşit alınarak hesaplamalar yapıldığında ise Endüstri 4.0 seviyesi 2,44 olarak bulunmuştur. Bir diğer yaklaşım olan uzman görüşleri alınarak hesaplamaların yapılmasıdır. Bu yaklaşım neticesinde Endüstri 4.0 seviyesi 2,41 olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.11: Gıda Sektöründe Cinsiyet Dağılımları.

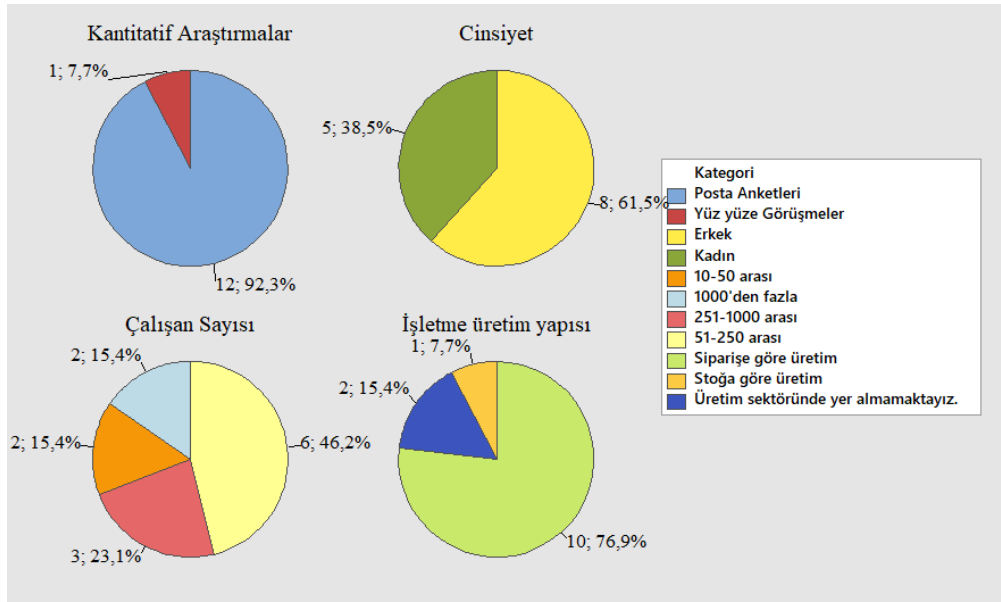
Endüstri 4.0 boyutları incelendiğinde Akıllı Fabrika boyutunun temel göstergelerinden biri olan üretim esnekliği sorusu gıda sektöründe firma temsilcilerinden gelen yanıtlara göre 3,5 puan almıştır. Bu da işletmelerin makine ile makine haberleşmelerine, makinelerin otomatik kendini durdurma özellikleri ve optimal üretim akışını sağlayabilme gibi temel bileşenlere önem vermeleri gerektiğini vurgulamaktadır.

### 6.1.6 Diğer Sektörler

Bu çalışma içerisinde katılımcıların bir kısmı tasnifleme yapılırken diğer kategorisine ayrılmıştır. Diğer kategorisine giren işletmeler ambalaj, mobilya

ve kimya, plastik sektörleridir. Bu kategorideki işletme temsilcilerinin % 61,5'i erkek, kalanı kadın katılımcıdır. İşletme üretim yapısı incelendiğinde katılımcıların % 76,9'u siparişe göre üretim yapmaktadır. Diğer sektörler kategorisinde yer alan katılımcıların ortalama Endüstri 4.0 puanı 2,27 olarak hesaplanmıştır.

Boyut ağırlıklandırılmaları eşit düzeyde alındığında Endüstri 4.0 sonucu 2,27 olarak bulunmaktadır. Diğer sektörler kategorisindeki katılımcıların verdikleri yanıtlar ve önem dereceleri neticesinde 2,27 olarak seviye hesaplanmıştır. Uzman görüşleri alınarak hesaplamalar yapıldığında ise sonuç 2,26 olmaktadır.



Şekil 6.12: Diğer Sektörlerin Demografik Sonuçları.

## 6.2 Endüstri 4.0 Projelerinin Önceliklendirilmesi

Tez çalışmasında ele alınan işletmenin Endüstri 4.0 hazırlık seviyesi sonuçları bir önceki bölümlerde ele alınmıştır. İşletmenin Endüstri 4.0'a hangi yakınlıkta olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda Endüstri 4.0'ı yakalayabilmek için hangi boyutlarda ne gibi aksiyonlar alması gerektiğinin bilinmesi de gerekmektedir. Bu kapsamda ele alınan işletmeler için her bir boyut için işletmenin yapması gereken projeler tanımlanmıştır. Böylelikle tanımlanan bu projeler arasından TOPSIS yöntemi kullanılarak işletmenin Endüstri 4.0'a giden yolda hangi projelere öncelik vermesi gerektiği bulunmuştur. Boyutlardan gelen belirlenen projeler Tablo 5.8'de görülmektedir.

**Tablo 6.7:** Tanımlanan Projeler.

<b>Boyutlar</b>	<b>Projeler</b>
Strateji ve Organizasyon Boyutu	1. Çalışan Yetkinliklerini Geliştirme Projesi 2. Çalışan Eğitim Planlarının Endüstri 4.0 Kapsamınca Geliştirilmesi ve Planlanması
Akıllı Fabrika Boyutu	3. Akıllı Robot Yatırımları ve Teknolojik Araştırmalar Projesi 4. Makinelerin Birbirleri ile Haberleşmelerini Entegre Edebilme
Akıllı Operasyonlar Projesi	5. RFID Teknolojisini İşletmeye Entegre Edebilme Projesi 6. AGV Sistemlerini Uygulama Projesi
Yatay ve Dikey Entegrasyon	7. ERP ve İş Zekası Uygulamalarının Entegrasyonu Projesi
Büyük Veri	8. Makinalardan Otomatik Veri Toplama 9. Büyük Verinin Yönetimini Sağlayabilme
Bilgi Teknolojileri	10. Yazılım ve Donanım Sistemlerinin Güvenilirliğini Arttırma 11. Sensörlerden Toplanan Verileri Konsolide Eden Ara Katman Yazılımlar
Çalışanlar	12. Endüstri 4.0 Bilinç Düzeyini ve Farkındalığı Arttırma Projesi

Belirlenen 12 adet farklı projeyi değerlendirebilmek adına 4 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; işletmeye sağladığı fayda, işletmenin şu andaki durumu, maliyet ve zaman kriteridir. Zaman kriteri bu projelerin zaman açısından ne derece az zamanda yapılabilirliğini ölçebilmek adına önemli olmaktadır. Kriterlerin ağırlıkları Saaty'nin 1-9 skalası kullanılmıştır.

İkili karşılaştırmalar kriterlerde uygulanarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. İkili karşılaştırmalar hesaplanırken uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Uzmanlar Endüstri 4.0 konusunda bilgili ve sektörde yer alan kişilerden oluşmaktadır. Uzman değerlendirmelerinin geometrik ortalamaları neticesinde kriterlerin ağırlıkları ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda kriterlerin değerlendirilmesinde ve karar matrisinin oluşturulmasında fayda kriteri için her bir boyut için katılımcıların verdikleri önem dereceleri alınmıştır. İşletmenin şu andaki durumu kriteri ise işletmenin hesaplanan

Endüstri 4.0 boyut puanlarından gelmektedir. Maliyet ve zaman kriterleri için uzman görüşleri kullanılmıştır.

