

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FİRMALARIN ENDÜSTRİ 4.0 ALGISININ YAPISAL EŞİTLİK
MODELİ İLE ANALİZİ VE ÖLÇEK GELİŞTİRME**

CEVHER HİLAL AYTAÇ

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİRMALARIN ENDÜSTRİ 4.0 ALGISININ YAPISAL EŞİTLİK
MODELİ İLE ANALİZİ VE ÖLÇEK GELİŞTİRME

CEVHER HİLAL AYTAÇ

Dr. Öğr. Üyesi Burcu ÖZCAN TÜRKKAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehlika KOCABAŞ AKAY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Serab ONURSAL
Jüri Üyesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 13.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında yanımda olan bilgisi ve desteği ile yol gösteren sevgili danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Burcu ÖZCAN TÜRKKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda vakit ayırarak desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Mustafa Emre CİVELEK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan en büyük destekçim ve yol göstericim sevgili ailem ve arkadaşlarıma minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ocak-2020

Cevher Hilal AYTAÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ	1
1. ENDÜSTRİ 4.0	2
1.1. Endüstri 4.0 Bileşenleri	3
1.1.1. Büyük veri	4
1.1.2. Bulut bilişim.....	4
1.1.3. Nesnelerin interneti	5
1.1.4. Siber fiziksel sistemler	5
1.1.5. Sistem entegrasyonu.....	6
1.1.6. Akıllı fabrika	6
1.1.7. Sanal gerçeklik	7
1.1.8. Simülasyon	7
1.1.9. 3d yazıcılar	7
1.1.10. Robotik sistemler.....	8
1.2. Endüstri 4.0'ın SWOT Analizi ile Değerlendirilmesi	9
1.3. Endüstri 4.0 Algısını Ölçmede Kullanılan Kavramlar	12
1.3.1. Hata payı	12
1.3.2. İzlenebilirlik	13
1.3.3. Tahmin	14
1.3.4. Maliyet	15
1.3.5. Güvenlik	15
1.3.6. Karar verme	16
1.3.7. Hızlılık.....	17
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	18
3. YÖNTEM.....	21
3.1. Faktör Analizi	21
3.2. Açıklayıcı Faktör Analizi	22
3.2.1. Kaiser-Meyer-Olkin testi.....	22
3.2.2. Bartlett küresellik testi	23
3.2.3. Faktör sayısının belirlenmesi	23
3.3. Doğrulayıcı Faktör Analizi.....	24
3.4. Yapısal Eşitlik Modeli ve Özellikleri	24
3.5. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Tarihçesi	25
3.6. YEM ile İlgili Temel Kavramlar	26
3.7. Yapısal Eşitlik Modelinin Varsayımları.....	27
3.8. Yapısal Eşitlik Modelleri.....	28

3.9. Yapısal Eşitlik Modeli Aşamaları	28
3.9.1. Model belirleme	29
3.9.2. Model tanımlama.....	29
3.9.3. Model tahmini	31
3.9.3.1. En çok olabilirlik yöntemi (EÇOB)	31
3.9.3.2. En küçük kareler yöntemi (EKK)	31
3.9.3.3. Genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi (GEKK)	32
3.9.4. Model testi ve uyumunun değerlendirilmesi	32
3.9.4.1. Ki-Kare uyum indeksi (CMIN).....	33
3.9.4.2. Karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI)	34
3.9.4.3. Uyum iyiliği indeksi (GFI)	34
3.9.4.4. Düzeltilmiş uyum iyiliği indeksi (AGFI).....	34
3.9.4.5. Arttırılmalı uyum indeksi (IFI)	35
3.9.4.6. Yaklaşık hataların ortalama karekökü (RMSEA).....	35
3.10. Model Modifikasyonu	36
3.11. AMOS Programı ile Yapısal Eşitlik Modeli	36
3.12. İç Tutarlılık Analizi	37
4. UYGULAMA	38
4.1. Yöntem	38
4.2. Bulgular	41
4.2.1. Açıklayıcı faktör analizine ilişkin bulgular	41
4.2.1.1. Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) istatistiği	41
4.2.1.2. Bartlett küresellik testi	41
4.2.1.3. Açıklayıcı faktör analizinin uygulanması	42
4.2.1.4. Faktörlerin adlandırılması.....	45
4.2.2. Doğrulayıcı faktör analizine ilişkin bulgular.....	48
4.2.3. Faktör geçerliliğinin belirlenmesi	51
4.2.4. Güvenilirlik analizi.....	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	63
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	69
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Endüstri 4.0 bileşenleri	3
Şekil 1.2. Endüstri 4.0'ın SWOT analizi ile değerlendirilmesi	10
Şekil 4.1. Birinci seviye doğrulayıcı faktör analizi sonucu	48



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Kaiser-Meyer-Olkin testi	22
Tablo 4.1. Araştırma örneklemine ait betimsel istatistikler	39
Tablo 4.2. KMO ve Bartlett testlerinin sonuçları.....	41
Tablo 4.3. Açıklanan toplam varyans	42
Tablo 4.4. Döndürülmüş bileşenler matrisi.....	43
Tablo 4.5. Değişkenler çıkarıldıktan sonra açıklanan toplam varyansı	44
Tablo 4.6. Değişkenler çıkarıldıktan sonra döndürülmüş bileşenler matrisi	45
Tablo 4.7. Algılanan fayda faktörü	46
Tablo 4.8. Algılanan öngörü faktörü.....	47
Tablo 4.9. Algılanan güven faktörü	47
Tablo 4.10. Yapısal eşitlik modeline ilişkin uyum indeksleri.....	49
Tablo 4.11. Doğrulayıcı faktör analizi sonuçları	50
Tablo 4.12. Korelasyon, AVE ve CR değerleri	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

X_b	: Bağımsız Modelin Ki-Kare Değeri
X_m	: Test Edilen Modelin Ki-Kare Değeri
N	: Anakütle Hacmi
S_{dm}	: Test Edilen Modelin Serbestlik Derecesi
S_{db}	: Bağımsız Modelin Serbestlik Derecesi
q_1	: Gözlenen Birinci Bağımlı Değişken
q_2	: Gözlenen İkinci Bağımlı Değişken
p	: Gözlenen Değişken Sayısı
sd	: Serbestlik Derecesi

Kısaltmalar

AGFI	: Adjusted Goodness-of-Fit Index (Düzeltilmiş Uyum İyiiliği İndeksi)
AVE	: Average Variance Extracted (Açıklanan Ortalama Varyans)
CFI	: Comparative Fit Index (Karşılaştırmalı Uyum İndeksi)
CMIN	: Ki-Kare Uyum İndeksi
CR	: Composite Reliability (Birleşik Güvenilirlik)
DFA	: Doğrulayıcı Faktör Analizi
EÇOB	: En Çok Olabilirlik Yöntemi
EKK	: En Küçük Kareler Yöntemi
GEKK	: Genelleştirilmiş En Küçük Kareler Yöntemi
GFI	: Goodness-of-Fit Index (Uyum İyiiliği İndeksi)
IFI	: Incremental Fit Index (Arttırılmalı Uyum İndeksi)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
KMO	: Kaiser-Meyer-Olkin Testi
RMSEA	: Root-Mean-Square Error Approximation (Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü)
YEM	: Structural Equation Modeling (Yapısal Eşitlik Modeli)

FİRMALARIN ENDÜSTRİ 4.0 ALGISININ YAPISAL EŞİTLİK MODELİ İLE ANALİZİ VE ÖLÇEK GELİŞTİRME

ÖZET

Teknolojik gelişmelerin hızında yaşanan artış ile birlikte firmalar, gelişen endüstriyel süreçlere uyum sağlama gereksinimi duymaya başlamıştır. Günümüz endüstrisinde yaşanan son endüstri devrimi olarak da bilinen Endüstri 4.0 ile birlikte çeşitli sektörlerdeki firmalar, tüm üretim süreçlerini gözden geçirme ihtiyacı duymaktadır. Bu süreçte Endüstri 4.0'la ilgili bilgiler ve kişilerde oluşturduğu algının doğruluğu önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında, Endüstri 4.0 ile ilgili genel bilgiler verilerek, farklı sektörlerdeki çalışanların Endüstri 4.0 algıları için istatistiki bir uygulama yapılmıştır. Google form aracılığıyla sanal ortamdan ulaşılan 273 kişiye anket uygulanmış, doğruluğu tespit edilen 252 anket sonucu analize dahil edilmiştir. Çeşitli demografik özelliklere ait kişilerden toplanılan verilerle ölçek geliştirme amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle açıklayıcı ve doğrulayıcı faktör analizi kullanılarak yapısal eşitlik modeli ile analizi sağlanmıştır. Algılanan fayda, algılanan güven ve algılanan öngörü faktörleri ile kurulan ölçeğin yüksek güvenilirliğe sahip olduğu görülmüştür. Yakınsama ve ayrışma geçerliliği ve uyum indekslerine incelenerek ölçeğin geçerli olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın literatüre katkı sağlaması ve sonraki çalışmalarda örnekleme arttırılarak kapsamının geliştirilmesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0 Algısı, Geçerlilik ve Güvenilirlik Analizi, Ölçek Geliştirme, Yapısal Eşitlik Modeli.

ANALYSIS AND SCALE DEVELOPMENT OF THE INDUSTRIAL 4.0 PERCEPTION OF THE COMPANIES WITH THE STRUCTURAL EQUALITY MODEL

ABSTRACT

With the increase in the speed of technological developments, companies have started to need to adapt to the developing industrial processes. With Industry 4.0, also known as the latest industrial revolution in today's industry, companies in various sectors need to review all production processes. In this process, the information about Industry 4.0 and the accuracy of the perception of people is important. Within the scope of the study, general information about Industry 4.0 was given and a statistical application was made for the perceptions of Industry 4.0 among the employees in different sectors. A questionnaire was applied to 273 people who were reached via virtual form via Google form and 252 survey results were included in the analysis. It was aimed to develop a scale with the data collected from individuals belonging to various demographic characteristics. In this context, firstly by using explanatory and confirmatory factor analysis, it was analyzed with structural equation model. The scale established with perceived benefit, perceived trust and perceived predictive factors had high reliability. Convergence and decomposition validity and fit indexes were examined and the scale was found to be valid. It is expected that the study will contribute to the literature and the scope will be improved by increasing the sample in subsequent studies.

Keywords: Industry 4.0 Perception, Validity and Reliability Analysis, Scale Development, Structural Equation Model.

GİRİŞ

Günümüz teknolojisi sürekli devinim içindedir. Zaman ilerledikçe gelişen teknolojiler ve birlikte gelen yenilikler insanların ihtiyaçları doğrultusunda kullanılarak hayatımızda büyük bir rol oynamaktadır. Teknoloji devrimleriyle her seferinde farklı bir aşamaya geçtiğimiz sanayileşme sürecinde Endüstri 4.0, işletmeler açısından üretim biçimlerini yapılandırmaları için devrim niteliği taşımaktadır. Tarihsel süreçte gelişim gösteren çeşitli üretim biçimlerinin yanısıra Endüstri 4.0; bilginin kullanımı, iş gücünün yeniden yapılandırılması, makinelerin haberleşmesi ve işletmelerin yönetimi alanlarında kapsamlı değişiklikler sunmaktadır. Her değişim sürecinde yaşanabileceği gibi Endüstri 4.0 sürecinde de işletmelerin kendi bünyelerini analiz ederek bu sürece uyum sağlama aşaması bulunmaktadır. Bu aşamada çalışanlarının yeni teknoloji devrimi hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Endüstri 4.0 hakkında oluşan algıları ile sürecin bir parçası olan çalışanlar, uygulamaları sırasında doğru öngörüler sağlayarak işletmelerine bu yeniliği tam anlamıyla kazandırabilecektir. Bu nedenle kişilerin Endüstri 4.0'dan ne algıladıklarını ölçmenin yararlı olacağı düşünülerek firmalarda çalışan kişilerin algılarına yönelik çalışma sunulmuştur.

Çalışmanın birinci bölümünde Endüstri 4.0 kavramı tanıtılarak tarihsel süreçteki yerine ve önemine değinilmiştir. Endüstri 4.0 bileşenleri, SWOT analizi ile değerlendirilmiştir. SWOT analizinden yola çıkılarak firmalar için önem teşkil eden 7 konu üzerinde durulmuş, firmalar ve çalışanlar için genel değerlendirilmede bulunulmuştur. Çalışmada, Endüstri 4.0 algısını etkileyen faktörleri analiz etmek amacıyla yapısal eşitlik modellemesinden yararlanılmıştır. Bu nedenle, ikinci bölümde Endüstri 4.0 ve yapısal eşitlik modeli ile ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde yöntem içinde geçerliliği ölçmek için kullanılan Açıklayıcı ve Doğrulayıcı Faktör Analizi ile ilgili bilgiler verilerek yapısal eşitlik modeli anlatılmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde uygulama yer almaktadır.

1. ENDÜSTRİ 4.0

Günümüzde endüstriyel süreçte bulunan her işletme sürekli gelişim gösteren teknoloji döneminin etkisi altında yer almaktadır. İşletmeler, olağan üretim süreçlerini devam ettirmesinin yanı sıra sürekli iyileştirme ve geliştirme yaklaşımlarıyla fark yaratabilmektedir. Değişen çevre koşullarına göre müşterilerin beklentilerini karşılayabilecek hizmet vermeleri ve bu süreçte üretim ve yönetimlerini takip edebilmesi giderek zorlaşmaktadır. Üretim süreçlerinin hızla değişen tüketici talepleri doğrultusunda yeniden şekillenmesi ve daha esnek üretim süreçlerine olan ihtiyacın artması Endüstri 4.0 olgusunu gündeme getirmiştir [1].

Endüstriyel sürece bakıldığında, günümüze kadar 3 büyük sanayi devrimi gerçekleşmiştir. 18. yüzyılda buhar makinelerinin kullanımı ile başlayan Birinci Sanayi Devrimi, büyük ölçüde üretimde artışı beraberinde getirmiştir. Ardından 20. yüzyılın başında gerçekleşen İkinci Sanayi Devrimi ile elektrik enerjisinden faydalanarak seri üretime geçilmiştir. Dijital teknoloji ile programlanabilen cihazların ortaya çıkışı ve internetin hızla gelişmesiyle Üçüncü Sanayi Devrimi 20. yüzyılın ortalarında gerçekleşmiştir. Üçüncü Sanayi Devriminin sonunda, yalın üretim anlayışı yaygınlaşmıştır [2]. Teknolojinin sürekli gelişim göstermesiyle sanayi üretiminde yer alan tüm süreçlerde, haberleşme ve bütün verilere anında ulaşabilme ortamı Dördüncü Sanayi Devrimi ile hazırlanmıştır.

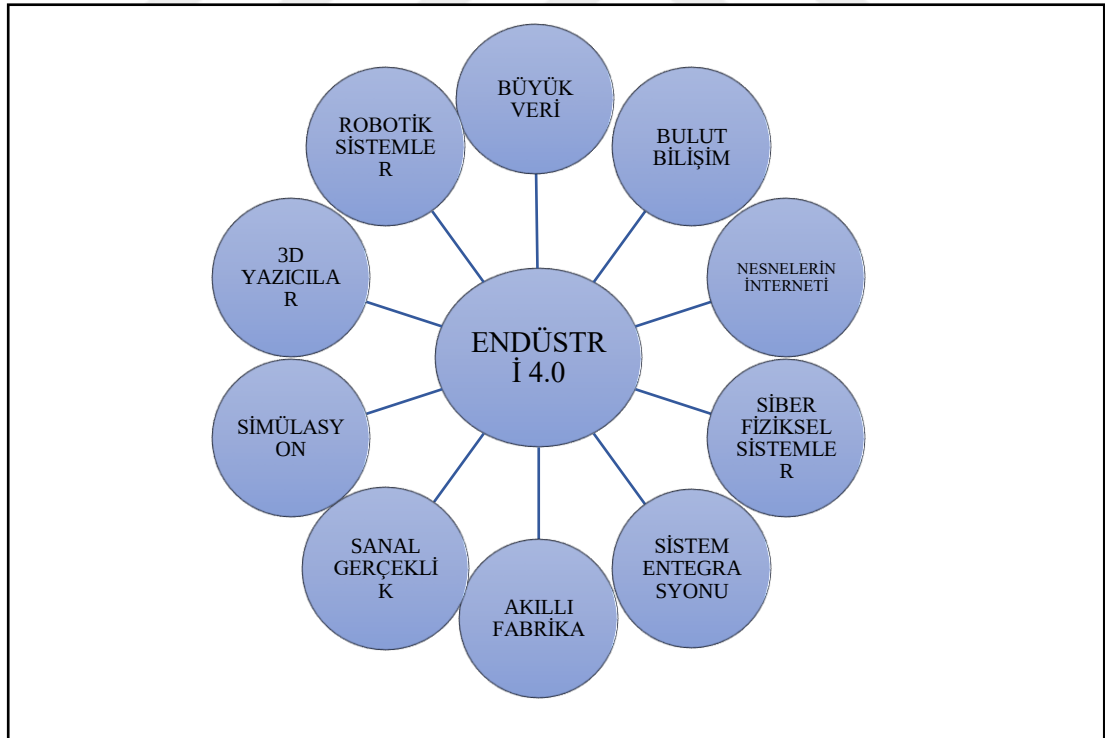
İlk defa 2011 yılında Hannover Fuarında Endüstri 4.0 kavramı kullanılarak, girilen yeni dönem hakkında bilgi verilmiştir. Endüstri 4.0; tüm tedarik zincirinin artan dijitalleşmesi ile birlikte nesnelerin ve sistemlerin gerçek zamanlı veri alışverişine dayanan yeni üretim yolları için iletişim sağlanma süreci olarak tanımlanabilmektedir [3]. Bu süreç içerisinde, bilgi ve iletişim teknolojileri ile geleceğe yönelik yenileşmenin temellerinin atılacağı vurgulanmıştır.