**Tablo 6.8:** Kriterlerin 1-9 Skalası İle Ağırlıklandırılması.

Kriterlerin Ağırlıklandırılması	Faydası	İşletmenin Şu andaki durumu	Maliyet	Zaman
Faydası	1,00	3,58	2,39	4,87
İşletmenin Şu andaki durumu	0,28	1,00	1,43	2,00
Maliyet	0,42	0,70	1,00	2,12
Zaman	0,21	0,39	0,47	1,00

**Tablo 6.9:** Kriterlerin Ağırlıklandırılmasında Normalizasyon İşlemi.

Normalize Edilmiş Matris	Faydası	İşletmenin Şu andaki durumu	Maliyet	Zaman	W
Faydası	0,53	0,63	0,45	0,49	0,52
İşletmenin Şu andaki durumu	0,15	0,18	0,27	0,20	0,20
Maliyet	0,22	0,12	0,19	0,21	0,19
Zaman	0,11	0,07	0,09	0,10	0,09

**Tablo 6.10:** Alternatif Projelerin Kriter Puanları.

Alternatif Projeler	Fayda	İşletmenin Şu andaki durumu	Maliyet	Zaman
Çalışan Yetkinliklerini Geliştirme Projesi	4,00	0,44	2,7	2,8
Çalışan Eğitim Planlarının Endüstri 4.0 Kapsamınca Geliştirilmesi ve Planlanması	4,00	0,44	2,4	2,5
Akıllı Robot Yatırımları ve Teknolojik Araştırmalar Projesi,	3,00	0,34	2,0	3,0
Makinelerin Birbirleri ile Haberleşmelerini Entegre Edebilme	3,00	0,34	1,7	2,8
RFID Teknolojisini İşletmeye Entegre Edebilme Projesi	3,22	0,60	3,0	2,6
AGV Sistemlerini Uygulama Projesi	3,22	0,60	2,5	3,4
ERP ve İş Zekası Uygulamalarının Entegrasyonu Projesi	3,33	0,32	2,4	2,2
Makinalardan Otomatik Veri Toplama	3,11	0,47	3,6	3,2
Büyük Verinin Yönetimini Sağlayabilme	3,11	0,47	2,0	2,8
Yazılım ve Donanım Sistemlerin Güvenilirliğini Arttırma	3,89	0,34	2,3	4,1
Sensörlerden Toplanan Verileri Konsolide Eden Ara Katman Yazılımlar	3,63	0,34	2,2	3,4
Endüstri 4.0 Bilinç Düzeyini ve Farkındalığı Arttırma Projesi	3,63	0,37	2,4	2,9

Bir önceki tablolarda görüldüğü üzere fayda kriterinin ağırlığı 0,52, işletmenin şu andaki durumu 0,20, maliyet kriteri 0,19 ve zaman kriteri ise 0,09 puan ile işletmenin Endüstri 4.0'ı yakalayabilmesi için önem dereceleri hesaplanmıştır. İşletmenin şu andaki durumu kriteri için işletmenin almış olduğu boyut puanları baz alınmıştır. İşletmenin şu andaki durumu Endüstri 4.0'a en uzak olan puanın seçilmesi amaçlandığı için maliyet kriteri gibi düşünülmüştür. Bu nedenle o kriterin boyut puanları fayda kriterine dönüştürülmüştür. Maliyet ve zaman kriteri de projelere 1-5 skalasında değerlendirme puanı verilirken 1 en yüksek 5 en düşük puan olacak şekilde değerlendirme yapılarak maliyeti en düşük olanının seçilmesi amacı ile yüksek puanlama yapılması düşünülmüştür.

**Tablo 6.11:** İdeal Çözüm ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri.

$S_i$			
Faydası	İşletmenin Şu andaki durumu	Maliyet	Zaman
0,190	0,10	0,03	0,05
$C^t$			
Faydası	İşletmenin Şu andaki durumu	Maliyet	Zaman
0,14	0,05	0,01	0,03



**Tablo 6.12:** İdeal Uzaklıklar Tablosu.

<b>Projeler</b>	<b>Faydası</b>	<b>İşletmenin Şu andaki durumu</b>	<b>Maliyet</b>	<b>Zaman</b>	<b>Toplam</b>	<b><math>S_i</math></b>
Çalışan Yetkinliklerini Geliştirme Projesi	0,0000	0,0007	0,0000	0,0002	0,0009	0,0307
Çalışan Eğitim Planlarının Endüstri 4.0 Kapsamınca Geliştirilmesi ve Planlanması	0,0000	0,0007	0,0001	0,0003	0,0011	0,0332
Akıllı Robot Yatırımları ve Teknolojik Araştırmalar Projesi,	0,0022	0,0017	0,0002	0,0001	0,0043	0,0655
Makinelerin Birbirleri ile Haberleşmelerini Entegre Edebilme	0,0022	0,0017	0,0002	0,0002	0,0044	0,0666
RFID Teknolojisini İşletmeye Entegre Edebilme Projesi	0,0014	0,0000	0,0000	0,0003	0,0017	0,0408
AGV Sistemlerini Uygulama Projesi	0,0014	0,0000	0,0001	0,0001	0,0015	0,0386
ERP ve İş Zekası Uygulamalarının Entegrasyonu Projesi	0,0010	0,0021	0,0001	0,0004	0,0037	0,0604
Makinalardan Otomatik Veri Toplama	0,0018	0,0004	0,0000	0,0001	0,0023	0,0479
Büyük Verinin Yönetimini Sağlayabilme	0,0018	0,0004	0,0002	0,0002	0,0026	0,0507
Yazılım ve Donanım Sistemlerin Güvenilirliğini Arttırma	0,0000	0,0019	0,0001	0,0000	0,0020	0,0446
Sensörlerden Toplanan Verileri Konsolide Eden Ara Katman Yazılımlar	0,0003	0,0019	0,0001	0,0001	0,0023	0,0485
Endüstri 4.0 Bilinç Düzeyini ve Farkındalığı Arttırma Projesi	0,0003	0,0014	0,0001	0,0002	0,0020	0,0446

**Tablo 6.13:** Negatif İdeal Uzaklıklar Tablosu.

<b>Projeler</b>	<b>Faydası</b>	<b>İşletmenin Şu andaki durumu</b>	<b>Maliyet</b>	<b>Zaman</b>	<b><math>C^i</math></b>
Çalışan Yetkinliklerini Geliştirme Projesi	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003
Çalışan Eğitim Planlarının Endüstri 4.0 Kapsamınca Geliştirilmesi ve Planlanması	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003
Akıllı Robot Yatırımları ve Teknolojik Araştırmalar Projesi,	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Makinelerin Birbirleri ile Haberleşmelerini Entegre Edebilme	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
RFID Teknolojisini İşletmeye Entegre Edebilme Projesi	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002
AGV Sistemlerini Uygulama Projesi	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002
ERP ve İş Zekası Uygulamalarının Entegrasyonu Projesi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Makinalardan Otomatik Veri Toplama	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Büyük Verinin Yönetimini Sağlayabilme	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Yazılım ve Donanım Sistemlerin Güvenilirliğini Arttırma	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002
Sensörlerden Toplanan Verileri Konsolide Eden Ara Katman Yazılımlar	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Endüstri 4.0 Bilinç Düzeyini ve Farkındalığı Arttırma Projesi	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001