Dördüncü Sanayi Devrimi getirmiş olduğu teknolojik gelişmeler ve kavramlarla birlikte üretim sürecinde büyük dönüşümün mimarı olmuştur. İş ve sosyal çevrede çok sayıda faydalı yenilik getirmiştir [4]. Yenilikçi endüstri anlayışıyla işletmeler, sahip

oldukları esnek üretim yapısı ile uyum sağlayarak günümüz değişikliklerine hızlı ve yerinde cevap verebilecektir. Ayrıca üretim aşamalarının rotalarını değiştirerek istenilen koşullara yönelik reaksiyon alabilmeleri kolaylaşmaktadır. Böylelikle üretim yönetimine ayrılan süre minimize edilmektedir [5]. Diğer yandan, özelleştirilmiş üretim yapısının sorunsuz sürdürülebilirliği sağlanacaktır. Tesisin güçlü donanım ve internet ağlarına sahip olması işletmelerin verimini artırarak rekabette yükselmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte sosyal çevrede, sistemlerin ve tesislerin akıllı hale gelmesiyle yeni iş modelleri yaratılacaktır. Yeni iş modellerinde çalışanlar emek yoğun iş gücünden bilgi yoğun iş gücüne geçeceklerdir. Uygulamaları benimseyerek dönüşüme ayak uyduran işletmeler pazardaki yerlerini sağlamlaştırmaktadır. Endüstri 4.0; hız, verimlilik, maliyet ve inovasyon odaklı üretim anlayışını hakim kılarak firmalar için bir zorunluluk haline gelmektedir.

1.1. Endüstri 4.0 Bileşenleri

Endüstri 4.0 ile gelen süreç içerisinde 10 temel bileşen bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Endüstri 4.0 bileşenleri [6]

Şekil 1.1’de belirtilen Endüstri 4.0’ın bileşenleri, sırasıyla açıklanmıştır.

1.1.1. Büyük veri

Büyük veri kavramı genel olarak, yönetilen verinin bir ağda depolanarak anlamlı biçimde işlemek için kullanılan teknolojiyi anlatmaktadır. Verinin hacmi, çeşitliliği, hızı ve değeri büyük veri kavramını farklılaştırmaktadır. Büyük veri uygulamalarında, çeşitli ve büyük hacimlere sahip verilerin değerleri anlamlı biçime getirilerek depolanmaktadır. Verinin hızı ile elde edilen verinin anlık takibi gerçekleştirilmektedir.

Ürün, üretici ve tüketiciye dair tüm verileri depolayan geniş bir ağ; üreticilere, geçmiş senelerde yapılan talepler ve yeni trendlere bakış açısını sunarak değerlendirme fırsatı tanımaktadır. Analitik tabanlı ilerleyişi benimseyen firmalar, aynı pazarda birçok firma bulunsa dahi elinde bulunan verilerle hızlı ve doğru karar verme yeteneklerine sahip olabilmektedir. Büyük veri kullanımı, endüstriyel süreçte yapılan analizlerin doğru yorumlanması ve karar verme mekanizmasının iyileştirilmesi üzerinde etkilidir. Şirketler; doğru strateji ile yenilikçi yaklaşımlarını güçlü temellere dayandırabilecek ve risklerini daha iyi yönetebilecektir. Ürün ve hizmetlerdeki iyileştirmeleri ile kaliteyi arttırarak maliyetleri düşürebilecektir. Büyük verinin kattığı olumlu süreçlerin yanı sıra gerekli önlemlerin alınmaması durumunda güvenlik unsurunu zedeleyebilmesi de söz konusudur. Firmalarda gizlilik ve güvenliğin sağlanabilmesi için yetkisiz erişimlerden korunma çalışmaları yapılmalıdır.

1.1.2. Bulut bilişim

Bulut bilişim; donanım, yazılım ve güvenlik gibi hizmetlerin kullanıcının istediği zaman diliminde ve istediği yerden erişebileceği, yapılandırabileceği servis modelidir [7]. Kullanıcılar ile işbirlikçi yaklaşım gösteren bulut bilişim, değişen ihtiyaç ve ortam koşullarına göre kullanılan bilgi ve iletişim teknolojilerine yapılan gereksiz yatırımları önlemektedir [8]. Bu sayede; düşük donanım ve yazılım bütçesiyle kullanıcılar geniş dosya formatı ile sınırsız depolama kapasitesine sahip olabilmektedir. Bulut bilişim, anında güncelleme ile kullanıcılara performanslarını geliştirme imkanları sunmaktadır. Firmalarda daha çok yeni bilgiye ulaşım sağlanarak, yeni üretim sistemlerine dair bilgiye bağlı organizasyonlarda verimlilik artışı sağlayacaktır [9].

Bulut bilişimin sunmuş olduğu imkanların yanı sıra kullanıcıların dikkat etmemesi sonucu oluşabilen zorlukları da mevcuttur. Sabit internet bağlantısı gerektirmesi ve olası elektrik veya güç kesintisi karşısında verilere erişim zorluğunun olması karşılaşılan zorluklardan biridir. Bu kapsamda kullanıcıların her türlü ihtimali değerlendirerek çevresel faktörleri optimize etmeleri gerekmektedir. Maddi olarak gerekli Ar-Ge bütçesi ile denetleyici kontrol terminallerinden ve buluttan oluşan sistem döngüsünün kurulumu yüksek maliyeti beraberinde getirmektedir [9].

1.1.3. Nesnelerin interneti

Nesnelerin interneti; çeşitli haberleşme protokolleri sayesinde birbirleri ile iletişim sağlayan ve bağlantılar kurup bilgi paylaşarak akıllı bir ağ oluşturmuş cihazlar sistemi olarak tanımlanmaktadır [5]. Üretim işletmelerinde konum fark etmeksizin akıllı iletişim araçları ile üretim sürecini yönetebilmeye olanak sağlamaktadır. Yöneticilerin gerektiği durumlarda müdahalede bulunabileceği ağda; hizmet, altyapı ve enerji maliyetlerinde azalma görülmesi beklenmektedir. Yerleştirilen sensörler ile nesnelerin üretim sürecine daha hakim olduğu düşünülebilir. Bu durum tedarik zincirinde olumlu yönde pratiklik sağlarken insan gücüne duyulan ihtiyacı azaltmaktadır. Nesnelerin interneti aracılığıyla nesneler üzerinde yapılan isteğe bağlı müdahale, firmaların yönetim standartlarında iyileştirme gösterse de oluşan güvenlik açıklarına dikkat edilmesi gerekmektedir.

1.1.4. Siber fiziksel sistemler

Nesnelerin interneti ile sağlanan haberleşmenin kontrol ve sensörler ile entegre edilerek dijital ve fiziki dünyayı bir araya getiren sistemlerdir. Nesnelerin interneti sayesinde yaratılan geniş iletişim ağı, siber fiziksel sistemler ile fiziki dünyada uygulanarak Endüstri 4.0'ın temel yapısını oluşturmaktadır [5]. Siber fiziksel sistemler, üretim sürecini sistematikleştirmektedir. Sosyal yaşamda sıklıkla görülen sistem, birçok sektörde de uygulanarak iş akışını hızlandıracak niteliktedir. Aynı zamanda akışın tersine dair karşılaşılan olumsuz durumlarda üretim süreçlerini, kurulan ağın tekrar entegrasyonunu sağlayacak şekilde kontrol etmek gerekmektedir.

1.1.5. Sistem entegrasyonu

Endüstri 4.0 ile birlikte birden fazla sistemin bir araya getirilerek etkileşime girmesi ve birbirleri ile bütünleşmesi sağlanabilmektedir [6]. Sistem entegrasyonu sayesinde işletmeler, kendi bünyelerinde olduğu gibi müşteri ve tedarikçi ilişkilerinde bağlantılı yapı sistemlerine sahip olabilmektedir. Bu sistemler dikey ve yatay entegrasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Yatay entegrasyon, aynı müşteri grubuna hitap eden firmalar arasında gerçekleşirken, dikey entegrasyon aynı sektörde olup farklı alt sektörlerde müşterisi olan firmalar arasında gerçekleşen birleşme şeklidir [5]. Üretim işletmelerinden iş akışının sağlanması için uçtan uca entegrasyonun sağlanması gerekmektedir. Böylece süreç içerisindeki ihtiyaçlar ve karşılaşılan sorunlara anında cevap verilebilmesi sağlanmaktadır [4]. Entegrasyon ile birlikte üretim akışındaki aksaklıklar azaltılarak sistem daha verimli, esnek, hızlı ve sorunsuz yapıya sahip olacaktır [10]. Firmalar, tedarik zinciri optimizasyonunu gerçekleştirebileceği gibi müşterilerine daha hızlı dönüşler sağlayacak ve özelleştirilmiş üretimlerini kolaylıkla sunabilecektir. Böylelikle işletmeler daha esnek yapılarıyla her ihtiyaç ve sorunu basit değişiklikler ile çözüme kavuşturabilecektir [2].

1.1.6. Akıllı fabrika

Akıllı fabrikalar, gelişmiş yazılıma ve yüksek otomasyon seviyesine sahip donanımların karmaşık üretim süreçlerini hızlı ve sorunsuz yöneterek, verimli üretimi sağlayan tesisler olarak tanımlanabilir [6,10]. İnsanların, otonom robotların, birbirini kontrol eden makinelerin ve diğer üretim faktörlerinin, derin etkileşim içinde olduğu akıllı fabrikalarda, iletişim siber güvenlik kapsamında çalışmaktadır. Üretim sürecinde karşılaşılan sorunlara anında cevap verilmektedir. Bu sayede tesiste yalın üretim şekli ile tam zamanında üretimin gerçekleştirilmesi makinelerin kendi üretim kaynaklarını planlamasıyla sağlanmaktadır [10]. Akıllı fabrikalarda insan ve makine arasındaki teknolojik iletişimin sürdürülebilirliğiyle zaman kayıpları azalarak verimlilik artışı sağlanmaktadır. İşletmelerin sistem altyapısını iyi kurmasıyla sürecin mükemmelliği sağlanarak istenilen sonucu vermesi mümkündür.

1.1.7. Sanal gerçeklik

Arttırılmış gerçeklik, fiili olarak fabrika işleyişinde yer alan unsurların sanal bir ortama aktarılarak gerçek zamanlı analiz edilmesini sağlayan canlı görünümüdür. Kısaca tanımlanmak istenirse, fiziksel dünya ile bilgisayar kaynaklı yaratılan unsurların birleştirilmesi ile oluşturulan, gerçek zamanlı ve etkileşimli bir deneyimleme biçimidir [4].

Fiilen üretime başlamadan önce fabrikada yer alan tüm bağlantıların önceden kurularak verilerin elde edilmesi sağlanabilmektedir. Fabrika düzeyi ile sınırlı kalmayıp, bütün üretim süreçlerini ya da makineleri ayrı ayrı ele alarak verim hesabı yapılabilen faaliyette hata olasılıkları hesaplanarak önlemler alınabilmektedir [2]. İşletmeler arttırılmış gerçeklik sayesinde çevresindeki bilgi ile sanal ortamda elde ettiği bilgileri bir araya getirerek fiziksel dünyadaki verilere ulaşabilmektedir [10].

1.1.8. Simülasyon

Arttırılmış gerçeklik temelli simülasyon uygulamaları, gerçekleşen ya da olası üretim süreçlerinin sanal ortamda modellenmesine denilmektedir. Bu bağlamda simülasyon, nesneler arasında tanımlanmış ilişkileri içeren sistem veya süreçlerin bir modelidir [10]. Modellemede, fiziksel dünyadaki üretim süreçlerinin unsurları birebir yansıtılmaktadır. Üretim hatları, makineler, operatörler ve ürünler üzerinde değişiklik yapılmadan önce gerçek verilerle test edebilme imkanı sunmaktadır. Böylece gerçek verilerle yaşanabilecek olaylar öngörülüp buna bağlı olarak yatırım yapılması gereken alanlar, darboğazlar, maliyet hesaplamaları, öngörüye bağlı olarak bütçe planlamaları güvenilir bir şekilde gerçek verilerle oluşturulabilecektir.

1.1.9. 3d yazıcılar

3D yazıcılar; üç boyutlu dijital bilgisayar verisini yazıcıdan üç boyutlu gerçek nesnelere dönüştüren makinelerdir [4]. 3D yazıcıların temel kullanım amacı; kompleks yapılarıyla sıradan imalat yöntemleri ile üretimi mümkün olmayan parçaları imal edebilmektedir [6]. Farklı tasarıma ait birden çok mekanik parçanın tek bir makinede üretilmesinin yanı sıra kompleks tasarımların da elde edilebilmesi işletmeler açısından zaman ve maliyet avantajı sağlamaktadır [4]. 3D yazıcı teknolojisi sayesinde

çeşitli tasarımlarla oldukça geniş alanlarda üretim gerçekleştirilebilmektedir. Üretim teknolojisindeki bu gelişme ile farklı tasarımlar, hızlı bir şekilde prototiplere ve nihai ürünlere büyük maliyet gerektirmeden dönüştürülebilecektir [10]. Böylece stok maliyetlerinin minimize edilmesi ve insan gücüne duyulan gereksinimin azalması beklenmektedir [5].

1.1.10. Robotik sistemler

Otonom robotlar, kendisine atanan görevi yerine getirmek için yöntem bulabilen, ayrıca kendisini korumak için sensörler (algılayıcılar) aracılığıyla çevreden elde ettiği verileri kullanarak olası tehlikeleri önlemek için statik veya dinamik olarak engellerden korunabilen elektromekanik cihazlardır [6]. Doğrudan insan müdahalesi olmaksızın bir yazılımla yönetilen robotlar, güç ve zamandan tasarruf sağlamaktadır [5]. Robotlar üretimde bulunan diğer unsurlarla etkileşim sağlayarak üretkenliği arttırmaktadır. Çoğunlukla otomotiv sektöründe faaliyet gösterse de insan gücünün tekrarlarla yaptığı işleri otomatikleştirdiği için tüm sektörlerde yaygınlaşması öngörülmektedir [10]. İnsan gücünün üzerindeki ağır ya da sağlığı etkileyen iş yükünü azaltacak robotik sistemler, aynı zamanda işin kalitesinde de artış sağlayacaktır [9]. Fakat insan gücüne duyulan ihtiyacın azalması çoğunlukla vasıfsız iş gücünün ortadan kalması anlamına da gelerek çalışanlar açısından kaygı oluşturabilecek niteliktedir.

Endüstri 4.0'ı oluşturan bileşenler, işletmelerin uçtan uca bütün süreçlerinde bir araya gelmektedir. Firmalar her bir bileşene özel katkılarla üretim sistemlerini istedikleri doğrultuda yönetebilmektedir. Belirtilen sistematik iyileştirme ile müşterilerin özel istekleri karşılanabilmektedir. Aynı zamanda müşteri taleplerinin üretim sürecindeki yeri anlık olarak takip edilebilmektedir.