**Tablo 6.14:** Alternatif Projelerin TOPSIS Yöntemi İle Sıralanması.

Boyutlar	Projeler	Sıralama
Strateji ve Organizasyon	Çalışan Yetkinliklerini Geliştirme Projesi	0,63
Strateji ve Organizasyon	Çalışan Eğitim Planlarının Endüstri 4.0 Kapsamında Geliştirilmesi ve Planlanması	0,61
Akıllı Operasyonlar	AGV Sistemlerini Uygulama Projesi	0,56
Akıllı Operasyonlar	RFID Teknolojisini İşletmeye Entegre Edebilme Projesi	0,54
BT	Yazılım ve Donanım Sistemlerin Güvenilirliğini Arttırma	0,52
Çalışanlar	Endüstri 4.0 Bilinç Düzeyini ve Farkındalığı Arttırma Projesi	0,42
BT	Sensörlerden Toplanan Verileri Konsolide Eden Ara Katman Yazılımlar	0,40
Büyük Veri	Makinalardan Otomatik Veri Toplama	0,40
Büyük Veri	Büyük Verinin Yönetimini Sağlayabilme	0,35
Dikey ve Yatay Entegrasyon	ERP ve İş Zekası Uygulamalarının Entegrasyonu Projesi	0,22
Akıllı Fabrika	Akıllı Robot Yatırımları ve Teknolojik Araştırmalar Projesi	0,14
Akıllı Fabrika	Makinelerin Birbirleri ile Haberleşmelerini Entegre Edebilme	0,10

İdeal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri hesaplanarak ideal uzaklıklar ve negatif ideal uzaklıklar tablosu oluşturulmuştur. Bu tablolar neticesinde  $S^i$  ve  $C^i$  değerleri hesaplanarak projelerin sıralamaları yapılmıştır. İşletmenin Endüstri 4.0'ı yakalayabilmesi için öncelikli olarak Strateji ve Organizasyon boyutuna önem vermesi gerekmektedir. Bu da firma temsilcilerinin bu boyuta verdikleri puanların yüksek olması sebebi ile örtüşmektedir.

Akıllı Operasyonlar boyutu işletmenin çıkan sonuçlara göre en düşük boyut olması ve kriter ağırlığı da 2. sırada olmasından dolayı en üst sıralarda sonuç elde edilmiştir. RFID teknolojisini işletmeye entegre edebilme projesi ile AGV sistemlerini uygulama projesi 3. ve 4. Sırada olarak karşımıza çıkmaktadır. Akıllı Operasyonlar Boyutu Strateji ve Organizasyon Boyutundan sonra önem verilmesi gereken boyut olarak bulunmuştur.

Endüstri 4.0 ile gelen yenilikler çalışanları önemli bir derecede etkileyecektir. Endüstri 4.0 ile gelen dijitalleşme neticesinde çalışan yetkinlikleri değişecektir. Çalışan yetkinliklerini geliştirebilmek ve dijitalleşme ile uyumlu hale getirebilmek TOPSIS ile yapılan sıralamada 6. sırada yer alarak ele alınması gereken önemli bir projedir. Ayrıca, Endüstri 4.0 konusunda bilinç düzeyini arttırmak için eğitim planları hazırlanmalı ve güncellenmelidir. En son sırada yer alan Makinelerin Birbiri İle Haberleşmelerini Sağlama Projesi maliyet açısından yüksek fiyatlı olması kaynaklı ve zaman açısından entegre edebilme uzun zaman alacağı için diğer projeler içerisinde düşük puan almıştır. Aynı zamanda makinalardan otomatik veri toplama projesi gerçekleştirildikten sonra makinaların birbiri ile haberleşmesi sağlanarak büyük verinin yönetimi gerçekleştirilebilir.

## 7. TARTIŞMA

İşletmelerin Endüstri 4.0'a yakınlıklarının tespit edebilmek ve sektörler arası kıyaslamalar yapabilmek için 72 farklı katılımcı ile anket çalışması yapılarak elde edilen bulgular ve sonuçlar bir önceki bölümlerde paylaşılmıştır. Anket çalışmasına en çok tekstil, metal ve maden sektörleri, elektrik, elektronik ve enerji sektörleri ile diğer sektörde yer alan firmalar katılmıştır. Katılımcıların % 80,6'sı siparişe göre üretim yapmaktadır. Firmalar Endüstri 4.0'a ulaşabilmek için kendileri için en önemli boyutlardan biri olarak Strateji ve Organizasyon boyutu olduğunu düşünmektedirler. Uzman görüşlerinden gelen yanıtlar bu boyut için 72 farklı firmanın ortalamalarından gelen önem derecesine verilen puandan daha yüksektir. Bu boyutun önem derecesinin yüksek olması alternatif projelerin seçilmesinde büyük bir rol oynamıştır. Endüstri 4.0'a ulaşabilmek için mevcut bir firmada yapılan çalışmada işletmenin Endüstri 4.0 puanı 2,56 olarak bulunmuştur. IMPULS metodolojisine göre bu işletme "Öğrenenler" seviyesinde bulunmaktadır.

Literatürde yer alan IMPULS metodolojisine bakıldığında "Öğrenenler" seviyesinde yer alan işletmeler için çeşitli öneriler bulunmaktadır. Strateji ve organizasyon boyutunda "Öğrenenler" seviyesi için ana zorluklar Endüstri 4.0 stratejik sürecin bir parçası olmamaktadır ve bu nedenle spesifik bir strateji tanımı yapılmamıştır. Bu konuda alınması gereken aksiyonlar stratejilerin tanımlanması ve Endüstri 4.0 konusunda olan farkındalığın yaratılmasıdır (Lichtblau ve diğ., 2015).

Örnekleme alınan işletme için boyutların almış olduğu puanlar karşılaştırıldığında Yatay ve Dikey Entegrasyon boyutu işletmenin mevcutta en yüksek olduğu yani Endüstri 4.0'a en yakın olduğu boyuttur. Akıllı Operasyonlar boyutu ise en düşük olduğu boyut olması nedeni ile işletmenin bu boyut kapsamında çalışmalar yapması gerekmektedir. Nihai olarak bu işletme için alternatif projelerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi ile seçilmesi ve önceliklendirilmesi çalışması sonucunda Strateji ve Organizasyon boyutu öncelik verilmesi gereken bir boyut olarak karşımıza çıkmıştır. 2. Öncelik olarak da Akıllı Operasyonlar boyutuna işletmenin önem vermesi gerekmektedir. Ayrıca, Üretim Hattı

1 hariç diğer tüm departmanlar puanlama yapılırken Akıllı Operasyonlar boyutuna en düşük puanı vermişlerdir.

Çalışmada tüm sektörlerin ortalama Endüstri 4.0 puanı 72 firmadan alınan sonuçlara göre 2,55 olarak hesaplanmıştır. Uzman görüşleri ile 2,52 ve önem dereceleri eşit alınarak 2,54 olarak hesaplanmıştır. Örnek alınan işletmenin Endüstri 4.0 puanı ise 2,56 ile sektör ortalamalarına yakın olması dikkat çekmektedir. Örnek alınan işletmede de olduğu gibi sektör ortalamalarında da en yüksek puanı alan iki boyuttan biri olarak Yatay ve Dikey Entegrasyon gözükmektedir. En düşük boyut puanı ise Akıllı Operasyonlardır. Bu da bize Akıllı Operasyonlar konusunda çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir. Ek olarak Akıllı operasyonların alt bileşenlerinde işletmelere sorulan araştırma sorularından olan “Sevkiyat robotlarının kullanımı” en düşük puanı alarak dikkat çekmektedir.

Tekstil sektöründe yapılan anket çalışması sonuçlarına göre Tekstil sektörünün ortalama Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi puanı 72 firmadan alınan sonuçlarla hesaplanıldığında 2,26 çıkarak tüm sektörlerin ortalaması olan 2,55’den düşük bir sonuç elde edilmiştir. Tekstil sektöründe Endüstri 4.0’ın temel bileşenleri olan boyutlara verilen puanlar içerisinde en yüksek boyut puanını Çalışanlar boyutu alırken, en düşük boyut puanını ise Büyük Veri boyutu almıştır. Akıllı Fabrikalar boyutu ele alındığında ise işletmede akıllı robot kullanımının varlığı 1,55 puan ile diğer alt kırılımlar içerisinde en düşük puanı alan bileşen olmuştur. Strateji ve Organizasyon boyutu tüm sektörlerin ortalamalarında katılımcılar için en önemli iki boyuttan biri olurken Tekstil sektöründe mevcuttaki boyut puanı olarak 1,73 puan ile en düşük iki boyut puanından biridir. Bu da göstermektedir ki Endüstri 4.0’a ulaşabilmek adına strateji belirleme, organizasyonu geliştirme, yeterli yetkinlikte işgücünü karşılayabilme adına sektör de çeşitli çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Otomotiv sektörü sonuçlarının diğer sektörlerle göre ve tüm sektörlerin ortalama Endüstri 4.0 puanı ile karşılaştırıldığında yüksek olması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında yapılan anket çalışması sonuçlarına göre otomotiv sektörünün Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi puanı 3,00’dir. Buradan anlaşılacağı üzere sektörlerin ortalama puanının üzerindedir. Lengerli ve diğ. (2018) raporuna göre ise seracılık, Tekstil/Hazır Giyim ve Otomotiv Parça Üretimi için Dijital 2.0, 3.0 ve 4.0’a göre sektörel kıyaslamalar yapılmıştır. Anket sonuçlarına göre otomotiv sektörünün

düzeyi endüstri 3.0 düzeyine yakın iken Tekstil/Hazır Giyim sektöründe strateji boyutunda 2.0 seviyesinde yer alırken, teknik altyapı/akıllı üretim ve insan, organizasyonda 2.5 seviyelerindedir. Otomotiv sektöründe strateji ve akıllı üretim boyutunda 3.0 seviyesi altında yer almaktadır. Seracılık da ise stratejik anlamda 2.0 seviyesi altında ve teknik altyapıda 2.0'a yakın olarak diğer sektörlerden sonra gelmektedir. Çalışmada otomotiv sektörünün seracılık ve Tekstil/Hazır giyimden daha yüksek bir puanda olduğu görülmektedir (Lengerli ve diğ., 2018).

Elektrik ve Elektronik ve Enerji sektörü olarak tüm sektörlerin ortalama her 3 yaklaşımda Endüstri 4.0 puanı 2,98'dir. Metal ve Maden sektörünün sonucu ise 72 firmadan alınan sonuçlarla yapılan hesaplara göre 2,50 iken, önem dereceleri eşit alındığında 2,52, uzman görüşleri sonuçlarına göre ise 2,46'dır. 72 firmadan alınan sonuçlarla hesaplanan Endüstri 4.0 seviyesi gıda sektörü için 2,44 iken uzman görüşleri neticesinde 2,41 olarak bulunmuştur. Diğer sektörler olarak ayrılan diğer katılımcıların ortalamaları ise 2,27'dir. Tüm sektörler bakıldığında Endüstri 4.0'a en yakın olan 3 sektör Elektrik ve Elektronik, Enerji sektörü, Otomotiv sektörü ve Metal ve Maden Sektörüdür. Tekstil sektörünün ortalama puanı 72 firmadan alınan sonuçlarla hesaplanan seviye olan 2,26 ile en düşük 2 sektörden biri olmuştur.

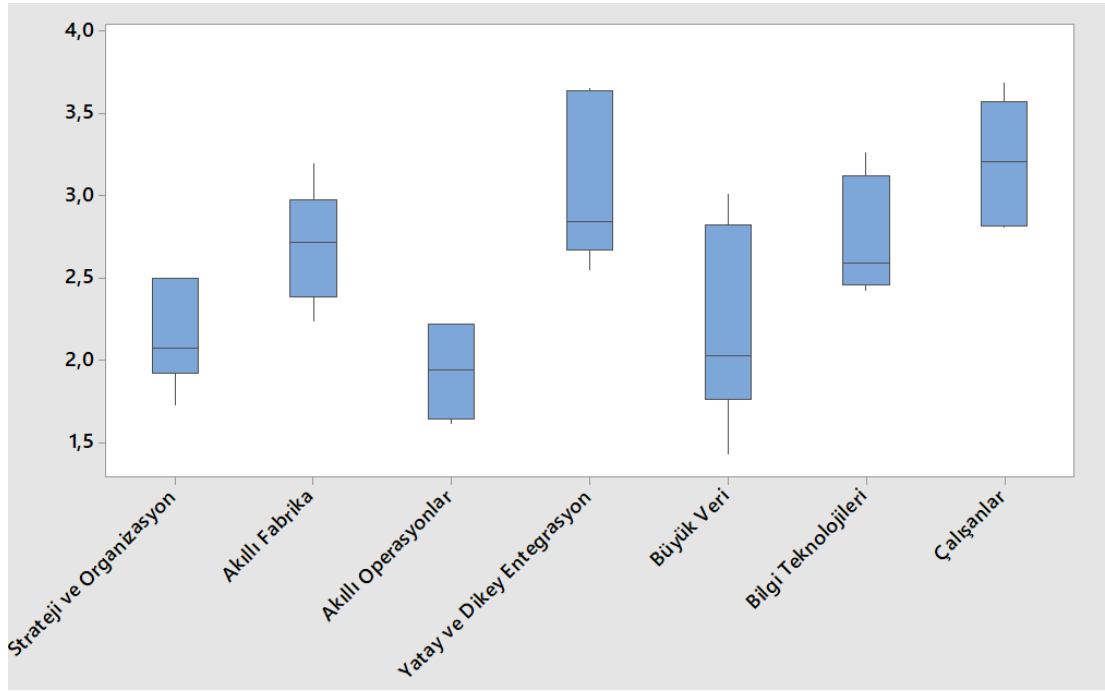
Literatürde yer alan bir diğer çalışmada ise kritik başarı faktörleri DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada kritik başarı faktörlerin önem ağırlıkları incelendiğinde ilk 3 sırada büyük veri yönetimi, akıllı fabrikalar ve enformasyon sistem ve teknolojileri alt yapısı yer almaktadır (Koçak ve Diyadin, 2018). Bu tez çalışmasında yapılan anket çalışması sonuçlarına göre tüm sektörlerin ortalamalarında önem ağırlıkları sıralandığında ise Strateji ve Organizasyon, Çalışanlar ve Bilgi Teknolojileri ilk 3 sırada yer almaktadır.