Endüstri 4.0 sürecini doğru yönetebilmek için belirli sistemlerin üzerine inşa edilmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0; altı temel ilke üzerine kurulmaktadır. Bu ilkeler; birlikte çalışabilirlik, sanallaştırma, otonom yönetim, gerçek zamanlılık, hizmet oryantasyonu ve modülerliktir. Nesnelerin interneti ile siber fiziksel sistemler birlikte çalışabilirlik ilkesine dayanarak, insanlar ve fabrikaların iletişim halinde olmalarını sağlamaktadır. Kurulan güçlü iletişim ağı sayesinde tedarikçiden müşteriye kadar tüm süreç içerisinde gerçek zamanlı olarak birlikte çalışılabilmektedir. Bir diğer Endüstri 4.0 ilkesi sanallaştırmadır. Fiziksel dünyadan yola çıkılarak simülasyon modelleriyle sistemin

sanal kopyası oluşturulmaktadır. Sanal sistem üzerinden verilerin analizi ve testleri sağlanabilmektedir. Üretimde özelleştirme adımları ile tek merkezli üretim sistemi yerini otonom yönetime bırakmaktadır. Bu durum, siber-fiziksel sistemlerin akıllı fabrikalar içinde kendi kararlarını verme yeteneğini kullanan otonom yönetimi bir ilke haline getirir. Endüstri 4.0 uygulamalarında üretim süreci gerçek zamanlı takip sistemi ile sürekli izlenmektedir. Üretim takip sistemleri ile sistemde karşılaşılan hatalar tespit edilerek ve bu hatalara ilişkin çözümlere anında karar verilebilmektedir. Ayrıca, üretim takip sistemleri kurularak işletmelere internet üzerinden çeşitli danışmanlık hizmeti sağlanabilmektedir. İnsanlar ve akıllı fabrika sistemlerini ulaşılabilir kılan hizmetlerin interneti, Endüstri 4.0'ın bir ilkesini olan hizmet oryantasyonu olarak adlandırılmaktadır. Değişim içinde bulunan üretim süreçlerinde esneklik, özellikle üretim işletmelerine adaptasyon yeteneği sağlamaktadır. Gelişen teknolojik altyapılar ile istasyonlar modüller olarak düzenlenerek müşteriye özel üretim yapabilmektedir. Bu sayede üretimde çeşitliliği arttırarak inovatif yaklaşımlar sergilenebilmektedir [11].

1.2. Endüstri 4.0'ın SWOT Analizi ile Değerlendirilmesi

İşletmelerin; kendi durumlarının analizini sağlayarak Endüstri 4.0 sürecinde güçlü ve zayıf yönlerini belirlemeleri gerekmektedir. Sahip oldukları güçlü yönler bu süreç için başlangıç noktası oluştururken zayıf yönleri ise bu süreçte iyileştirmesi gereken adımları göstermektedir. İşletmeler, SWOT analizinin diğer iki bileşeni olan fırsatlar ve tehditler için Endüstri 4.0 sürecinde elde edecekleri kazanımları ve göz önüne alacağı riskleri de belirlemelidir.

Firmalar sahip oldukları güçlü yönlerini ve edinecekleri fırsatları dikkate alarak girecekleri süreç için tehditlerini ve zayıf yönlerini göz ardı etmemelidir. İşletmeler için Endüstri 4.0'ın güçlü ve zayıf yönleri, fırsat ve tehditleri SWOT analizi ile Şekil 1.2'de değerlendirilmiştir.



Şekil 1.2. Endüstri 4.0'ın SWOT analizi ile değerlendirilmesi

Endüstri 4.0'ın SWOT analizi ile değerlendirilmesinde güçlü yönler bakıldığında genç nüfusa ait popülasyonun fazla olması ve gelişen teknolojiye hızlı adapte olabilmesi görülmektedir. Endüstride yeni taleplere açık pazar yapısının var oluşu bu devrimi benimseyerek ilerleyişin daha hızlı olacağını göstermektedir. Açık pazar, teknolojik gelişmelere olan duyarlılık ve mühendislik bilgisine sahip genç nüfusun fazlalığı Endüstri 4.0'ın uygulanması aşamasında güçlü yönleri oluşturmaktadır [10].

İşletmelerin üretim süreçlerinin bütünlüğünü koruması isteği, donanım ve altyapısal olarak uygun koşulların sağlanamaması Endüstri 4.0'a geçiş sürecini zorlaştıracak zayıf yönlerini oluşturmaktadır. Bulunulan pazardaki rekabet içerisinde oldukları işletmelerden geri kalmış teknoloji anlayışı dijitalleşme süresini uzatmaktadır. Yüksek yatırım gereksinimi ve finansal açıdan ihtiyacı karşılayamamak, işletmelerin karşılaşacağı en önemli zorluklardandır. Verilerinin korunması için oluşturmaları gereken güvenlik önlemleri göz önüne alındığında çoğu firma altyapısının yetersiz olduğu görülmektedir [10].

Endüstri 4.0 sürecinde karşılaşılabilecek fırsatlar incelendiğinde, işletmelerin ürünlerini, müşterinin isteğine göre, istenilen zamanda, az emek gücüyle maliyetlerini minimize ederek yüksek kalite düzeyinde üretebilmesi gösterilebilmektedir [5].

Endüstri 4.0 ile sistem analizine yönelim artacağından işletmeler kendi yapılarına dair farkındalık kazanacaktır. Analizlerini doğru sağlamaları ve altyapılarını hazırlamaları doğrultusunda sistemin sürdürülebilir olması aynı zamanda yeni hizmet modellerini geliştirme fırsatını da beraberinde getirecektir. İşletmelerin dijital dönüşüm için yaptıkları adımlar ülkemiz pazarı açısından Ar-Ge merkezlerini de arttıracaktır. Bilgi teknolojileri sektöründe yapılacak aktif ve inovatif projelere duyulan talep, yabancı firmalar tarafından yoğunlaşacaktır.

Dijitalleşme sürecinin işletmelere kazandıracağı büyük fırsatların yanı sıra uygun ortam koşullarının sağlanamaması durumunda karşılaşılabilecek tehdit unsurları da bulunmaktadır. Endüstri 4.0'a geçiş sürecine dahil olmayan ya da bu sürece uyum sağlayamayan sektörler zamanla yerlerini koruyamayacaktır [10]. Pazara girecek Endüstri 4.0'a uyumlu firmalar, pazarın etkinliğini ve baskınlığını ele alacaktır [12]. Aynı zamanda gelişmiş Ar-Ge yapısı olan yabancı yatırımcıların sektöre girmesiyle özel sektörde düşük kârlılık oranları ve haksız rekabet ortaya çıkma ihtimali bulunmaktadır [12]. İşletmelerin siber güvenlik sistem yetersizliğinin veri güvenliğini ciddi ölçüde etkilemesi beklenmektedir. Elde edilen verilerin izinsiz kullanımının ve veri üzerinde değişim yapılmasının önlenmesi gerekmektedir. Bu önlemler içinde siber fiziksel sistemler için yatırım yapılmalıdır [5].

Üretim sürecinin bütünlüğünü korunması gerekliliği aşıkardır. Endüstri 4.0 ile mevcut insan gücünün yerini robotik sistemlerin alması istihdam oranını azaltacaktır. Değişim odaklı yatırımlar, maliyetleri ile işletmeler için tehdit unsuru olabilecek niteliktedir [12].

Endüstri 4.0'ın SWOT analizi ile incelemesi ele alınarak mühendislik, planlama, üretim, operasyonel ve lojistik süreçlerinde en yüksek kalite standartlarıyla birlikte daha fazla esneklik ve dayanıklılık sağlayacağı sonucuna varılmaktadır. İşletmelerin; maliyet, kullanılabilirlik ve kaynak tüketimi gibi çeşitli ölçütlere dayanılarak dinamik yapısını optimize edeceği ve gerçek zamanlı olarak kendi kendini organize eden değer zincirlerini oluşturacağı görülmektedir [2].

1.3. Endüstri 4.0 Algısını Ölçmede Kullanılan Kavramlar

Firmaların kendi bünyelerinde üretimlerini takip ederken dikkate aldığı belirli unsurlar bulunmaktadır. Endüstri 4.0'a bakış açısını etkileyen faktörler; üretimdeki hata payı, tahmin gücü, maliyet, izlenebilirlik, güvenlik unsuru, karar verme mekanizması, hızlilik katkısı olarak ayrılmıştır. Endüstri 4.0 kavramı firma çalışanları tarafından bu unsurlar çerçevesinde değerlendirileceği için genel bilgilendirme de bulunma gereği duyulmuştur. Bu kapsamda her bir ölçeğin Endüstri 4.0 için değerlendirilmesi şöyledir:

1.3.1. Hata payı

Crosby tarafından ihtiyaçlara uygunluk olarak tanımlanmış kalite kavramı firmalar için en temel unsurlardan biridir. Günümüz artan rekabet koşullarında firmalar; bulundukları konumu koruyabilmek ve fark yaratabilmek için daha kaliteli, uygun fiyatlı ve kısa sürede müşteri isteğini karşılayan ürünler ortaya koymayı hedeflemektedir. Hızla gelişen üretim dünyasında müşteri beklentisini karşılayabilmenin yanı sıra beklentinin üstüne çıkarak müşterinin tatmin olması amaçlanmaktadır. Üretimde mükemmelliği gerektiren bu hedefler, hata payının minimize edilesi ve kalitede sürekliliği sağlanması ile mümkün olmaktadır [13].

Günümüzün modern üretim sisteminde ürün kalitesi büyük bir endişe kaynağıdır [14]. Üretim işletmeleri sürecin her aşamasında hatalarını kontrol edip gidererek hammadde, işgücü, enerji kayıplarını minimize ederek maliyetin yükselmesini engellemek istemektedir. Nihai üründe olan hatanın tüketiciye ulaşması ile karşılaşılan prestij kaybı firmalarda büyük sorun yaratmaktadır. Müşteriden geri dönen hatalı ürünler için yapılan bakım, kontrol, tekrar eden işçilik ve imha maliyeti bulunmaktadır. Kaliteden kaynaklı sorunlar üretimdeki çalışma hızını da etkilemektedir. Bu nedenle zamanında doğru üretim kalitenin temel kurallarından biridir [13].

Üretimde hata payını yükselten unsurlardan biri çalışanların işe yetkinlik seviyesinin azlığı ve dikkatsizliğidir. İnsan gücünden robotik sistemlere geçiş göz önüne alındığında, insan faktöründen kaynaklı oluşabilecek hataların ortadan kalkacağı beklenmektedir. Üretim esnasında ortaya çıkan fire ve hurdaların kayıt altına alınarak raporlanması yapılabilmektedir. Hatalı üretimlerin yapıldığı makinelere ve kim ne

tarafından ne zaman yapıldığına dair bilgilere anında ulaşabilmek mümkündür. Üretim faaliyeti gösteren tüm sektörler, hatalara anında ulaşarak alınan önlemler hatanın tekrarlanmasını engelleyerek kaliteli çalışmaya olanak sağlayacaktır. Kalite kontrol ölçüm analizleri tüm üretim sürecine entegre olarak kayıt altına alınabilmektedir. Uçtan uca izlenebilirlik sistemi ile olası hatanın tespit edilmesi ve anında müdahale edilmesi işletmelerin ilerleyen zamanlarda minimum kayıpla üretim sürecini tamamlamalarını sağlamaktadır. Bulut bilişim kullanıcıları depoladıkları büyük ölçüdeki verilerle mevcut süreci kıyaslayarak hataları için çözüm niteliğinde yeni çalışmalar yapabilecektir.

1.3.2. İzlenebilirlik

Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), izlenebilirlik kavramını; incelenen bir ürünün geçmişini, geçirdiği uygulamalar ve yerini izleyebilme kabiliyeti olarak tanımlamaktadır [15]. İzlenebilirlik sistemi ile her bir ürünün barkod, etiket, sicil kartı gibi belirli metotlarla tanımlaması yapılarak sistemde saklanması sağlanmaktadır [16]. Ürünlerin izlenebilir olması herhangi bir sorun karşısında sorunun yerini ve nedenini tespit edebilmesini sağlamaktadır. Böylece firmalar sorunun kaynağına inerek düzeltmelerde bulunabilmektedir. Sorunun tekrarlanmaması adına alınacak önlemleri de rahatlıkla belirleyebilecektir [15]. Günümüz üretim işletmeleri çoğunlukla ürünlerini kağıt üzerinden basit kayıt usulüne göre takip etmektedir. Bu kayıt tipi veri kalabalığına ve sorunun geç fark edilmesine neden olabilmektedir. Bilgisayar tabanlı gerçekleştirilen kompleks sistemler ile ürünlere ve içinde bulundukları her süreçte hakim olunabilmektedir [16].

İzlenebilirlik sistemi, üretim işletmelerinin tedarik zinciri, stok ve kalite yönetimi konularında etkinliğini arttırmaktadır. Tedarik zinciri sürecinden itibaren başlayan izlenebilirlik süreci, tedarikçileri değerlendirme ve tedarik yönetimini geliştirme konusunda firmaların avantaj sağlamaktadır. Oluşturulan izlenebilirlik sistemi ile risk ihtimali taşıyan proseslerde çift taraflı takip yapılabilmektedir [16]. Özellikle gıda sektöründe ürünlerin kolay bozulması, üretim ortamından etkilenmesi nedeniyle izlenebilirlik büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de de 5179 Sayılı Gıdaların Üretimi, Tüketimi ve Denetlenmesine Dair Kanun Hükmünde Kararnamenin Değiştirilerek

Kabulü Hakkında Kanunun 16. maddesinde gıda ile ilgili tüm işletmelerde izlenebilirlik sisteminin kurulması şart koşulmuştur [17].

Endüstri 4.0'a ait yazılımlar ile üretim bilgileri anlık olarak kaydedilip izlenebilmekte, istenildiğinde rapor alınabilmektedir [18]. Geleneksel üretim sistemlerinden farklı olarak ürünler benzersiz bir seri numarasına sahip olarak üretim sürecindeki tüm hareketlerini kayıt altında tutacaktır [10]. Üretimdeki tüm operasyonların makineler ve ürünler içindeki geçişlerini takip etmek, süreçler arasında bilgilerin aktarılmasını sağlamak operasyonların izlenebilirliğini sağlamaktadır. Özellikle gıda ve kimya sektöründe izlenebilirlik, gıda güvenliğinin artırılması, ürünün geri çağırılması, tedarik zinciri yönetimi alanlarında kullanılmaktadır [19].

1.3.3. Tahmin

Günümüz üretim işletmelerinde, üretim performansının, miktarının ve diğer değişkenlerin tahmin edilebilmesi pazardaki rakip firmalardan bir adım öne çıkarmaktadır. Üretim miktarlarının tahmini, tesisin gelecek dönemlerdeki giderlerini, üretim tezgâhlarındaki hata oranlarını ve karşılaşılabilecek sorunların öngörülmesini sağlamaktadır [20]. Üretimde makinelerde oluşacak arızanın ve yaşanacak kritik duruşların bilgisi, stok miktarlarına ait tahminler süreçlerin iyileştirilmesi için fırsat tanımaktadır. Aynı zamanda etkin üretim planlama sisteminin başında da yüksek tahmin edilebilirlik seviyesi gelmektedir. Planlama girdilerinin belirlenebilmesi için yapılan tahminlerin doğruluğu ve geçerliliği önemlidir.

Büyük verinin ortaya koyduğu tahmin gücü üretim işletmelerinin kendini göstermesini ve fark atmasına imkan vermektedir [21]. Siber fiziksel sistemler ile yaşanan küçük ya da büyük sorunların gerçek zamanlı olarak takip edilmesini sağlamaktadır. Böylece, oluşabilecek hata ve kalite problemlerini tahmin ederek kendi kendilerine optimize edilmiş kararlar verebilmektedirler. Üretim işletmeleri için bu tahmin gücü öngörücü bakım sürecinin ilk adımı olmaktadır [22]. Zaman ve talep faktörleri göz önünde bulunarak elde edilen veriler doğru tahminleme metodları ile yorumlanarak planlama yapılabilmektedir. Aynı zamanda işletmeler için yalın üretim uygulaması da sağlanmış olacaktır.

1.3.4. Maliyet

İşletmelerin bulundukları sektör ve çalıştıkları faaliyet alanları değişiklik gösterse de genel olarak işletmelerin ortak hedefi faaliyetlerinin sonucunda değer yaratmak ve kâr elde etmektir. Üretim faaliyeti gösteren işletmelerde üretilen ürünler için maliyetin doğru ve etkin olarak belirlenmesi hem işletmelerin varlığını devam ettirmeleri açısından son derece önem taşımaktadır [23].

Maliyet muhasebesi; işletmelerin üretilen ürünün niteliğine, kullanılan üretim sistemlerinin kalitesine ve sahip olduğu teknolojinin özelliğine göre farklılık göstermektedir. Firmalar açısından, işçilik giderleri ve genel üretim giderlerinin yanı sıra yatırıma odaklı maliyet düşüncesi de yer almaktadır. Günümüz rekabet koşullarında kaliteli, güvenilir, müşterinin isteğine tam anlamıyla ve en kısa sürede cevap veren üretim sürecini sürdürülebilir kılmak için işletmeler maliyetlerini doğru bir şekilde hesaplayabilmelidir. Firmalar sahip oldukları maliyet muhasebesi altyapısını, gelişen ve değişen sistemlere uygun hale getirmelidir [24].

Firmaların Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde, gerekli donanım ve yazılım altyapısının sağlanması için ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Siber fiziksel sistemler, robotik sistemler, sanal gerçeklik, üç boyutlu ürün tasarımı, kablosuz sensör ağı, büyük veri teknolojileri ve bu bileşenlerin entegrasyonu büyük maliyet gerektiren uygulamalardır [22]. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle Endüstri 4.0'a geçiş düşüncesini erteleyen ya da tamamıyla vazgeçen yöneticiler, ihtiyaç duydukları yeniliklere öncelik vererek maliyet analizi çalışmalarında bulunmalıdır.

Endüstri 4.0 için uygun teknolojik altyapı sağlandıktan sonra otomasyonun etkisiyle insan gücüne dayalı üretim yerini teknoloji gücüne bırakacaktır. Böylelikle işçilik maliyetlerinde azalma görülecektir. Hata payını azaltma ve kaliteli üretim ile fire maliyetlerinde de azalış gerçekleşecektir.

1.3.5. Güvenlik

Teknolojinin yaygınlaşması ile birlikte sosyal ve iş çevresinde kişilere ait bilgilere ulaşım kolaylaşmıştır. Sosyal alanlarda, işletmelerde ve devlet kurumlarında yer alan kayıtlara kadar tüm bilgilere internet aracılığıyla erişim sağlanabilmektedir. Veriye

kolay ulaşım sağlanması aynı zamanda verinin güvenli bir şekilde saklanması hakkında sorular meydana getirmektedir. Doğru bilgiye olan bağımlılık aynı zamanda bilginin korunması ihtiyacını gündeme getirmiştir. Sosyal çevrenin yanı sıra iş çevresinde de firmaların kendi bünyesinde bulunan çalışanlarına ait bilgileri güvende tutmaları beklenmektedir. İşletmelerin tedarik zincirinden müşterileri ile iletişimlerine kadar geçirdiği süre boyunca edindikleri verileri bilgi güvenliği kapsamında korumaları gerekmektedir. Bilgi güvenliği; bilgilerin izinsiz erişimlerden, kullanımından, ifşa edilmesinden, yok edilmesinden, değiştirilmesinden veya hasar verilmesinden korunma işlemidir [25]. Endüstri 4.0'ın bileşenlerinden büyük veri ile karşılaşılacak büyük tehditlerden biri de güvenlik açığıdır. Büyük verinin beraberinde getirdiği geleceği tahmin edebilme faktörü aynı zamanda bilginin kötüye kullanımı ile ilgili bazı kaygılara da sebep olabilmektedir. Güvenlik unsuruyla ilgili karşılaşılacak sorunlar kişisel mahremiyet ihlali ve kurumsal verilerin yetkisiz erişimi ve kullanımı olmak üzere iki grupta toplanabilmektedir. Kişisel bilgilerin onay alınmadan farklı kullanıcılar tarafından kullanımı ve elde edilen verinin değiştirilmesidir [26]. İnternet üzerinden veya bulut tabanlı bir teknoloji aracılığıyla büyük miktarlarda bilgi paylaşımında güvenliği sağlamak oldukça zordur [27]. Veri paylaşımında, dış dünyanın erişimine açılan dosyaların güvensiz koşullar altında yanlış ellere geçmesini önlemek için büyük veriye dair güvenlik önlemlerinin alınmasını gerekmektedir [28]. Ayrıca büyük veri sistemlerinin tasarlanması, geliştirilmesi ve güvenliğinin sağlanması, yeterli düzeyde bilgi birikimine sahip kişiler tarafından gerçekleştirilmelidir [27].

1.3.6. Karar verme

İşletmelerin üretim süreçlerini doğru yönetebilmesi, verimlilikleri ve maliyetleri açısından önem taşımaktadır. Üretim yönetiminde alınan doğru kararlar verimliliği arttıracak gibi maliyeti de azaltarak işletme açısından kazanç ve prestij sağlayacaktır. Üretimin sürecinde sorun çıktığında anlık kararlar alınması ve hızlı müdahalelerde bulunulması gerekebilmektedir. Bu süreçte üretimin anlık takip edilmesi ve bir sonraki adımın tahmin edilebilirliği karar verme mekanizmasını doğru yönlendirir. Endüstri 4.0 ile gelen teknolojiler ile yapılan prototip üretimler, sanal gerçeklik ile gerçek verileri kullanarak yapılan testler karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. Yapılacak iyileştirmeler, yeni tasarımlar, süreç değişiklikleri, üretim şeklini değiştirme adımları

simüle edilerek öngörü sağlanabilmektedir. Böylece olası tehditler ve zorluklar göz önüne alınarak eksiksiz ve doğru kararlar verilebilmektedir.

1.3.7. Hızlılık

Günümüz rekabet koşullarında değişikliklere hızla ayak uydurmak önemlidir. Firmalar müşteri taleplerini karşılayabilmek için karmaşık üretim sistemlerini etkin bir şekilde kullanmak istemektedir. Aynı zamanda üretimlerinde istemlerinde çeşitlilik ve hızlılık ön planda tutulmaktadır. Yalın üretim anlayışında yer alan tam zamanında işleme, kontrol, taşıma ve sevkiyat süresi iyileşme ve sürekliliği sağlamaktadır. Bu işlem adımlarında üretim sürecindeki hızın artması ve akış süresinin kısaltılması sağlanmalıdır. Özellikle emek gücünün yerini otomasyona bırakması ile Endüstri 4.0 uygulamalarını benimseyen firmalarda bu sürelerin kısaldığı görülecektir. Tedarikçi ve müşteri arasındaki süreçte oluşan hataların hızlı tespit edilmesi, anında müdahale edilebilmesi, sağlanarak yüksek kalite standartlarıyla ürünler müşterilere teslim edilebilecektir. Yeni üretim tekniklerinin sağladığı esneklik sayesinde müşteriye özel ürünlerin üretimi de çok kısa bir süre içinde mümkün olabilecektir. Ayrıca tüm bu üretim sürecinin, uzaktaki insanların katılımıyla gerçekleşmesi beklenmektedir [10].

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışma kapsamında Endüstri 4.0 konusuna ve yapısal eşitlik modeli yöntemine ilişkin literatürde inceleme sağlanmıştır.

Cerutia ve arkadaşları hazırladıkları raporda havacılık sektöründe Endüstri 4.0'ın getirilerinden biri olan artırılmış gerçeklik kavramının bakım departmanı üzerindeki etkilerini ele almıştır. Çalışmada gerçekçi senaryolar ile birlikte bakım görevlerini destekleyen artırılmış gerçekliğe yönelik incelemelerde bulunulmuştur. Havacılık 4.0'da bakım konusu altında Endüstri 4.0'ın artırılmış gerçekliğe yönelik çalışmalarını yaygınlaştırmadan önce düzenleyici çerçevenin zor olsa da geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [29].

Saurabh ve arkadaşları, Endüstri 4.0 ile gelen kavramların uygulanmasında çıkan zorluklar için genel bir bakış açısı sunmaya çalışmıştır. Endüstri 4.0'ı uygulanmasında tüm süreçlerin entegre edilmesi ve sürekli iyileştirmenin sağlanmasının önemini vurgulanmış, büyük miktarda yatırım gerektiği belirtilmiştir. Endüstri 4.0 ile gelen standart bağlantı protokollerinin artan bağlanabilirliği ve kullanımıyla sistem verilerini siber güvenlik tehditlerinden koruma ihtiyacının büyük ölçüde artacağını öngörmüştür [30].

Kagermann çalışmasında, üretim ekipmanlarına, yüksek derecede otomatik tezgahlar ve robotların uygulanmasıyla Endüstri 4.0'ın karakterize edileceğini ve ileride robotlar ve işçilerin işbirliği içinde olacağını belirtmiştir [31].

Soysal ve Pamuk, çalışmasında üretim faaliyeti gösteren firmalardaki uygulamaları ele alarak ileri otomasyon ve benzetim teknikleri ile üretim hızını arttıracaklarını belirtmiştir. Üretimde kullanılacak olan sensörler ile üretim sürecinin anlık takibinin sağlanacağını ve olası hatalara anında müdahale etme sistemi ile kalite artışını sağlanabileceğini öngörmüştür [32].

Özkoç ve Karalar, 49 lise mezunu ve 90 lisans öğrencisi üzerinde yaptığı araştırma sonucu ile Endüstri 4.0 algısını ölçmeye çalışmıştır. Çalışmada farklı yaş ve

cinsiyette toplam 139 öğrenciye yöneltilen 4 açık uçlu soru ile kavrama ilişkin geliştirdikleri metaforlar ve algıları elde edilmiştir. Araştırmanın sonucunda lise mezunu öğrencilerin 48, lisans öğrencilerinin 89 farklı yorumu ile Endüstri 4.0 kavramını açıkladığını ve hem olumlu hem de olumsuz düşüncelere yer verilerek olumlu görüşlerin ağır bastığı görülmüştür. Temel olumlu düşüncelerin, hayat standartlarının kolaylaşması, yeni meslek alanlarının ortaya çıkması ve otonom üretimle birlikte maliyetin azalması olduğu görülmüştür. Bunların yanı sıra işsizlik, bağımlılık ve korku temasında olumsuz düşüncelerin de olduğu belirtilmiştir [33].

Yılmaz yaptığı yüksek lisans tezinde İzmir ve Manisa’da yer alan firmalara açık uçlu anket sorularıyla 38 kişinin Endüstri 4.0 farkındalığını ölçmüştür. Endüstri 4.0’ın beklenen zorlukları, faydaları, katma değer sağlayacağı alanlara ait veriler SPSS 24 versiyonu ile analiz edilmiştir. Kurulan hipotezleri test etmek için Ki-kare testi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Endüstri 4.0 teriminin en çok olmak üzere nesnelerin interneti ve büyük veri kavramlarının firmalar tarafından en çok bilinen terimler olduğu görülmüştür [34].

Öztemel ve Gürsev çalışmasında Lojistik 4.0 ile ilgili 110 kişiye uyguladığı anketten güvenilir görülen 90 anket sonucunu SPSS programı ile analiz etmiştir. Analiz sonucunda lojistik sektöründe Endüstri 4.0 ile ilgili olumsuz görüşlerin olduğu ve sektörde, nitelikli iş gücü, doğru yatırım ve teknoloji yönetiminin yapılması, sektöre ait verilerin ve süreçlerin doğru analizi gibi ihtiyaçları olduğu tespit edilmiştir [35].

Şenol doktora tezinde; enerji verimliliğini etkileyen faktörleri içeren teorik bir model geliştirerek Yapısal Eşitlik Modellemesi ile test etmiştir. 330 kişiden topladığı verilere SPSS paket programı aracılığıyla Açıklayıcı ve Doğrulayıcı faktör analizi uygulamıştır. Enerji verimliliği, denetim, otomasyon, eğitim, yönetim faktörlerinin ilişkileriyle oluşturulan teorik model LISREL paket programı ile analiz etmiştir. Çalışmada, sektördeki imalat işletmelerinde enerjinin verimli kullanılabilmesi için kendi olanakları kapsamında bazı önlemler alınması gerektiğini belirtmiştir [36].

Ergül çalışmasında, e-hizmet kalitesinin aracı firmalara duyulan güvene etkisini ölçmek amacıyla web site tasarımı, güvenilirlik/tamamlama, müşteri hizmetleri ve gizlilik/güvenlik faktörlerini oluşturarak yapısal eşitlik modeli ile analiz etmiştir. Araştırma kapsamında toplanan veriler AMOS programı aracılığıyla e-ticareten e-

pazaryerlerine kadar süreç detaylı analiz edilmiştir. Çalışmada, aracı firmalara ve satıcılara duyulan güvenin satınalma talebi üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda pazar yerlerine ait özelliklerin geribildirimlerle satıcılara duyulan güven üzerinde anlamlı etkisi olduğu belirtilmiştir [37].

Karaman çalışmasında, sağlık kurumlarında dış kaynak kullanımının avantaj ve dezavantajlarını belirterek sürece ilişkin çerçeve oluşturmuştur. Karadeniz Bölgesindeki sağlık kurumlarında çalışan 218 kişiden toplanılan verilerle uygulamanın maliyet ve rekabet üzerindeki etkileri incelenmiştir. Likert tipi ölçeklerle yöneltilen soruların cevaplarına SPSS 21 paket programı ile iç tutarlık analizi uygulanmıştır. Sağlık kurumlarında dış kaynak kullanımını etkileyen faktörleri belirlemek için açıklayıcı faktör analizi uygulanarak araştırmanın modeli oluşturulmuş, ardından AMOS 20.0 paket programı ile yapısal eşitlik modeli test edilmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde işletme için stratejik öneme sahip olan bilgi işlem, güvenlik, genel bina bakım ve onarım faaliyetlerinde de dış kaynak kullanımı yaygındır [38].

Literatürde yer alan Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmalara bakıldığında, genel bilgilendirmede bulunarak öneminin vurgulandığı görülmektedir. Sektörel bazı Endüstri 4.0 kavramı incelenerek, otomasyona dair örnekler verilmiştir. Yapısal eşitlik modeli ile ilgili çalışmalar ise genellikle sosyal bilimler alanında yoğunluk göstermektedir. Yapısal eşitlik modellemesi için genellikle LISREL ve AMOS programlarının kullanıldığı görülmektedir.

Endüstri 4.0'a yönelik yapısal eşitlik modeli yöntemi ile yapılan çalışmalar ise genellikle tek bir sektöre yönelik çalışmalardır. Bazı çalışmalarda ise Endüstri 4.0 için açık uçlu sorularla genel algıya erişilmek amacıyla yapıldığı görülmektedir. Endüstri 4.0'ın çeşitli sektörlerde çalışan kişiler tarafında oluşturduğu algıyı ölçmek için literatürde yapılmış bir çalışma bulunmamıştır. Bu nedenle yapısal eşitlik modeli kullanılarak AMOS programı aracılığıyla analizine karar verilmiştir.

3. YÖNTEM

3.1. Faktör Analizi

Faktör Analizi, birbiri ile ilişkili çok sayıda değişkenin bir araya gelerek, birbiri ile ilişkisiz daha az sayıda faktör ya da boyut olarak adlandırılan yeni ortak değişken bulmayı amaçlayan çok değişkenli istatistiksel yöntemdir. Faktör analizi ile değişken sayısının azaltılması ve değişkenler arasındaki ilişkiler baz alınarak yeni yapılar ortaya konulması amaçlanmaktadır. Böylece teorik modeldeki birbiri ile ilişkili değişkenler gruplanarak faktörler altında birleştirilip yeni faktör grupları belirlenmektedir [39].

Gözlenen değişkenlerin faktörlerle olan ilişkisini faktör yükleri olarak adlandırılan katsayılar açıklamaktadır. Faktörlerin maddelerle ilişkisinden oluşan faktör yüklerinin yüksek olması beklenmektedir. Faktör yüklerinin karelerinin toplamı ile bulunan özdeğer, her bir faktör için açıklanan varyans oranını hesaplamaktadır. Açıklanan varyans oranı faktör sayısını belirlemede önemli yol göstericilik sağlar. Özdeğer yükseldikçe açıklanan varyans oranı da yükselmektedir. Faktör analizi ile ilgili bir diğer terim ise faktörleştirmedir. Temel eksenler, maksimum olasılık ve çoklu gruplandırma gibi klasik faktör türetme yöntemleri bulunmaktadır [39].

Faktör analizi, açıklayıcı ve doğrulayıcı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Açıklayıcı faktör analizinde, değişkenler arası ilişkilerden yola çıkılarak faktör bulma ve teori üretmeye yönelik işlem yapılırken; doğrulayıcı faktör analizinde, değişkenler arasındaki ilişkilerin analizi söz konusudur [39].

Yapısal eşitlik modelinin bir türü olan Doğrulayıcı Faktör Analizi için öncelikle SPSS ile saptanan faktör ve alt boyutları ile bir model oluşturulmaktadır. Ardından doğrulayıcı faktör analizi ile model test edilerek, araştırmada ölçek sorularının ölçtüğü yapı kuramsal olarak belirlenir. Açıklayıcı faktör analizi ile kurulan yapının, doğrulayıcı faktör analizi doğrulanması sık başvuru alan yollardan biridir [40].

3.2. Açıklayıcı Faktör Analizi

Açıklayıcı faktör analizi ile çok sayıda değişken, aralarındaki ilişkiler göz önünde bulundurularak faktör adı altında yeni gruplara ayrılmaktadır. Faktörler, sahip oldukları değişkenlere göre isimlendirilmektedir [41]. Bu süreçte analiz sonuçlarına göre maddelerin bir kısmı çıkarılarak analizlere devam edebilmiştir.

Açıklayıcı faktör analizi; verilerin en az eşit aralık ölçekte ölçülmüş olması varsayımı ile yapılır. Aynı zamanda çok değişkenli normallik varsayımının sağlanması gerekmektedir. Bu sayede değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu kabul edilmektedir. Bir başka varsayıma göre analizde değişkenlerin normal dağılıma sahip olması gerekir. Açıklayıcı faktör analizinde değişkenler arasındaki korelasyonlar 0.50'nin altında olduğu zaman, bu değişkenlerden uygun faktörlere ulaşmak mümkün olmayacağı da göz önünde bulundurularak değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin belirli bir düzeyde tutulması gereklidir. Ayrıca bütün gözlenen değişkenlerin sadece bir hata faktöründen etkilendiğini ve bu hata faktörlerinin birbiriyle ilişkisinin olmadığı varsayılmaktadır. Açıklayıcı faktör analizinde verilerin uygunluğunu test etmek için en sık kullanılan testler Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett testleridir [42].