Yukarıda verilen tüm sektörlerin boyut bazında istatistiksel açıdan birbirleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı test edilmiştir. 72 firmadan alınan sonuçlarla hesaplanan Endüstri 4.0 sonuçları, önem dereceleri eşit alınarak hesaplanan Endüstri 4.0 seviyeleri ve uzman görüşleri neticesinde hesaplanan Endüstri 4.0 sonuçları için ayrı ayrı karşılaştırmalar yapılmıştır. Sektörler arası karşılaştırma yapabilmek adına ANOVA testi kullanılmıştır. Öncelikli olarak ortalamalar arasında fark olup olmadığını test edebilmek için ANOVA kullanılmıştır. İki grubun ortalamalarının eşit olup olmadığını test edebilmek amacıyla T testi uygulanırken, çalışma içerisinde

ikiden fazla grup (sınıflandırma) olmasından dolayı ANOVA testi kullanılmıştır. Test sonucunda çıkan p değerinin 0,05'den büyük olması durumunda sıfır hipotezi kabul edilmiştir. Sonucun 0,05'den küçük olması durumunda ise alternatif hipotez kabul edilmiştir.

Bu amaçla bu çalışma içerisinde 6 farklı sektörle birlikte genel sektörlerin de Endüstri 4.0 puanı bulunduğu için 7 adet sınıflandırma yapılarak sektörler arası hesaplanan Endüstri 4.0 sonuçlarının boyutlar bazında fark olup olmadığı tespit edilmiştir.

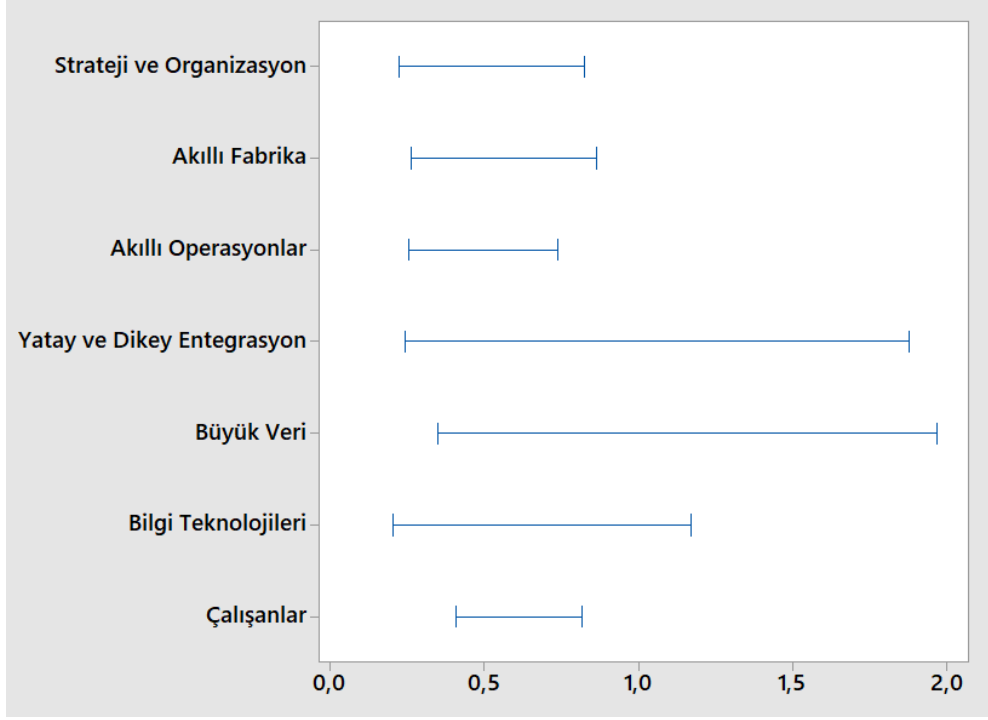
ANOVA testi yapılmadan önce grup içi dağılımların normal olup olmadığı normal dağılım testi yapılarak belirlenmiştir. Sektörler arası sonuçlar tüm boyutlar için normal dağılmaktadır.



Şekil 7.1 : Tüm Sektörlerin Tüm Boyutlar Bazında Kutu Diyagram Gösterimi.

Tüm sektörler için boyutlar açısından değişkenlik ve verilerin dağılımı kutu diyagram ile gösterimi yapılmıştır. Şekil 7.1'den anlaşılacağı üzere Büyük Veri boyutunun değişkenliği diğerlerine göre en yüksektir ve sektörel puanları farklılık arz etmektedir. Tüm sektörlerde ortalama boyut puanı en düşük olan Akıllı Operasyonlardır. Yatay ve Dikey Entegrasyon boyutu ise ortalamasının yüksek olması ile dikkat çekmektedir.





Şekil 7.2 : Sektörler Arası Farklılıkta Varyansların Homojenlik Testi.

Varyansların homojenlik testi Minitab aracılığıyla uygulanmıştır. Şekil 7.2’de noktalar çubuklar içerisinde kaldığı için varyansların birbirine eşit olduğunu söyleyebiliriz. Barlett’s test sonucundaki  $p$  değerinin 0,05’den büyük olmasından dolayı ( $p$  değeri 0,727 çıkmıştır.) sıfır hipotezini kabul ederek sektörler arasındaki boyut karşılaştırmalarında varyansların homojen dağıldığını söyleyebiliriz. Verilerin normal dağılması ve varyansların homojen olmasını ispat ettikten sonra ANOVA çalışması yapılmıştır. One-way Anova testine göre alternatif test kabul edilerek sektörler arasında her bir boyut bazında anlamlı bir fark bulunmuştur. Boyutların kendi arasında ortalamalar arasında % 95 güvenle fark bulunmaktadır. Gruplararası farklılığın ne durumda olduğunu ifade edebilmede Post hoc çoklu karşılaştırma testleri uygulanmaktadır. Her bir grupta (boyutlar) eşit sayıda veri olmasından ve varyans homojenliğinden dolayı Tukey methodu bu çalışmada kullanılmıştır.