3.2.1. Kaiser-Meyer-Olkin testi

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi, örneklem uygunluğunu ölçen bir test olup gözlenen korelasyon katsayıları büyüklüğü ile kısmi korelasyon katsayılarının büyüklüğünü karşılaştırmaktadır [42]. Kaiser-Meyer-Olkin testi için örneklem yeterlilik dereceleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kaiser-Meyer-Olkin testi [43]

KMO DEĞERİ	YORUM
0,90	Mükemmel
0,80	Çok İyi
0,70	İyi
0,60	Orta
0,50	Zayıf
0,50'nin altı	Kabul Edilemez

Tablo 3.1'de de görüldüğü gibi Kaiser-Meyer-Olkin testinde, örneklem büyüklüğü için hesaplanan değer; 1,00-0,90 arasında ise mükemmel, 0,89-0,80 arasında ise çok iyi,

0,79-0,70 arasında ise iyi, 0,69-0,60 arasında ise orta, 0,59-0,50 arasında ise zayıf ve 0,50'nin altında ise kabul edilemez olarak yorumlanmaktadır.

3.2.2. Bartlett küresellik testi

Açıklayıcı faktör analizinde Bartlett testi ile verilerin çoklu normal dağılımdan gelme durumu test edilir. Regresyon analizinin tersine faktör analizinde, değişkenler arasında yüksek korelasyon ilişkisi aranmaktadır. Bu nedenle Bartlett testi ile değişkenlerin birbiri ile korelasyonunu gösteren korelasyon matrisinin birim matrise eşitliği test edilir [42]. Verilerin çoklu normal dağılımdan gelme varsayımlarının sağlanması için olasılık değerinin 0,05'ten küçük olması gerekir [41]. H_0 hipotezi reddedilirse Bartlett testinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu soncuna ulaşılır. Değişkenler arasında korelasyon olduğu kabul edilerek faktör analizi uygulanır [42].

3.2.3. Faktör sayısının belirlenmesi

Açıklayıcı faktör analizi ile gözlenen ve tekrar yapılandırılan korelasyon matrisleri arasındaki uyumu arttırmak faktör sayısına bağlıdır. Açıklayıcı faktör analizinde gerekli faktör sayısını belirlemek önem taşımaktadır. Boyut belirlemek için gerçekleştirilen yöntemlerden biri özdeğer yöntemidir. Özdeğeri 1'den büyük olanların bir faktör olarak belirlendiği yöntemde, korelasyon matrisinin 1'den küçük özdeğerleri anlamsız kabul edilip analize dahil edilmez. 1'den büyük özdeğer sayısı kadar faktör türetilmektedir [42].

Açıklayıcı faktör analizinde faktör sayısına karar verildikten sonra daha basit yapı elde etmek için faktörlerin döndürülmesi yöntemleri yapılmaktadır. Döndürme yöntemleri içinde varimax, quartimax ve equamax en yaygın yöntemlerdir. Varimax yöntemi ile basit yapıya ve anlamlı faktörlere ulaşmada faktör yükleri matrisinin sütunlarına öncelik verildiği için çalışmadaki uygulama adımlarında bu yöntem kullanılmıştır. Böylece değişken sayısı azaltılarak faktör varyanslarının maksimum olması sağlanacak şekilde döndürme yapılmaktadır. Varimax yöntemi ile faktör yüklerine ulaşılmaktadır [41]. Faktör analizinin son aşaması ise faktör skorlarının bulunarak yorumlanmasıdır [42].

3.3. Doğrulayıcı Faktör Analizi

Doğrulayıcı faktör analizi, açıklayıcı faktör analizi ile belirlenen faktörlerin yapılarını uygunluk durumuna göre test etmek için kullanılan analizdir [41]. Özellikle ölçek geliştirme ve uyarlama sürecinde açıklayıcı faktör analizi ile belirlenen yapının geçerliliğinin incelenmesine dayanmaktadır. Doğrulayıcı faktör analizinde gözlenen değişkenler, belli faktörlere önceden atanmış ya da sabitlenmiş olmaktadır. Kurama dayalı olarak tanımlanan faktörlerin arasındaki ilişkiyi veya ilişkisiz faktörlerin varlığını analiz öncesinde ön görebilmektedir [44].

Doğrulayıcı faktör analizi kullanılarak; açıklayıcı faktör analizi ile elde edilen faktörler ve değişkenler arasındaki ilişkinin yeterliliği, orijinal yapıyı açıklayabilmesi, faktörlerin birbirinden bağımsızlığı ve değişkenlerle faktörler arasındaki ilişkinin doğruluğu test edilmektedir. [41]. Doğrulayıcı faktör analizinin adımları aynı zamanda yapısal eşitlik modelinin adımlarını oluşturmaktadır. Bundan sonraki bölümde yapısal eşitlik modeli ve aşamaları anlatılmaktadır.

3.4. Yapısal Eşitlik Modeli ve Özellikleri

Yapısal eşitlik modellemesi; gizil değişkenler yardımı ile gizil yapıları ölçerek bu ölçülen ve ölçülemeyen değerler arasındaki neden-sonuç ilişkisini ortaya koyan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir. Aynı zamanda, nedensel modelleme, eşanlı denklem sistemi, modelleme kovaryans yapı analizi olarak tanımlanmaktadır [45].

YEM'in amacı, öncesinde tahmin yürütülen nedensel ilişkinin elde edilen verilerle doğrulanıp doğrulanmadığını ortaya koymaktır. YEM'in kullanılmasındaki en önemli neden, tamamen teoriye dayalı olmasıdır [46].

Yapısal eşitlik modellemesi, diğer yöntemlerden farklı olarak gözlenen değişkenlerin ölçüm hatalarını dikkate almadığı için sosyal bilimler, davranış bilimleri, eğitim bilimleri, ekonomi ve tıbbi bilimler gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Bazı özelliklerinden dolayı YEM, klasik çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden ayrılmaktadır [47]. Regresyon tekniğine kıyasla, birçok değişken arasındaki ilişkilerin modellenmesi ile süreci sistematik ve kapsamlı bir şekilde ele almayı sağlamaktadır. Karmaşık modellerin testinde birçok analizi tek seferde tamamlayarak başarılı

sonuçlar vermektedir. Kurulan modelin bileşenleri arasındaki bağı inceleyerek, düzeltilmesine olanak sağlamaktadır. Birçok teorinin test edilmesinde doğrudan ölçülemeyen kavramların ve ölçüm hatalarının dahil edilmesini sağlayarak yeni modellerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır [48].

Yapısal eşitlik modellemesi ile kurulan modeller, genellikle doğrudan ölçülemeyen veya iyi tanımlanamamış varsayımlar için uygundur. Tüm gözlenen değişkenlerdeki olası ölçüm hatalarını dahil ederek modele her bir ölçüm için hata terimleri dahil etmektedir. Genellikle gözlenen değişkenlerin tamamı için kovaryans ve korelasyon matrisleri temel alınmaktadır [49].

3.5. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Tarihçesi

Yapısal eşitlik modelinin tarihsel gelişimi dört aşamada gerçekleşmiştir. Bu aşamalar kronolojik sıra ile; regresyon, yol analizi, doğrulayıcı faktör analizi ve yapısal eşitlik modeli şeklindedir.

İlk modelin yapısını doğrusal regresyon modelleri oluşturmaktadır. Doğrusal regresyon modelinde, en küçük kareler yöntemi ve korelasyon katsayısı kullanarak regresyon ağırlıkları hesaplanmaktadır. 1896'da Karl Pearson, iki değişkene ait ilişki büyüklüğünü standardize etmek amacıyla korelasyon katsayısına için formül geliştirerek regresyon modellerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır [50]. Regresyon, bir bağımlı değişkeni, bir ya da birden fazla bağımsız değişken ile hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir [46].

İkinci model olan yol analizinin temeli 1920'li yılların başında genetikçi Sewall Wright tarafından atılmıştır [45]. Korelasyon katsayısı ve regresyon analizi verilerini kullanarak gözlenebilen değişkenler arasındaki karmaşık ilişkilerin modellenmesini sağlayan bir yöntemdir [46]. Yol analizinde parametreler, denklem sistemlerinin doğrusal cebir, doğrusal eşanlı denklemler yöntemiyle veya çoklu regresyon analizinin kullanılmasıyla tahmin edilmektedir [45].

Üçüncü model olan doğrulayıcı faktör analizinin temeli Howe, Anderson, Rubin ve Lawley'in çalışmalarına dayanmaktadır. Belirli bir değişken kümesinin, daha genel bir yapıyla açıklanmasını araştıran doğrulayıcı faktör analizi, özellikle 1960'larda Karl

Jöreskog'un çalışmalarıyla gelişmeye başlamıştır [51]. Doğrulayıcı faktör analizi, belirli değişken kümesi yardımıyla daha kapsamlı bir yapının açıklanmasını ortaya koymaktadır [45].

Son model ise yapısal eşitlik modelidir. Yapısal eşitlik modellemesi ilk defa Jöreskog, Keesling ve Wiley tarafından yapılan uygulamalarla geliştirilmiştir. Gizil değişken ve ölçüm modellerini teorik olarak birleştirerek yapısal eşitlik modelinin temelleri oluşturulmuştur. Doğrulayıcı faktör analizi ve yol analizi modellerinin birleşiminden oluşan yapısal eşitlik modelinin en önemli özelliği, test edilen modellerin bu kapsamda elde edilmiş verilerin uygunluğunun belirlenebilmesi için değerlendirme ölçütleri sağlayabilmesidir [50].

3.6. YEM ile İlgili Temel Kavramlar

YEM'deki en temel kavramlar gözlenebilen değişken ve gizil değişken şeklindedir [46]. Örneklemden doğrudan gözlenerek ölçülebilen veya anakütlede direkt olarak gözlenebilme olanağına sahip olan değişkenler gözlenen değişkenler adlandırılmaktadır. Doğrudan ölçülemeyen teorik yapılara ise gizil değişkenler adı verilmektedir. Gizil değişkenler ancak gözlenebilen değişkenlere bağlanarak gözlenebilmektedir [50]. Yani, gözlenen değişken bir gizil değişkenin göstergesi olabilmektedir [52]. Likert tipi ölçekte her bir madde gözlenebilen değişkenleri ifade ederken, bazı maddeler bir araya gelerek gizil değişken oluşturabilir [46]. Gizil değişkenler, genellikle soyut kavramlara karşılık gelmektedir. Düşünce, algı, tutum vb. psikolojik yapılara ancak göstergeler temelinde ölçülen değişkenler yardımıyla ulaşılabilmektedir.

Temel anlamda yapısal eşitlik modeli, gözlenen ve gizil değişkenlerin arasındaki neden sonuç ilişkisini gösteren modellerden oluşmaktadır. Bir değişken; başka bir değişken için bağımlı veya bağımsız değişken olabilmektedir. Bu nedenle, klasik istatistik yöntemlerinde olan bağımlı ve bağımsız değişkenler, yapısal eşitlik modelinde içsel ve dışsal değişkenler olarak adlandırılmaktadır [44]. Değişkenin başka bir değişkene bağlanıp bağlanmayacağı göz önüne alınarak değişkenler tanımlanır [52].

İçsel değişkenler, diğer değişkenler üzerine bağımlı olarak modellenirken; dışsal değişkenler, diğer değişkenler üzerinde bağımlı modellenmemektedir. [52]. Değişkenler arasındaki ilişki, nedensel ya da korelasyonel olmaktadır. Nedensel ilişki tek yönlü oklarla gösterilerek, bir değişkenin diğer bir değişken üzerindeki doğrudan ya da dolaylı etkisini ifade etmektedir [39]. Çift yönlü oklarla gösterilen korelasyonel ilişkide ise böyle bir etkiden bahsedilememektedir. YEM’de içsel değişkenler arasında, nedensel olmayan bir ilişki olduğu varsayılmaktadır [39].

Uluslararası düzeyde kabul edilen yapısal eşitlik modeli şekillerine göre; kare veya dikdörtgenler, gözlenen ya da ölçülebilen değişkenleri; daire veya elips gizil faktörleri, tek başlı oklar değişkenler ve yapılar arasındaki ilişkiyi; çift başlı oklar değişken ya da yapılar arasındaki kovaryansı göstermektedir [53].

3.7. Yapısal Eşitlik Modelinin Varsayımları

Yapısal eşitlik modelinde gizil ve gözlenen değişkenlerin normal dağılım göstermesi önemli bir varsayımdır. Aksi takdirde ki-kare değeri istenilen değerden büyük çıkarak anlamlı olmadığı halde anlamlı olduğu sonucuna varılmasını sağlayabilmektedir. Likert tipi bir ölçekte, eşit puanlı maddelerin varlığı, son derece dik ve çok değişkenli pozitif basık bir dağılım ortaya çıkarmaktadır. Aksi takdirde, ki-kare değeri büyük çıkarak ve sonuç anlamlı olacaktır. Yapısal eşitlik modelindeki her bir içsel gizil değişken, diğer gizil değişkenlerin her bir değeri ile normal dağılıma sahip olmalıdır [46].

Yapısal eşitlik modeli, gizil ve gözlenen değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu varsayımına dayanmaktadır. Aksi takdirde model uyum tahminleri ve standart hatalar yanlış olur [46]. Modeldeki tüm değişkenler genellikle gizil değişkenlerden oluşmaktadır. Her bir gizil değişken için tek bir gözlenen değişken olduğu durumda regresyon analizi, yapısal eşitlik modellemesine alternatif olarak kullanılabilir.

YEM için önemli varsayımlardan biri de örneklem hacmidir. YEM için sağlanan testler hem kovaryans matrisindeki farkların anlamlılığına hem de örneklem hacmine duyarlıdır. Bu nedenle örneklem hacminin küçük olmaması beklenmektedir. Bu bağlamda, 100’den az örneklem hacmi küçük, 100-200 arası orta ve 200’den fazla örneklem hacmi de büyük olarak sınıflandırılmaktadır. Örneklem hacmi kısıtları kesin

olarak ayrılmamakla birlikte literatürde örneklem hacminin en az 100-200 arasında olması gerektiği belirtilmiştir [46].

3.8. Yapısal Eşitlik Modelleri

Yapısal eşitlik modellemesi nedensel ilişkileri tahmin ederek ve yapısal teorilerin test edilmesinde kullanılan bir istatistiksel yaklaşımdır [54]. Ölçüm modeli ve yapısal model olarak iki alt sistemden meydana gelmektedir [55].

Ölçüm modeli; gözlenen değişkenler ile gizil değişkenler arasındaki ilişki yapısıdır. Gizil değişkenler, gözlenen değişkenler yardımıyla edinilen bilgiye dayanarak incelenmektedir [50]. Tanımlanan gizil değişkenler ile birlikte tüm değişkenler arasındaki yönü tanımlanmamış korelasyonlar hesaplanır. İyi bir YEM analizinin ölçüm modeliyle başlaması gerekmektedir [39]. Ölçüm modeli, gözlenen değişkenleri doğrulayıcı faktör analizi ile bağlayarak uygulanırken; yapısal model, gizil değişkenlerin birbirine eş zamanlı olarak eşitlik sistemi ile bağlayarak uygulanmaktadır [44].

Yapısal model ise gizil değişkenler arasındaki ilişkilerin değerlendirildiği modeldir [25]. Aynı zamanda, ölçüm modeli ile belirlenmiş olan gizil değişkenler arasındaki regresyon modeli olarak tanımlanabilmektedir. Yapısal model bu kapsamda, gizil bağımsız değişkenler ile gizil bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır [47]. Modelde tek ve çift yönlü oklarla gösterilen bütün ilişkiler serbest parametreleri göstermektedir. Yapısal eşitlik modelinin iki temel unsuru olan “ölçüm modeli” ve “yapısal modeli” belirlemek için sabit ve serbest parametreler kullanılmaktadır [39].

Yapısal eşitlik modeli çalışmasına başlamadan önce teorik modele ait ölçeklerin geçerlilik ve güvenilirlik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Ölçüm modeli olarak adlandırılan bu süreçte gizil değişkenlerle, değişkenlerin ilgili olduğu gözlenen değişkenler arasındaki yapı değerlendirilmektedir.

3.9. Yapısal Eşitlik Modeli Aşamaları

Yapısal eşitlik modelinin amacı araştırma kapsamında elde edilen veriye en iyi modeli kurarak analiz sağlamaktır. Bu nedenle araştırma kapsam belirlenirken teorik model

belirlenir. Ardından teorik model çerçevesinde araştırmanın uygulanacağı örneklem seçilir. Uygulama ile model test edilerek, uyumu değerlendirilir. Gerekliği takdirde model modifikasyonu yapılarak elde edilen bulgular ile sonuçlar yorumlanır.