Post Hoc karşılaştırma testi sonucunda göre 3 farklı grup tespit edilmiştir. Ortalamalar açısından Yatay ve Dikey Entegrasyon, Çalışanlar, Bilgi teknolojileri ve Akıllı Fabrika A grubu olarak, Bilgi Teknolojileri, Akıllı Fabrika, Büyük Veri ve Strateji ve Organizasyon boyutları ise B grubu olarak, Büyük Veri, Strateji ve Organizasyon, Akıllı Operasyonlar boyutu ise C grubu olarak belirtilmiştir. Sonuç

olarak, boyutlar arası farklılığın temelinde Yatay ve Dikey Entegrasyon, Çalışanlar boyutu ve Akıllı Operasyonlar boyutu yer almaktadır. Bu da sektörlerin Endüstri 4.0 puanı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Şekil 7.1 ve 7.2’de 72 farklı firmadan alınan sonuçlara göre hesaplanan sektörel Endüstri 4.0 seviyelerine göre sonuçlar verilmiştir. Tablo 7.1, 7.2 ve 7.3’de eşit önem dereceleri alınarak hesaplanan Endüstri 4.0 seviyelerine göre sektörler arası farklılık olup olmadığı ile ilgili yapılan testlerin sonuçları paylaşılmıştır. Tablolara bakıldığında  $p$  değeri ve Tukey methoduna göre yapılan gruplama neticesinde sektörler arası farklılığın sebepleri olarak Çalışanlar, Yatay ve Dikey Entegrasyon ve Büyük Veri boyutu gelmektedir.

**Tablo 7.1:** Tukey Test Sonuçları.

Kaynak	$DF$	$SS$	$MS$	$F$ -Değeri	$P$ -Değeri
Faktör	6	10,327	1,7212	12,23	0,000
Hata	42	5,909	0,1407		
Toplam	48	16,237			

**Tablo 7.2:** Sektörlerarası Farklılıklarda İstatistiksel Tanımlayıcılar.

Boyutlar	$N$	$\bar{x}$	$\sigma$	95% CI
Strateji ve Organizasyon	7	2,152	0,290	(1,866; 2,438)
Akıllı Fabrika	7	2,708	0,338	(2,422; 2,994)
Akıllı Operasyonlar	7	1,907	0,283	(1,621; 2,193)
Yatay ve Dikey Entegrasyon	7	3,037	0,440	(2,750; 3,323)
Büyük Veri	7	2,148	0,511	(1,862; 2,434)
Bilgi Teknolojileri	7	2,747	0,340	(2,461; 3,033)
Çalışanlar	7	3,215	0,369	(2,928; 3,501)

Tablo 7.2’de boyut bazında sektörlerin ortalamaları ve standart sapmaları yer almaktadır. Sonuçlara bakıldığında Çalışanlar boyutunun sektörler açısından Endüstri 4.0’a en yakın boyut olduğu gözükmektedir. Büyük veri boyutunda da standart sapmanın yüksek olduğu gözükmektedir.

**Tablo 7.3:** Tukey Testinde Grublama.

Faktör	N	$\bar{x}$	Grublama		
Çalışanlar	7	3,215	A		
Yatay ve Dikey Entegrasyon	7	3,037	A		
Bilgi Teknolojileri	7	2,747	A	B	
Akıllı Fabrika	7	2,708	A	B	
Strateji ve Organizasyon	7	2,152		B	C
Büyük Veri	7	2,148		B	C
Akıllı Operasyonlar	7	1,907			C

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dijitalleşme, işletmelerin rekabet edebilmeleri ve sürdürülebilirliklerini sağlayabilmeleri adına her geçen gün önemini arttırmaktadır. Dijitalleşmeye giden yolda Endüstri 4.0, üretimin daha esnek olması, operatör tarafından gerçekleştirilen tekrarlı manuel işlerin akıllı robotlar tarafından gerçekleştirilmesi ve bu robotların hattaki makinelerle etkileşim içerisinde olarak kendi kendine süreçte karar verebilmeleri ve üretilen verilerin bulut bilişimle depolanıp verilerin işlenmesi vb. kapsamaktadır. Aynı zamanda kestirimci bakımla birlikte makinede olabilecek vibrasyon, sıcaklık arızalarında makinenin otomatik olarak arızaya geçmeden önce bilgi vermesi sayesinde hattaki duruşları önleyebilecek ve böylelikle önceden önlemler alınabilecektir. ERP vb. sistemlerle disiplinler arası kesintisiz bir iletişim ve entegrasyon dikey entegrasyonla sağlanacaktır. Yatay entegrasyonla işletmenin müşterileriyle, tedarikçileriyle ve iş yapılan diğer kurumlarla tedarik zinciri boyunca kesintisiz bir iletişim ve entegrasyon sağlanır. İşletmelerin Endüstri 4.0'a yakınlığı müşterilerinin, tedarikçilerinin ve diğer iş yaptığı kurumların Endüstri 4.0'a ne kadar yakın oldukları ile doğrudan ilgilidir.

Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri olan akıllı fabrikalar, akıllı operasyonlar, büyük veri, yatay ve dikey entegrasyon, bilgi teknolojileri, strateji ve organizasyon ve çalışanlar boyutu bir işletmenin Endüstri 4.0 olgunluk seviyesini belirlemede bir ölçme yöntemi olarak bu çalışmada belirlenmiştir. Sahada toplanan veriler, anket çalışması ya da yüzyüze görüşmeler neticesinde elde edilmiştir. Çalışmaya toplam 72 firma katılım göstermiştir. Bu firmalar sektör bazında sınıflandırılmıştır. Sektör sonuçları ortalama Endüstri 4.0 puanları olarak hesaplanmıştır. Ek olarak da tüm sektörlerin genel Endüstri 4.0 ortalamaları bulunarak yorumlar yapılmıştır. Ölçeğin oluşturulmasında literatürde yapılan çalışmaların yanı sıra çeşitli uzman görüşlerinden geri dönüşler alınarak hazırlanan ölçek bir işletmenin Endüstri 4.0 olgunluk seviyesini belirleyebilme adına öncü olmuştur.

Çalışmaya katılan tüm firmaların ortalama Endüstri 4.0 puanı 0-5 puan arasında üç farklı yaklaşım neticesinde 2,55, 2,54 ve 2,52 olarak hesaplanmıştır. İşletmeler için önem derecelerine göre boyut sıralamalarına bakıldığında, Strateji ve Organizasyon boyutu işletmeler için en önemli boyut olarak belirlenmiştir.

Firmalar Endüstri 4.0'a giden yolda Strateji ve Organizasyon boyutunun çok önemli olduğunu düşünmektedirler. Bunu çalışanlar boyutu izlemektedir. İşletmelerin mevcutta sahip olduğu Endüstri 4.0 gerçekleştirmelerine bakıldığında Çalışanlar boyutunda işletmeler diğer boyutlara göre Endüstri 4.0'a daha yakın olduklarını düşünmektedirler. Bunun sebebi olarak ise işletmeler çalışanların yeniliklere kolay adapte olabildiklerini ve Endüstri 4.0 ile gelen yeni teknolojik trendlere ve değişimlere daha az dirençli olduklarını düşünmektedirler. Akıllı operasyonlar boyutu ise işletmelerin Endüstri 4.0'a çok uzakta oldukları bir boyuttur. Endüstri 4.0'ı yakalayabilmeleri adına Akıllı Operasyonlar boyutu için işletmelerin önlem almaları gerekmektedir.