3.9.1. Model belirleme

Yapısal Eşitlik Modellemesi, tahmin edilen modeli doğrulayan analiz türüne dayanmaktadır [56]. Modeldeki değişkenler arasındaki ilişkilere yönelik bütün parametrelerin ayrıntılı olarak belirtilmesi ve doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir [46, 56]. Modellemenin en temel aşaması araştırmanın teorik bir temele dayanmasıdır. Kuramsal çerçevedeki ilişkileri temel alarak model çizilmesi gerekmektedir [46]. Grafik veya şemalarla çizilen modelin belirlenmesiyle ilk önce gizil değişkenlerle ilgili olan ölçüm modeli oluşturulur. Doğrulayıcı faktör analizi ile oluşturulan ölçüm modelinin doğruluğu belirlenir. Ardından gizil değişkenler arasındaki ilişkiler oluşturulur [57].

3.9.2. Model tanımlama

Model belirlemeden sonraki aşama teori çerçevesinde yol şemasının kurulmasıdır. Bu aşamada modelin çözümlenebilmesi için, modelin tanımlanması gerekmektedir. Model tanımlamadaki ilk adım ölçülecek parametre sayısını belirlemektir. Burada yapısal modeller; tanımlanma derecelerine göre sınıflandırılır [46]. Bir modelde bilinmeyen parametreler sadece bir değere eşit ise, tam tanımlanmış; birden fazla değere eşit bulunabiliyorsa aşırı tanımlanmış ve bilinmeyen parametreler için tahmin yapılamıyorsa eksik tanımlanmıştır. Modelin tanımlı olabilmesi için tam ya da aşırı tanımlanmış olması gerekmektedir [44]. Model tanımlaması yapılırken veri değerleri ve hesaplanacak parametre sayılarına dikkat edilmelidir. Tanımlanacak modelin türü, hesaplanacak parametre sayısındaki farklılığa göre belli olmaktadır. Model tanımlama işleminde; modeldeki varyans, kovaryans ve bağlantılardan kaç tanesinin hesaplanacağı belirlenmektedir [39].

Model kurma aşamasında, modeldeki değişkenler ve aralarındaki ilişkilere ait tüm parametreler açıklanmalıdır. Parametreler, sabit ve serbest parametreler olarak ikiye ayrılmaktadır. Sabit parametre veriden hesaplanmayıp, sayısal değeri genellikle sıfıra eşitlenir. Bazı durumlarda parametrelere sıfır dışında belirli değerler de

atanabilmektedir. Verilerden hesaplanan ve değerinin sıfırdan farklı olduğu düşünülen parametreler serbest parametrelerdir. Serbest parametreler, modelde tek ve çift yönlü oklarla gösterilen ilişkilerdir. Sabit ve serbest parametreler, yapısal eşitlik modelinin iki temel unsuru olan “ölçüm modeli” ve “yapısal modeli” belirlemek için de kullanılır [39].

Bir modelde tanımlanan parametre sayısının modeldeki bütün varyans ve kovaryansların toplamından çıkarılması ile YEM’de kullanılan serbestlik derecesi elde edilmektedir [39]. Bu konuda modelin serbestlik derecesi modelin tanımlanmasında temel bir yapıdır [44].

Tahmin edilen parametre sayısının gözlenen değişkenlerin varyans ya da kovaryans sayısından az olması durumunda serbestlik derecesi pozitif çıkmaktadır. Serbestlik derecesinin pozitif olması modelin aşırı doymuş olduğunu göstermektedir. Aksi durumunda modelin serbestlik derecesi negatif çıkacağı için modelin tanımlanamaz durumunda olduğu anlaşılmaktadır. Modelin serbestlik derecesinin sıfıra eşit olması modelin doymuş olduğunun göstergesidir. Bu durumda tahmin edilen parametre sayısı ile gözlenen değişkenlere ait varyans-kovaryans sayısı eşittir. Örneklem varyans-kovaryans matrisindeki farklı değerlerin sayısı Denklem (3.1)’deki formül ile hesaplanmaktadır [46].

$$\frac{p*(p+1)}{2} \quad (3.1)$$

Serbestlik derecesinin sıfıra eşit veya pozitif olması durumunda yani tam ya da aşırı tanımlanmış olmasına göre parametre tahminlerine güvenilmektedir. Yapısal eşitlik modelindeki serbestlik derecesi ortalama ve kovaryans yapı modeli için, Denklem (3.2)’deki formül kullanılırken;

$$sd = \frac{p*(p+1)}{2+p-q_1} \quad (3.2)$$

kovaryans yapı analizi için Denklem (3.3)’teki formül kullanılmaktadır [46].

$$sd = \frac{p*(p+1)}{2-q_2} \quad (3.3)$$

Tüm parametreler için tek bir sayısal sonuca ulaşılabiliriyorsa model, tanımlanmış olarak kabul edilmektedir. Bilinmeyen parametrelere ilişkin tanımlama yapılırken bu unsurlar, bilinmeyen parametreler olarak adlandırılmaktadır [50].

3.9.3. Model tahmini

YEM’de modelin tanımlanıp belirlenmesinden sonraki adım parametrelerin hesaplanmasıdır. Parametreler hesaplanırken, model ile veri arasında bir hata oluşur [58]. Bu nedenle verinin, model ile hatanın toplamından oluştuğu varsayılmaktadır [46]. Formülde belirtilen veri, örneklemden alınan ölçüm değerleri iken gözlenen değişkenlerin gizil değişkenlerle olan ilişkisi modeli oluşturmaktadır [46].

Yapısal eşitlik modellemesinde kullanılan birçok model tahmin yöntemi bulunmaktadır. Bunlar yöntemler arasında en yaygın kullanılanları; En Çok Olabilirlik Yöntemi (EÇOB), En Küçük Kareler Yöntemi (EKK), Genelleştirilmiş En Küçük Kareler Yöntemi (GEKK)’dir [59].

3.9.3.1. En çok olabilirlik yöntemi (EÇOB)

En çok olabilirlik yöntemi (EÇOB), yapısal eşitlik modellemesinde en fazla kullanılan tahmin yöntemidir. Yöntem, aynı zamanda modelleme için kullanılan genellikle bilgisayar programlarında tercih edilmektedir [59].

En çok olabilirlik yöntemi için örneklem hacminin büyük olması gerekmektedir. Örneklem sayısı büyüdükçe tahminleyicinin dağılımı yaklaşık olarak bir normal dağılım göstererek, sapmasız ve kararlı sonuçlar elde edilecektir [53]. Yöntem için gözlenen değişkenlerin çok değişkenli normal dağılıma sahip olması ve en az eşit aralıklı ölçek düzeyine sahip olması gerekmektedir [46]. Gözlenen verilerin çok değişkenli normal dağılım göstermesi durumunda örneklem sayısı da yeterince büyükse, tahminleyicilerin kararlılık göstermesi beklenmektedir [53].

3.9.3.2. En küçük kareler yöntemi (EKK)

Yapısal eşitlik modeli çalışmalarında kullanılan diğer bir yöntem ise en küçük kareler yöntemi (EKK)’dir [59]. Populasyonun ve örneklemin kovaryans matrisi arasındaki farkı minimize eden yöntemde en çok olabilirlik yönteminin aksine dağılım varsayımı

şartı aranmaz [53,59]. Çok değişkenli regresyon analizinde parametre tahmini için sıkça kullanılan bu yöntem yol analizi çalışmalarında da kullanılmaktadır. Doğrusal regresyonda tahmin edilen değerler ile gözlenen değerler arasındaki farkı en küçük yapmaya dayalı tahminler vermektedir. Ancak yapısal eşitlik modellerinde, değişkenlerin bazılarının hata terimiyle ilişkili olmasından dolayı, EKK yöntemi ile yapılan tahminlerin tutarlı olmadığı, bu nedenle de tercih edilmediği belirtilmiştir [59].

3.9.3.3. Genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi (GEKK)

Genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi; EKK yönteminin kullanılması sırasında hatalara ilişkin ortalamanın sıfır ve hatalara ilişkin varyansların her değişken için sabit olduğu varsayımlar sağlanmadığı durumlarda tercih edilir [59]. Yapısal eşitlik modellerinde, hataların birbirinden bağımsız olduğu varsayımı yerine getirilmediğinde, EKK yöntemini kullanmak sonuçların güvenilirliği açısından hatalı olacaktır. Böyle bir durumda, tahmin edilen ve gözlenen kovaryanslar arasındaki farkların toplamını minimize etmek için GEKK yöntemi tercih edilir. GEKK yöntemi hatalara ilişkin varsayımları gerektirmez.

En çok olabilirlik yönteminden daha az hesaplama adımları gerektirse de, genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi daha yanlı sonuçlar verdiği görülmüştür [59].

Hem genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi hem de en çok olabilirlik yöntemi; tarafsızlık, minimum varyans ve büyük örneklem olan arzu edilen asimptotik özelliklere sahiptir. Eğer gözlenen değişkenlere ilişkin dağılım normal dağılımdan önemli bir sapma göstermiyorsa EÇOB tahmin edicisi kullanılabilir. Çok değişkenli normal dağılım varsayımı karşılanmazsa, en çok olabilirlik yöntemi uygun değildir. Bu durumda, sağlam en çok olabilirlik yöntemi, AMOS programının kullanımı için en iyi seçenektir [56].

3.9.4. Model testi ve uyumunun değerlendirilmesi

Yapısal eşitlik modelinde gerçek veri seti ya da varyans-kovaryans matrislerinin yardımıyla parametrelerin tahminlemesi yapıldıktan sonra en önemli adım kurulan

modelin uyumunu test etmektir [53]. Test edilecek modellerin veri ile uyumunu değerlendiren ölçütlere uyum indeksleri adı verilir [47].

Yapısal eşitlik modelinde kurulan alternatif modeller arasından en iyi modeli belirlemek için birçok uyum iyiliği kriterleri bulunmaktadır [44]. Çoğunlukla uyum indekslerinde, teorik modeldeki kovaryans matrisi ile gözlenen değişkenlerden elde edilen örneklem kovaryans matrisi ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda iki matris arasındaki farkın yüksek olması, elde edilen verilerin, teorik modele uymadığını göstermektedir. Farkın düşük olmasında ise model ve verilen uyum sağlandığı söylenebilmektedir.

Belirlenmiş bir modele ilişkin gözlenen kovaryans matrisinin bilinmesi halinde parametre tahminleri için uygun bir metot seçilebilir. Farklı dağılımsal varsayımlara sahip çeşitli tahmin metotları bulunmaktadır [50].

3.9.4.1. Ki-Kare uyum indeksi (CMIN)

Uyum kriterleri arasında en temel ve basit kritere sahip olan uyum indeksi ki-kare olabilirlik testi (CMIN)'dir. Yapısal eşitlik modelinde en çok kullanılan bu uyum indeksinin uygulanması için çoklu normallik varsayımının sağlanması gerekir [44]. Örneklem kovaryans matrisi ile evren kovaryans matrisinin uyumu incelenerek söz konusu değerin anlamlı çıkması iki kovaryans matrislerinin birbirinden farklı olduğunu gösterir. Teorik beklentiler ile verilerin kovaryans matrisi arasında bir farklılığın olmaması ve ki-kare değerinin anlamlı çıkmaması istenmektedir [50].

Yapısal eşitlik modelinde, modelin karmaşıklığı istenmeyen bir durumdur. Ki-kare değerinin, modelinin karmaşıklığı ile aynı doğrultuda uygun çıkmasından dolayı bu test tek başına bir modelin kabulünde ya da reddedilmesinde kullanılmamalıdır. Aynı zamanda büyük örneklem hacminde tahmini model ve gözlenen model arasında bulunan farklılıklar anlamlı çıkacağı için doğru olma ihtimali olan bir modelin reddine neden olacaktır [57]. Çok küçük örneklemelerde ki-kare değeri kolay bir şekilde anlamsız çıkmasına rağmen, çok büyük örneklemelerde de bu değer genelde anlamlı çıkmaktadır [50]. Bu durumda model uyumluluğunun değerlendirmesinde, ki-kare testine alternatif olarak ki-kare değerinin serbestlik derecesine oranına bakılabilir. Hesaplanan istatistik değerinin küçük olduğu sürece uyumluluğunun iyi olduğuna dair

karar verilir [44]. Bu test ileri sürülen model ile gerçekte ortaya çıkan model arasındaki uyumu göstermektedir. Ayrıca bu test farklılık testi olduğu için, serbestlik derecesine oranının 3'ten küçük ve ki-kare değerinin ise anlamsız olması gerekmektedir [60].

3.9.4.2. Karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI)

Karşılaştırmalı uyum indeksi ile elde edilen modelin bağımsız model olup olmadığı kontrol edilmektedir. Örnek genişliğine duyarlı olan karşılaştırmalı uyum indeksinin değeri 1'e yakın olduğunda model ve veri arasındaki çok iyi uyum olduğu düşünülmektedir. İndeks değeri 0,97'den büyük olduğunda iyi uyum, 0,95'den büyük ise modelin kabul edilebilir olduğu söylenmektedir [53]. Uyum indeksleri arasında karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI); normlaştırılmış uyum indeksi (NFI)'ya göre örneklem büyüklüğünden daha fazla etkilenmektedir. Karşılaştırılmış uyum indeksinin hesaplama formülü Denklem (3.4)'te verilmiştir [52].

$$CFI=1-\frac{X_m^2-Sd_m}{X_b^2-Sd_b} \quad (3.4)$$

3.9.4.3. Uyum iyiliği indeksi (GFI)

Uyum İyiliği İndeksi, model tarafından açıklanan varyans ve kovaryansın derecesini gösteren bir uyum ölçeğidir [57]. Ölçeğin değeri, örneklem hacminden etkilenmektedir. Değer, örneklem hacmine paralel olarak yükselirken bu durum örneklem hacminin düşük olduğu durumlarda doğru sonuç alınmasını önleyebilecek niteliktedir. Uyum İyiliği İndeksi (GFI) değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. 0.90 ve üzeri iyi uyum olarak kabul edilir. 0,85 ve üzeri de kabul edilebilir uyum olarak görülmektedir [61]. Ölçeğin hesaplama formülü Denklem (3.5)'te verilmiştir [52].

$$GFI=1-\frac{X_m^2}{X_b^2} \quad (3.5)$$

3.9.4.4. Düzeltilmiş uyum iyiliği indeksi (AGFI)

Uyum iyiliği İndeksinin (GFI), yüksek örnek hacmindeki eksikliğini gidermek amacıyla düzeltilmiş uyum indeksi kullanılır [57]. Örneklem hacmi yükseldikçe ölçeğin değeri de yükselen AGFI değeri, 0 ile 1 arasında değişmektedir. 0,90'dan

büyük değerler uyumun iyi olduğunu göstermektedir [61]. Kalıntılara dayanan uyum indekslerinden düzeltilmiş uyum iyiliği indeksi (AGFI), Uyum İyiliği İndeksi (GFI)'ya eşit veya daha düşük değer almaktadır [52]. Ölçeğin hesaplama formülü Denklem (3.6)'da verilmiştir.

$$AGFI=1-\frac{p(p+1)(1-GFI)}{P(P+1)-2q^2} \quad (3.6)$$

3.9.4.5. Arttırılmalı uyum indeksi (IFI)

Arttırılmalı uyum indeksi, serbestlik derecesi katılmadan hesaplanmaktadır. Arttırılmalı uyum indeksi (IFI); 0,90 ve üzeri ise iyi, 0,95 ve üzeri ise mükemmel model uyumu sağlamaktadır. AMOS programında IFI indeksi hesaplanmaktadır [46].

3.9.4.6. Yaklaşık hataların ortalama karekökü (RMSEA)

Yaklaşık hataların ortalama karekökü (RMSEA), ana kütlede ortaya çıkabilecek beklenen her bir serbestlik derecesinin ortalama farklarını birbirleri ile karşılaştıran bir uyum ölçeğidir [46]. Örneklem büyüklüğünden olumsuz etkilenen bu ölçek, iyi modelin karşılaştırılmasında modeldeki uyum eksikliğini test eder [44]. 1980 yılında Steiger ve Lind tarafından YEM'de model uyumunda kullanılmak üzere önerilmiştir. Araştırmacılar tarafından tercih edilen RMSEA, merkezi olmayan ki-kare dağılımını göstermektedir [53]. Güven aralığının hesaplanabilmesi, indeksin en büyük avantajlarından biridir

Serbestlik derecesinin (sd) küçük ve örneklem hacminin büyük olmadığı zaman RMSEA değeri yanıltıcı olabileceği için kullanılması önerilmez. RMSEA uyum indeksinin 0,05 ve daha az değeri, iyi uyumu; 0,05 ve 0,08 arasındaki değerleri kabul edilebilir uyumu göstermektedir [46]. Denklem (3.7)'de RMSEA hesaplama formülü verilmiştir [52].

$$RMSEA=\sqrt{\frac{\left(X^2 /_{sd-1} \right)}{(N-1)}} \quad (3.7)$$

3.10. Model Modifikasyonu

Yapısal eşitlik modellemesi ile modelin kötü uyum indekslerine sahip olması durumunda teorik çerçeveye bağlı kalarak modelin uyumunun geliştirilmesi için model modifikasyonuna başvurulması gerekmektedir. Bu şekilde değişkenler arasındaki ilişkiler daha iyi tahmin edilebilecektir [46]. Modifikasyonlar yapılırken kuramsal bir yapıya dayandırılmalı ve YEM'in amacının dışına çıkmamalıdır [44]. Eğer model uyumluluk analizi sonucunda düşük uyum iyiliği değerine sahip çıkmışsa veya daha iyi uyum iyiliği düzeyine sahip model geliştirilmek isteniyorsa modelin bazı parametrelerinin eklenmesi veya çıkarılması gerekebilir [45].

Lagrange Multiplier testi, modeldeki sınırlanmış veya sabitlenmiş parametrelerin ne kadar değiştirilip serbest hale getirilerek veya parametre eklenerek modelin uygunluğunun arttırılabileceğini gösteren yöntemdir [45]. Parametre çıkarmak için en yaygın prosedür, her bir parametre için t istatistik değerlerini t tablo değerleriyle karşılaştırmak ve Wald istatistiğini kullanmaktır [44]. Wald testi ise serbest parametrelerin sınırlanması veya sabitlenmesi ve çıkarılması gereken parametreleri göstermektedir [45].

Modele ait bazı sebep-sonuç ilişkileri çıkarılarak veya yeni ilişkiler eklenerek, oluşacak daha uygun koşullar incelenebilir. Bu şekilde yapılan model karşılaştırmalarına hiyerarşik model karşılaştırmaları denir. Ki-kare testi, hiyerarşik model karşılaştırmalarında kullanılır. Hiyerarşik olmayan model karşılaştırmalarında ise AIC testi kullanılır. Değiştirme indekslerini kullanarak sağlama testte önemli kural, her denemede yalnızca bir parametre değiştirmektir [45].

Uyum iyiliği indeks sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra bulgular tartışılarak model kabul veya reddedilir. Gerekirse model üzerinde düzeltme yapılarak model tekrar test edilebilir. Modelin son aşaması, elde edilen bulguların yorumlanarak tartışılmasıdır.

3.11. AMOS Programı ile Yapısal Eşitlik Modeli

AMOS; kovaryans yapı analizi için grafiksel tabanlı bir programdır. Birden fazla model karşılaştırma, bootstrap ve Monte-Carlo analizleri yapma yeteneğine sahiptir

[47]. Microsoft Windows ara yüzü ile geliştirilmiş program olmasına rağmen, araştırmacıların birbirinden tamamen farklı iki modeli belirleme metodu arasında karşılaştırma ve seçim yapmasına olanak sağlamaktadır. AMOS Graphics modülüyle araştırmacı doğrudan bir yol diyagramı ile çalışabilirken, AMOS Basic modülü ile denklem ifadeleri ile birlikte çalışılabilmektedir. Yem kurallarına göre düzenlenen çizim araçlarının çokluğu ve yol diyagramlarının kolay ve hızlı bir şekilde formüle edilebilmesi nedeniyle AMOS Graphics yaklaşımı tercih edilmektedir. AMOS Graphics; yapısal eşitlik modeli ve yol diyagramlarında gereksinim duyulacak tüm araçları kullanıcıya sunmaktadır [47].

3.12. İç Tutarlılık Analizi

Özellikle Likert tipi ölçek geliştirilirken dikkat edilmesi gereken bir önemli nokta ise güvenilirlik düzeyini belirlemektir. Cronbach alpha katsayısının kullanılması iç tutarlılık analizi için uygun görülmektedir. Cronbach α katsayısı 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Ölçeğin α katsayısı 1'e yakın olması ölçekte yer alan maddelerin birbiriyle tutarlılık derecesini göstermektedir. Bu durumda aynı özelliğin öğelerini ölçmekte oldukları kabul edilmektedir [62].

4. UYGULAMA

4.1. Yöntem

Çalışmada, bireylerin Endüstri 4.0 algısını ölçmek için hazırlanan anket formunun değerlendirilmesi yapılarak; yapısal eşitlik modeli aracılığıyla ölçek geliştirilmeye ve analiz edilmeye çalışılmıştır.

Araştırma 15 farklı sektörde Türkiye’de faaliyet gösteren firmalarda yapılmış olup, 6 unvan ve 11 departmanda yer alan kişilerden oluşmaktadır. Z (25 ve altı), Y (26-40) ve X (41 ve üzeri) kuşaklarından farklı eğitim seviyelerinde ve kıdemlerinde kişilerin konu ile ilgili cevaplarına yer verilmiştir. Firmaların sektördeki çalışma yılları, çalışan kapasiteleri, Ar-Ge personel sayısı ve yabancı ortaklık durumları da göz önünde bulundurulmuştur. Çalışanlara yöneltilen anket soruları sürenin yetersiz oluşu ve gerekli cevapların alınamamış olması nedeniyle tek bir veri setinden meydana gelmektedir.

Literatürde yapısal eşitlik modeli için örneklem büyüklüğünün en az 200 olması gerektiği ifade edilmiştir [43]. Bu nedenle bireylerin Endüstri 4.0 algısına yönelik anket çalışması, Google form aracılığıyla sanal ortamdan ulaşılan 273 kişiye uygulanmıştır. Geçerli olan 252 anket analize dahil edilirken, eksik veya doğruluğundan şüphe duyulan cevaplardan dolayı geçersiz görülen 21 anket analize dahil edilmemiştir. Ankette yer alan soruların ikisi ters kodlama yöntemi ile düzeltilmiş, testlere düzeltilen maddeler üzerinden devam edilmiştir. Anket formu; Endüstri 4.0’ın genel bilgilendirmesi, demografik sorular (yaş, eğitim durumu, departman, unvan, firmanın faaliyet gösterdiği bölge, pozisyonda çalışılan yıl, sektör, firmanın faaliyet süresi, firmanın çalışan sayısı, Ar-Ge personel sayısı, yabancı ortaklık durumu) ve kavramsal modeli ölçmeye dayalı sorularla birlikte 3 bölümden oluşmaktadır. Anket formu Ek-A’da verilmiştir. Anket sonucu doğru gözüken 252 kişiye ait araştırma örnekleminin betimsel istatistikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Araştırma örneklemine ait betimsel istatistikler

Değişkenler	Frekans (f)	Yüzde (%)	Değişkenler	Frekans (f)	Yüzde (%)
Yaş			Eğitim Durumu		
25 yaş ve altı	62	24,6	Lise	5	2
26-40	131	52	Yüksekokul	12	4,8
41 yaş ve üzeri	59	23,4	Lisans	181	71,8
			Lisansüstü	54	21,4
Departman					
Üretim	67	25,6	Proje	19	7,5
Satınalma	27	10,7	Kalite	22	8,7
Satış	25	9,9	Bilgi Teknolojileri	15	8,7
Bakım	23	9,1	Planlama	12	4,8
İnsan Kaynakları	9	3,6	Ar-Ge & Inovasyon	19	7,5
			Üst Yönetim	14	5,6
Unvan			Konum		
Stajyer	48	19	Marmara Bölgesi	169	67,1
Mühendis	82	32,5	Akdeniz Bölgesi	32	12,7
Sorumlu	54	21,4	Karadeniz Bölgesi	19	7,5
Şef	43	17,1	Ege Bölgesi	16	6,3
Müdür	21	8,3	İç Anadolu Bölgesi	16	6,3
Müdür Yardımcısı	4	1,6			
Çalışma Yılı			Firma Faaliyet Süre		
0-5 yıl	146	57,9	0-10 yıl	47	18,7
6-10 yıl	53	21	11-20 yıl	111	44
11-15 yıl	45	17,9	21-30 yıl	62	24,6
16-20 yıl	4	1,6	31-50 yıl	14	5,6
21 yıl ve üzeri	4	1,6	50 yıl ve üzeri	18	7,1
Sektör					
Ambalaj	22	8,7	Otomotiv	32	12,7
Beyaz Eşya	16	6,3	Otomotiv Yan Sanayi	10	4
Danışmanlık	28	11,1	Plastik	6	2,4
Gıda	34	13,5	Tekstil	20	7,9
Havacılık	10	4	Yapı	21	8,3
Kimya	14	5,6	Demir Çelik	16	6,3
Kozmetik	9	3,6	Diğer	5	2
Mobilya	9	3,6			
Çalışan Sayısı			Ar-Ge Personeli		
0-100	48	19	0-10 kişi	107	42,5
101-500	119	47,2	11-30 kişi	99	39,3
500-1000	66	26,2	31-50 kişi	30	11,9
1001 ve üzeri	19	7,5	51 kişi ve üzeri	16	6,3
Yabancı Ortaklık					
Var	83	32,9	Yok	169	67,1

Anket yöntemi ile elde edilen demografik özelliklere ait kırılımlar Tablo 4.1’de görülmektedir. Anketi dolduran kişilerin %52’sinin 26-40 yaş aralığında olduğu görülmektedir. Eğitim durumları; lise, yüksekokul, lisans ve lisansüstü gruplarına ayrılmış ve %71,8 oranla en fazla lisans mezunlarının ankete yanıt verdiği

görülmüştür. Anketi dolduran kişilerin; üretim, satınalma, satış, bakım, insan kaynakları, proje, kalite, bilgi teknolojileri, planlama, Ar-Ge & Inovasyon ve üst yönetim departmanlarında bulunduğu görülmüştür. Departmanlar arasında en yüksek kişi sayısı üretim departmanına aittir. Anket; 7 bölge kapsamında değerlendirilmek üzere seçeneleştirilmiş olsa da yanıt veren kişilerin Karadeniz, Akdeniz, Ege ve İç Anadolu Bölgelerinde çalıştıkları görülmektedir. Marmara Bölgesi, %67,1 oranla anketi en çok cevaplayan bölge durumundadır. Firmaların çalışma sürelerine bakarak %44'lük oranla 11-20 yıl arasında olduğu görülmektedir. Ankete cevap veren bireylerin; ambalaj, beyaz eşya, danışmanlık, gıda, havacılık, kimya, kozmetik, mobilya, otomotiv, otomotiv yan sanayi, plastik, tekstil, yapı, demir çelik ve diğer kategorisinde bulunan sektörlerde çalıştıkları görülmektedir. Aynı zamanda ankete katılan firmaların % 32,9'luk kısmı yabancı ortaklığa sahiptir.

Endüstri 4.0'ın firmaların gelişim süreci etkisindeki algıyı ölçmek için uygulanan anket formunda 7'li Likert ölçeği kullanılmıştır. Ölçekte yer alan maddelerin cevap seçenekleri “1=Kesinlikle Katılmıyorum”, “2=Kısmen Katılmıyorum”, “3=Katılmıyorum”, “4=Kararsızım”, “5=Katılıyorum”, “6=Kısmen Katılıyorum” ve “7=Tamamen Katılıyorum” şeklindedir. Ölçekteki maddelerin cevap puanları 1 ile 7 arasında değişkenlik göstererek; yanıtın puanı 7'ye yaklaştıkça kişinin ilgili maddeye katılma düzeyinin yüksek olduğu, 1'e yaklaştıkça kişinin ilgili maddeye katılma düzeyinin düşük olduğunu gösterir.

Araştırma verilerinin geçerlilik ve güvenilirlik analizi kapsamında, öncelikle IBM SPSS 22 paket programı ile açıklayıcı faktör analizi yapılmıştır. Yapısal eşitlik modeli kapsamında doğrulayıcı faktör analizinin yapılmasında ise AMOS 24 paket programından yararlanılmıştır. Yapısal eşitlik modellemesi ile kurulan modelin uyumu tespit edildikten sonra yakınsama ve ayrışma geçerliliğini belirlemek için açıklanan ortalama varyans (AVE) değerleri hesaplanmıştır. Ardından faktörlerin iç tutarlılığını belirlemeye yönelik Cronbach Alpha Analizi ve birleşik güvenilirlik analizi ile değerlendirme yapılmıştır.

4.2. Bulgular

4.2.1. Açıklayıcı faktör analizine ilişkin bulgular

Çalışmada 21 maddeden oluşan taslak ölçeğe açıklayıcı faktör analizi uygulanarak Endüstri 4.0 ile ilgili oluşan algı belirli faktörler altında toplanmaya çalışılmıştır. Çalışanlara yöneltilen soruların ortak yapıları faktör altında gruplandırılarak her bir faktör grubuna isim verilmiştir. Açıklayıcı faktör analizi kapsamında çalışmadaki maddelere Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi ve Bartlett küresellik testi uygulanmıştır.

4.2.1.1. Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) istatistiği

252 kişiden oluşan örneklem büyüklüğünün yeterliliğini tespit edebilmek amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin testi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan KMO ve Bartlett testlerinin sonuçları Tablo 4.2’te verilmiştir.

Tablo 4.2. KMO ve Bartlett testlerinin sonuçları

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	0,919
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square
	2634,561
	Df
	210
	Sig.
	0,000

Tablo 4.2’ye göre KMO değeri 0,919 olarak mükemmel sonuç göstermiştir. Bu sebeple, araştırmadaki örnek büyüklüğü yeterli olduğu göz önüne alınarak testlere devam edilmiştir.

4.2.1.2. Bartlett küresellik testi

Bir veri setine faktör analizinin uygulanabilmesi için ana kütlenin bütünlüğünü test eden ve Bartlett tarafından geliştirilen küresellik testinin sağlanması gerekmektedir. Bu değer %95 güven aralığında 0,05’ten küçük olması istenmektedir. Elde edilen ki-kare değerinin 0,01 düzeyinde anlamlı olduğu ve verilen çok değişkenli normal dağılıma sahip olduğu göz önünde bulundurularak faktör analizinin diğer aşamalarına geçilebileceği düşünülmektedir [40].

Çalışma kapsamında yapılan Bartlett küresellik testi sonucu Tablo 4.2’de görüldüğü üzere, ki-kare değeri: 2634,561; $p=0,000<0,05$ olduğundan taslak ölçeğe ilişkin elde edilen verilerin faktör analizine uygun olduğu belirlenmiştir.

4.2.1.3. Açıklayıcı faktör analizinin uygulanması

Kaiser-Meyer-Olkin testi ve Bartlett küresellik testi ile verilerin faktör analizine uygunluğu belirlendikten sonra ölçeğin faktör yapısının incelenmesi için faktör analizi ve varimax döndürme yöntemleri kullanılarak açıklayıcı faktör analizi yapılmıştır. Açıklanan toplam varyansı olumsuz yönde etkileyen ve faktör yük dağılımı ayırt edilemeyecek kadar yakın değerlere sahip maddelerin ölçekten çıkarılması amaçlanmıştır.

21 maddeden oluşan veri setine yapılan analizde maddeler belirli alt boyutlar altında gruplandırılmaya çalışılmıştır. Maddelere ilişkin açıklanan toplam varyans değerleri Tablo 4.3’te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Açıklanan toplam varyans

Faktörler	Özdeğerler			Açıklanan Toplam Varyans		
	Toplam	Varyans Yüzdesi	Kümülatif Yüzdesi	Toplam	Varyans Yüzdesi	Kümülatif Yüzdesi
1	8,102	38,580	38,580	8,102	38,580	38,580
2	12,370	11,286	49,866	2,370	11,286	49,866
3	1,111	5,292	55,158	1,111	5,292	55,158
4	1,027	4,889	60,046	1,027	4,889	60,046
5	0,847	4,034	64,081			
6	0,815	3,883	67,963			
7	0,797	3,794	71,757			
8	0,699	3,328	75,085			
9	0,646	3,075	78,160			
10	0,573	2,727	80,770			
11	0,565	2,690	83,577			
12	0,496	2,362	85,938			
13	0,471	2,243	88,181			
14	0,437	2,083	90,264			
15	0,400	1,904	92,168			
16	0,381	1,815	93,983			
17	0,360	1,712	95,695			
18	0,330	1,514	97,269			
19	0,276	1,316	95,585			
20	0,162	0,770	99,355			
21	0,135	0,645	100,000			

Verilere faktör analizi ile oluşturulan ilk açıklanan toplam varyans tablosuna göre maddelerin 4 faktör altında gruplandığı görülmektedir. Ölçeğin yapı geçerliliğini sağlayarak faktör sayısını belirlemek için önemli kriterlerden birisi de toplam açıklanan varyans oranıdır. Sosyal bilimlerde bu oranın en az %60 olması gerekmektedir [46]. Ölçekte yer alacak faktör sayısını belirleme de kullanılan bir diğer yöntem ise özdeğeri 1’den büyük olan faktörlerin belirlenmesidir [45].