Literatürde yapılan analizler neticesinde Otomotiv sektörünün Endüstri 4.0'a en yakın sektörlerden biri olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada Endüstri 4.0 puanı 3,00 olarak bulunmuştur. Tüm sektörlerin genel ortalama puanın üzerinde olduğu görülmektedir. Katılımcılar yatay ve dikey entegrasyon boyutunun kendileri için en önemli boyut olduğunu belirtmişlerdir. Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerine boyut bazında bakıldığında ise Yatay ve Dikey Entegrasyon boyutunun otomotiv sektörü için en yüksek boyut olduğu belirlenmiştir. Otomotiv sektöründeki firmalar bu boyut için Endüstri 4.0'a erişebilmeleri için en önem vermeleri gerektiği boyut olarak ve bunu da gerçekleştirme açısından en yakın oldukları boyut olduğunu ifade etmişlerdir.

Çalışmada analiz edilen Elektrik, Elektronik ve Enerji sektörü tüm sektörler içerisinde Endüstri 4.0'a en yakın ikinci sektör olmuştur. Otomotiv sektörü 1. Sırada yer almaktadır. Elektrik, Elektronik ve Enerji sektörü için önem derecesi sıralamasında Strateji ve Organizasyon boyutu ilk sıradadır. Bu sektör için de boyutların Endüstri 4.0'a yakınlık sıralamasında Yatay ve Dikey Entegrasyon ilk sıradadır. Bir diğer sektör olan Metal ve Maden sektörü Endüstri 4.0 olgunluk puanında 2,50 olarak ortalama Endüstri 4.0 puanının gerisinde kalmıştır.

Çalışmada ayrıca birkaç firma veri azlığı sebebi ile birleştirilerek *diğer* grup olarak analiz edilmiştir. Bu grup 2,27 olarak ortalamanın altında kalmıştır.

Tüm sektörlerin Endüstri 4.0 puanları bulunduktan sonra sektörlerarası boyutlar bazında anlamlı bir fark olup olmadığını tespit edebilmek adına Anova testi yapılmıştır. Anova testi yapabilmek için grup içi dağılımların normal dağılıp dağılmadığı test edilerek boyutların normal dağılım gösterdikleri bulunmuştur. Anova testini yapabilmek için bir diğer kriter olan varyansların homojenliği testi uygulanmıştır. Boyut karşılaştırmalarının varyanslarının homojen dağıldığı bulunmuştur. Böylelikle Anova testi kriterleri sağladığı için yapılabilmektedir. One Way Anova testine göre boyutlar arasında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi boyutlardan kaynaklandığını test edebilmek için Post hoc karşılaştırma testlerinden biri olan Tukey methodu kullanılarak Minitab de çalışma yapılmıştır. Böylelikle ortalamalar açısından farklılığın Yatay ve Dikey Entegrasyon, Çalışanlar boyutu ve Büyük Veri boyutundan kaynaklandığı bulunmuştur.

Bu çalışma sektörler arası kıyaslamaları ve bir işletmedeki farklı disiplinlerarası karşılaştırmaları ve işletmelere Endüstri 4.0'a ulaşabilmeleri için bir yol haritası sunmaktadır. Aynı zamanda bu konuda yapılan ilk tez çalışmalarından birisi olması da bu çalışmayı özgün kılmakta ve ileride sektörler arası yapılacak kıyaslamalara destek olabilmektedir.

Ayrıca bu tez çalışmasında bir işletmenin Endüstri 4.0'a ulaşabilmesi için alternatif projeler arasından Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi kullanılarak projelerin önceliklendirilmesi çalışması yapılmış ve literatüre özgün bir çalışma eklenmiştir. Ele alınan bir işletmede Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi belirlenerek işletmenin ele alması gereken aksiyonlar belirlenmiştir. Ayrıca sektör sonuçlarına yer verilmiştir. Aynı zamanda da bu tez çalışması boyutlar bazında Endüstri 4.0 sonuçlarını göstermektedir. Her bir boyut için de işletmelerin Endüstri 4.0'a ulaşabilmeleri için hangi projeleri öncelikli olarak yapmaları gerektiğini TOPSIS yöntemini kullanarak proje önceliklendirmesi yapılmıştır.

TOPSIS yöntemi ile değerlendirme neticesinde alternatif projeler arasında işletmenin öncelikli olarak ele alması gereken projeler Strateji ve Organizasyon boyutuna aittir. İkinci sırada yer alan Akıllı Operasyonlar projeleri olan; RFID teknolojisini işletmeye entegre edebilme projesi ile AGV sistemlerini uygulama projesi de bir diğer projelerdir.

Bu tez çalışmasının ele aldığı boyutlarla farklı sektörlere istatistiksel araçlar kullanarak analizler yapması ve bir işletmenin hedeflediği yöne gidebilmesi için çeşitli önerilerde bulunması ve Türkiye’de bu alanda yapılan çalışmaların azlığı ve yüksek lisans tez çalışması olarak yer alması sebebi ile çalışmanın özgünlüğü ve önemi ortaya çıkmaktadır. İlerideki çalışmalarda Endüstri 4.0’ı işletmelere uygulama konusunda referans olabilecektir. Çalışmanın ve modeldeki soruların daha çok üretim sektörüne yönelik olması çalışmanın geliştirilebilecek yönlerindedir. İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda tedarik zinciri yönetimi ve lojistik anlamında soruların geliştirilmesi ve o alanda analizler yapılması ile literatüre ayrıca katkı sağlanabilir ve yeni bir araştırma sorusu ortaya çıkarılabilir. Böylelikle Endüstri 4.0’a giden dijitalleşme yolunda işletmelerin kendilerini daha kolay hazırlamalarına katkı sağlanmış olur.

## 9. KAYNAKLAR

Alçın, S., “Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0”, *Journal of Life Economics*, 8, 19-30, (2016).

Baheti, R. and Gill, H., “Cyber-Physical Systems”, *The Impact Of Control Technology*, 12(1), 161-166, (2011).

Bechtold, J., Lauenstein, C., Kern, A., and Bernhofer, L., “Industry 4.0-The Capgemini Consulting View Sharpening the Picture beyond the Hype”, *Capgemini Consulting*, 31, (2014).

Ebner, G., and Bechtold, J., “Are manufacturing companies ready to go digital”, *Capgemini Consulting Group*, 1-15. (2012).

Ebner, G., Are manufacturing companies ready to go digital, (05.10.2019), [https://www.capgemini.com/wpcontent/uploads/2017/07/Are\\_Manufacturing\\_Companies\\_Ready\\_to\\_Go\\_Digital\\_.pdf](https://www.capgemini.com/wpcontent/uploads/2017/07/Are_Manufacturing_Companies_Ready_to_Go_Digital_.pdf), (2017).

EBSO, Sanayi 4.0, (25.08.2019), [http://www.ebso.org.tr/ebsomedia/documents/sanayi-40\\_88510761.pdf](http://www.ebso.org.tr/ebsomedia/documents/sanayi-40_88510761.pdf), (2015).

Eldem, M. O., “Endüstri 4.0”, *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, 3(2), (2017).

Erdogan, M., Ozkan, B., Karasan, A., and Kaya, I. “Selecting the best strategy for industry 4.0 applications with a case study”, *In Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era*, 109-119, (2018).

Can, A.V. ve Kıymaz, M., “Bilişim Teknolojilerinin Perakende mağazacılık sektörüne yansımaları: muhasebe departmanlarında endüstri 4.0 etkisi”, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, CİEP Özel Sayısı*, 107-117, (2016).

Gerbert P., Markus L., Rübmann M., Waldner M. , Justus J. , Engel P., Harnisch M. BCG, Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, (25.08.2019), [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries.aspx](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx), (2015).

Hozdić, E., “Smart factory for industry 4.0: A review”, *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28-35, (2015).

Koçak, A., ve Diyadin, A. “Sanayi 4.0 Geçiş Süreçlerinde Kritik Başarı Faktörlerinin DEMATEL Yöntemi ile Değerlendirilmesi”, *Ege Academic Review*, 18(1), 107-120, (2018).



Koska, A., Göksu, N., Erdem, M. B., and Fettahlioğlu, H. S., “Measuring the Maturity of a Factory for Industry 4.0”, *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 7(7), 52-61, (2017).

Lee, J., Bagheri, B., ve Kao, H. A., “A Cyber-Physical Systems Architecture For Industry 4.0-Based Manufacturing Systems”, *Manufacturing Letters*, 3, 18-23, (2015).

Lengerli, E., Ertüzün, F.E., Yücel, G. ve Önhon, Ö., Dijital Anadolu 2 Sektör Bazlı Dijital Dönüşüm Yol Haritası, (15.12.2019), [http://www.turkonfed.org/Files/ContentFile/dijitalanadolu\\_2\\_raporu.pdf](http://www.turkonfed.org/Files/ContentFile/dijitalanadolu_2_raporu.pdf), 2018.

Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., and Forstehäusler, S., “SIMMI 4.0-A Maturity Model For Classifying The Enterprise-Wide It And Software Landscape Focusing On Industry 4.0”, *In 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, 1297-1302, (2016).

Lichtblau K., Bertenrath R., Millack A. and Schmitz E., Industrie 4.0 readiness check tool for companies, (10.12.2017), <https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/Industrie%204.0%20Readiness%20Study%20English.pdf/f6de92c1-74ed-4790-b6a4-74b30b1e83f0>, (2015).

Lichtblau, K., Stich V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E. And Schröter, M., Industrie 4.0 Readiness, (18.02.2019), <https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/Industrie%204.0%20Readiness%20Study%20English.pdf/f6de92c1-74ed-4790-b6a4-74b30b1e83f0>, (2015).

Lorenz, M., Rüßmann, M., Strack, R., Lueth, K. L., and Bolle, M., Man And Machine In Industry 4.0: How Will Technology Transform The Industrial Workforce Through 2025, (15.05.2019), <https://www.bcg.com/publications/2015/technology-business-transformation-engineered-products-infrastructure-man-machine-industry-4.aspx>, (2015).

Macdougall, W., Industrie 4.0 Germany Market Report and Outlook, (25.08.2019), [https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/\\_SharedDocs/Downloads/GTAI/Industry-overviews/industrie4.0-germany-market-outlook-progress-report-en.pdf?v=12](https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Industry-overviews/industrie4.0-germany-market-outlook-progress-report-en.pdf?v=12), (2016).

Ötleş, S., Özyurt, V. H., Endüstri 4.0: Gıda Sektörü Perspektifi, (11.10.2019), <https://www.endustri40.com/gida-sektoru-ve-endustri-4-0/>, (2016).

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., and Harnisch, M. “Industry 4.0: The Future Of Productivity And Growth In Manufacturing Industries”, *Boston Consulting Group*, 9(1), 54-89, (2015).

Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., and Cevikcan, E. “A Conceptual Framework For Industry 4.0”, *In Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, 3-23, (2018).

Satoglu, S., Ustundag, A., Cevikcan, E., and Durmusoglu, M. B. “Lean Production Systems For Industry 4.0”, *In Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, 43-59, (2018).

Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Hompel, M., and Wahlster, W., (03.04.2019), “Industrie 4.0 Maturity Index”, [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech\\_STUDIE\\_Maturity\\_Index\\_eng\\_WEB.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf), (2017).

Schumacher, A., E., S., and Sihm, W., “A Maturity Model For Assessing Industry 4.0 Readiness And Maturity Of Manufacturing Enterprises”, *Procedia Cirp*, 52, 161-166, (2016).

Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., and Jozinović, P. “Industry 4.0-Potentials For Creating Smart Products: Empirical Research Results”, *In International Conference on Business Information Systems*, 16-27, (2015).

SIEMENS, Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu Yeni Devrim, Endüstri 4.0 Yolunda, (25.08.2019), <http://siemens-dergi.com/pubs/Endustri40/Endustri40/Default.html#p=1>, (2016).

KPMG, “Sanayi 4.0 Dördüncü Sanayi Devrimi, Yarının Fabrikaları Neye Benziyor?”, (26.08.2019), <https://home.kpmg.com/content/dam/kpmg/tr/pdf/2016/08/tr-sanayi-4.PDF>, (2015).

TÜBİTAK, Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası, (25.08.2019), [https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/akilli\\_uretim\\_sistemleri\\_tyh\\_v2-03ocak2017.pdf](https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/akilli_uretim_sistemleri_tyh_v2-03ocak2017.pdf), (2017).

TÜSİAD, Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi, (17.06.2019), <http://www.tusiad.org/sanayi-40.>, Sanayi 4.0 Üzerine, (2016).

Wang, S., Wan, J., Li, D., and Zhang, C. “Implementing Smart Factory Of Industrie 4.0: An Outlook”, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, (2016).

Yaralıoğlu, K., TOPSIS Yöntemi, (04.08.2019), [www.deu.edu.tr](http://www.deu.edu.tr), (2019).

Yıldız, A., “Endüstri 4.0 Ve Akıllı Fabrikalar”, *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 546-556, (2018).

Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I., and Sajdl, O., “Industry 4.0–An Introduction In The Phenomenon”, *IFAC-PapersOnLine*, 49(25), 8-12,(2016).

## 10. ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler :

- Adı Soyadı :Tuba Akcan
- Doğum Yeri ve Tarihi :Torbalı 03.06.1992
- Lisans Üniversite :Yıldız Teknik Üniversitesi
- Y. Lisans Üniversite (varsa) :Pamukkale Üniversitesi
- Y. Lisans Değişim Programı :Berlin Teknik Üniversitesi
- Elektronik posta :tuba.akcann@gmail.com
- İletişim Adresi :DENİZLİ

### Seminerler, Kurslar, Projeler ve Yarışmalar :

- B1 ZEMS Berlin Teknik Üniversitesi Almanca Kursu
- Best Yıldız Mühendislik Yarışması Katılımcısı
- YTÜ TIMES Vaka Analiz Yarışması Katılımcısı
- YTÜ IAESTE Ekip Üyesi
- ISO 9001:2005 ve IATF 16949:2016 İç Denetçi Eğitimi
- Yalın Altı Sigma Yeşil Kuşak Eğitimi
- Sosyal İnovasyon Kampı Katılımcısı

### Üniversite Projeleri :

- Doğrusal Programlama ile Üretim Planlama Üzerine Bir Uygulama ve GAMS ile çözümü, Tasarım 1 Projesi, 2013
- Toplu Üretim Planlama ve Ulaşım Modelleme, Tasarım 2 Projesi, 2014
- How to Establish a New Company and Feasibility Study, Lisans Bitirme Tezi, 2014