Açıklanan toplam varyans tablosunun ardından döndürülmüş bileşenler matrisi tablosu incelenmiştir. Ölçüm modelindeki her bir katsayının standart değeri doğrulayıcı faktör analizinin faktör yükleri anlamına gelmektedir. Uyum ölçeklerinin olumsuz etkilenebilmesi için her bir faktör yükünün 0,50 değerinden yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle döndürülmüş bileşenler matrisi tablosu oluşturulurken 0.50’nin altında bulunan faktör yükleri elimine edilmiştir [63]. Uygulanan anket çalışmasının ilk haliyle elde edilen döndürülmüş bileşenler matrisi Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4. Döndürülmüş bileşenler matrisi

Maddeler	Ortak Faktör Varyansı	Faktör Yükleri			
		1.Boyut	2.Boyut	3.Boyut	4.Boyut
Fay1	0,638	0,773			
Fay2	0,564	0,728			
Fay6	0,465	0,641			
Fay3	0,395	0,599			
On7	0,539	0,593			
Fay5	0,557	0,593			
Fay7	0,507	0,587			
Fay8	0,532	0,561			
Fay4	0,506	0,561			
Fay10	0,477	0,524			
Fay9	0,716				
On2	0,666		0,780		
On1	0,639		0,763		
On3	0,516		0,742		
On4	0,524		0,587		
On8	0,432	0,506	0,509		
Guv3	0,867			0,924	
Guv2	0,883			0,921	
Guv1	0,880			0,913	
On5	0,673				0,776
On6	0,632				0,771

Döndürülmüş Bileşenler Matrisinin ortak varyans değerlerine ilişkin tabloda değişkenin, diğer değişkenlerle paylaştığı varyans değeri görülmektedir. Her bir

madde için hesaplanan ortak varyans değerinin 1'e yakın değerler alması istenmektedir. Tablo 4.4'e göre maddelerin ortak varyans değerleri; 0,506 ile 0,924 arasında değişmektedir.

Faktör analizinin ilk sonuçlarına göre, Fayda değişken grubu içinde bulunan On7 değişkeni çıkarılarak tekrar faktör analizi uygulanmıştır. Ardından yük değerleri birden fazla faktörde yüksek değerde olmasından dolayı Fay9 ölçekten çıkarılmıştır. Doğrulayıcı faktör analizinde uyum indekslerinin iyi çıkması için her bir gizil değişkeni ölçen en az üç değişken bulunması gerekir [63]. Bu nedenle On6 ve On5 değişkenleri arasından faktör yükü daha küçük olan On6 değişkeni öncelikli olarak analizden çıkarılmıştır. Sonraki aşamada On5 değişkeninin yük dağılımı birden fazla boyut için yüksek değer de olduğu için değişken analize dahil edilmemiştir. Birinci faktör grubunun kendi arasında daha iyi dağılım gösterebilmesi için Fay10 ölçekten çıkarılmıştır. Kalan 16 maddeden oluşan taslak ölçeğin faktör analizi sonucuna göre 3 faktörlü bir yapı ortaya çıkmıştır. Yapılan analiz sonucunda açıklanan faktör varyansları aşağıda belirtilen Tablo 4.5'de görülmektedir.

Tablo 4.5. Değişkenler çıkarıldıktan sonra açıklanan toplam varyansı

Faktörler	Özdeğerler			Açıklanan Toplam Varyans		
	Toplam	Varyans Yüzdesi	Kümülatif Yüzdesi	Toplam	Varyans Yüzdesi	Kümülatif Yüzdesi
1	6,553	40,955	40,955	6,553	40,955	40,955
2	2,323	14,518	55,473	2,323	14,518	55,473
3	1,021	6,384	61,857	1,021	6,384	61,857
4	0,786	4,9140	66,767			
5	0,715	4,468	71,235			
6	0,651	4,067	75,302			
7	0,624	3,903	79,205			
8	0,563	3,519	82,725			
9	0,477	2,983	85,708			
10	0,472	2,952	88,660			
11	0,443	2,768	91,428			
12	0,403	2,518	93,946			
13	0,363	2,266	96,212			
14	0,295	1,841	98,053			
15	0,164	1,022	99,075			
16	0,148	0,925	100,000			

Tablo 4.5'te ölçeğe ilişkin açıklayıcı faktör analizi incelendiğinde özdeğeri 1'den büyük olan 3 faktörün olduğu görülmüştür. Açıkladıkları toplam varyans ise %61,857'dir. Ayrıca faktörlere ilişkin özdeğer bilgileri; Faktör 1 için 6,553, Faktör 2

için 2,323, Faktör 3 için 1,021 şeklindedir. 16 madde ve 3 faktörden oluşan analiz sonucunda bu faktörler altında toplanan maddelere ait faktör yüklerini gösteren Döndürülmüş Bileşenler Matrisi aşağıdaki verilen Tablo 4.6'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.6. Değişkenler çıkarıldıktan sonra döndürülmüş bileşenler matrisi

Madde	Faktör Yükleri		
	1.Boyut	2.Boyut	3.Boyut
Fay1	0,788		
Fay2	0,707		
Fay6	0,640		
Fay3	0,617		
Fay7	0,608		
Fay4	0,598		
Fay5	0,584		
Fay8	0,567		
On2		0,798	
On1		0,765	
On3		0,764	
On4		0,601	
On8		0,539	
Guv2			0,927
Guv3			0,925
Guv1			0,914

Döndürülmüş Bileşenler Matrisi sonucunda elde edilen faktör yükleri, genel olarak 0,32-0,44 arası kötü, 0,45-0,54 arası normal, 0,55-0,62 arası iyi, 0,63-0,70 arası çok iyi ve 0,70 ve üzeri için mükemmel olarak kabul edilmektedir [46]. Tablo 4.6'ya göre faktör yük değerleri 0,539 – 0,927 aralığında değişim göstermektedir. Ayrıca; 1 madde “normal”, 6 madde “iyi”, 1 madde “çok iyi” ve 8 madde de “mükemmel” değişim göstermektedir. Bu değerler çalışanların Endüstri 4.0 algısını ölçmede kullanılabilecek bir ölçek olduğunu göstermektedir.

4.2.1.4. Faktörlerin adlandırılması

Faktör analizi ile taslak ölçeğe ait ortak yapıya sahip maddeler gruplandırıldıktan sonra belirlenen faktör gruplarının adlandırılması gerekmektedir. Faktörü oluşturan maddelerin taşıdıkları anlamlar göz önüne alınarak faktörler aşağıdaki gibi adlandırılmıştır.

Tablo 4.7'ye göre birinci faktör grubunda yer alan maddeler Endüstri 4.0 algısında ölçülen faydayı göstermektedir. Üretimde hızlilik artışının taşıdığı fayda faktörü 0,622 ile en yüksek değere sahip görülmektedir. Ardından sırasıyla; maliyet azalışı,

üretimin anında takip edilebilirliği, karar verme mekanizmasının gelişimi, oluşabilecek problemlere karşı anında müdahale edebilme yeteneği yüksek faktör yüklerine sahip olup, algılanan fayda faktörünü oluşturulan temel maddelerdir.

Tablo 4.7. Algılanan fayda faktörü

Madde	Faktör Yüğü
Fay1: Üretimde insan emeğinin azalmasından dolayı üretimin hızlılığında artış olacağını düşünüyorum.	0,662
Fay2: Endüstri 4.0'ın getirdiğı teknolojik geliştirmeler sayesinde sistemlerin kendi kararlarını verebilmesinin işletme açısından olumlu olduğunu düşünüyorum.	0,538
Fay3: Endüstri 4.0'ı öğrenme ve değışme kapasitesine göre yatırım kararı verme potansiyelinin artacağını düşünüyorum.	0,508
Fay4: Kalite ve marka imajımızı korumanın, izlenebilirlik sistemi ile sağlanacağını düşünüyorum	0,399
Fay5: Sistem içinde yer alan herhangi bir problemin hangi operasyonel nedenden kaynaklandığı izlenebilirlik sistemi ile tespit edilebilmesinin işletmeye katkı sağlayacağını düşünüyorum.	0,461
Fay6: Nesnelerin İnterneti teknolojisi sayesinde operasyon durumlarının daha yakından ve anında takip edilmesinin işletmenin performansını olumlu yönde etkilediğini düşünüyorum.	0,540
Fay7: Yeni gelişen teknolojik uygulamalar sayesinde enerji kaynaklarının getirmiş olduğu maliyette azalma görüleceğini düşünüyorum.	0,546
Fay8: İzlenebilirlik sistemi ile sorun yaşanan bu sistemsel probleme anında müdahale edebilmenin, hızlılığı arttıracığını düşünüyorum.	0,511
KMO : 0,898 ; Bartlett Küresellik Testi: 671,733 ; p< 0,000; Açıklanan Varyans Değeri: 40,955	

Algılanan fayda faktörünün faktör analizi uygunluğunu değerlendirmek için Kaiser-Meyer-Olkin testi uygulanmış ve 0,898 ile örneklem yeterliliğini sağladığı görülmüştür. Bartlett test sonucuna göre ki-kare değeri 671,733; $p=0,000<0,05$ olduğundan faktöre ilişkin elde edilen verilerin faktör analizine uygun olduğu belirlenmiştir. Endüstri 4.0'da algılanan fayda faktörünün açıklanan varyans oranı 40,955 bulunmuştur.

İkinci faktör grubunda yer alan maddeler Endüstri 4.0 algısında ölçülen öngörüğü göstermekte olup, kapsadığı maddeler Tablo 4.8'da faktör yükleri ile birlikte verilmiştir. Sahip oldukları faktör yüklerine göre algılanan öngörü en çok eş zamanlı verilerin izlenebilirliğinde etkilidir. Üretimin ve müşteri taleplerinin tahmini ağırlıklı olmak üzere hatasız üretim için Endüstri 4.0 ile algılanan öngörünün payının yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4.8. Algılanan öngörü faktörü

Madde	Faktör Yüğü
On1: Üretim takibi ve analizi ile anlık hata bildirimini yapmanın kolaylaşacağını düşünüyorum.	0,662
On2: Eş zamanlı verilerin izlenebilirliğinin işletmemiz departmanlarında tahmin gücünü yükselttiğini düşünüyorum.	0,730
On3: Dijitalleşme ile müşteri taleplerinin değişimi yakından takip edilebileceğinden, müşterilerin isteklerine yönelik öngörülerin artacağını düşünüyorum.	0,651
On4: Sanal gerçeklik uygulamalarının, üretimin sonuçlarına dönük öngörülerin doğrulanmasında etkisi olduğunu düşünüyorum.	0,536
On8: İnsan gücünün azalarak makine gücünün artmasına bağlı olarak, insan odaklı oluşabilecek hata payının azalacağını düşünüyorum.	0,523
KMO : 0,822 ; Bartlett Küresellik Testi: 467,402 ; p< 0,000 ; Açıklanan Varyans Değeri: 14,598	

Algılanan öngörü faktörünün faktör analizi uygunluğunu değerlendirmek için Kaiser-Meyer-Olkin testi uygulanmış ve 0,822 ile örneklem yeterliliğini sağladığı görülmüştür. Bartlett test sonucuna göre ki-kare değeri 467,402; $p=0,000<0,05$ olduğundan faktöre ilişkin elde edilen verilerin faktör analizine uygun olduğu belirlenmiştir. Endüstri 4.0’da algılanan fayda faktörünün açıklanan varyans oranı 14,598’dir.

Üçüncü faktör grubunda yer alan maddeler Endüstri 4.0 algısında ölçülen güveni göstermektedir. Algılanan güven faktörünün sahip olduğu maddeler faktör yükleri ile birlikte Tablo 4.9’da verilmiştir. Faktör altında bulunan üç maddenin taşıdığı faktör yükleri 0,867 ile 0,883 aralığında değişkenlik gösterip genel olarak veri güvenilirliğini kapsamaktadır.

Tablo 4.9. Algılanan güven faktörü

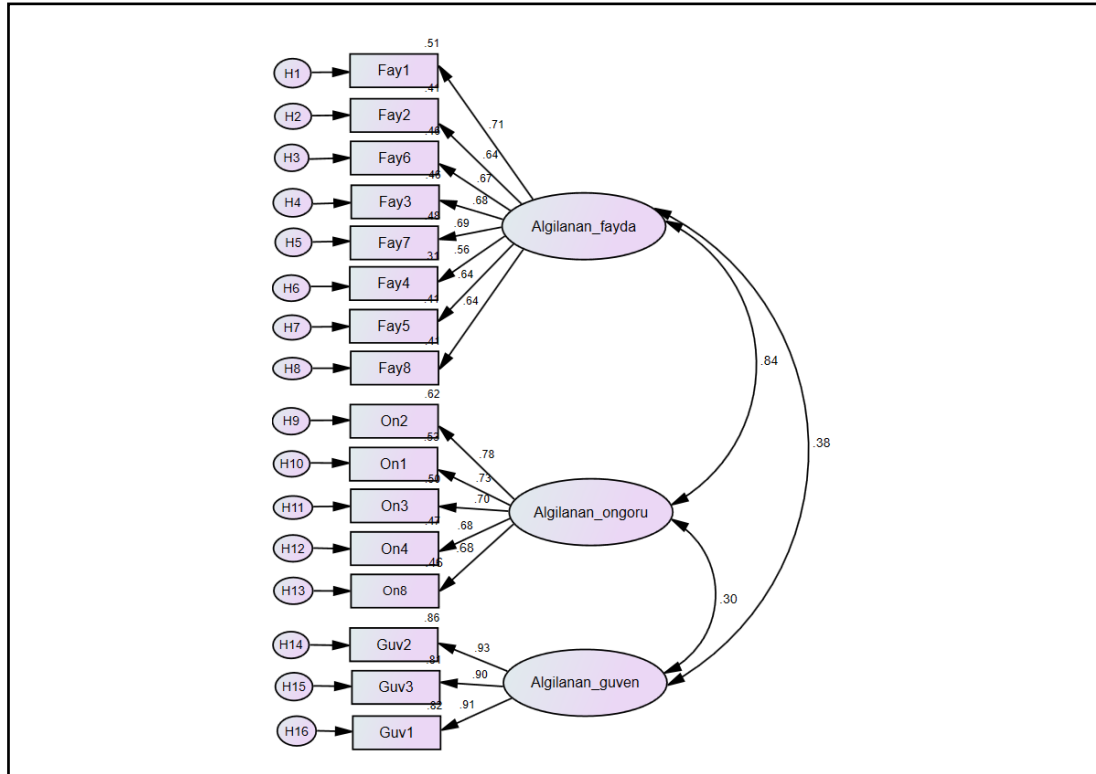
Madde	Faktör Yüğü
Guv1: Kurumun ürettiği değerli verilerin bulut teknolojisi ile güvenilir bir şekilde saklanıp, depolanacağını düşünüyorum.	0,880
Guv2: Bulut bilişim teknolojisinde bulutta meydana gelebilecek bir arızada tüm veriler kaybedileceğinden, bilgi güvenliğini tehdit ettiğini ve olumsuz yönde etkileyeceğini düşünüyorum.	0,883
Guv3: İşletme verilerine uzaktan erişim etkinliğinin bilgi güvenliğini tehdit ettiğini ve olumsuz yönde etkileyeceğini düşünüyorum.	0,867
KMO : 0,769 ; Bartlett Küresellik Testi: 641,940 ; p< 0,000 ; Açıklanan Varyans Değeri: 6,384	

Algılanan güven faktörünün faktör analizi uygunluğunu değerlendirmek için Kaiser-Meyer-Olkin testi uygulanmış ve 0,769 ile örneklem yeterliliğini sağladığı görülmüştür. Bartlett testi sonucuna göre ki-kare değeri 641,940; $p=0,000<0,05$ olduğundan faktöre ilişkin elde edilen verilerin faktör analizine uygun olduğu belirlenmiştir. Endüstri 4.0’da algılanan fayda faktörünün açıklanan varyans oranı 6,384 bulunmuştur.

4.2.2. Doğrulayıcı faktör analizine ilişkin bulgular

Doğrulayıcı faktör analizi modeli için Endüstri 4.0’a bakış açısını etkileyen gizil faktörler IBM SPSS AMOS 24 programı ile analiz edilmiş ve 3 faktör altında toplanmıştır. Algılanan fayda, algılanan öngörü ve algılanan güven değişkenleri, gizil değişkenler olup modelde elips şeklinde gösterilmiştir. Gözlenen değişkenler dikdörtgen sembolleriyle gösterilip, gizil değişkenlerden tek yönlü oklar ile ilişkilendirilmiştir. Modelde açıklanamayan hata terimleri her bir gözlenen değişkenlere ok ile bağlanıp elips şeklinde modelde yer almaktadır.

Endüstri 4.0 algısını ölçmek için uygulanan algı modeli, doğrulayıcı faktör analizi aracılığıyla birinci seviyeli (ilişkili model) olup Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Birinci seviye doğrulayıcı faktör analizi sonucu

Çalışmada elde edilen verilerin teorik yapıya uygun olup olmadığını değerlendirmek için uyum indeksleri ile analizi yapılmıştır. Uyumu kontrol etmek için birden fazla yöntem kullanılabilmektedir. Çalışma kapsamında modelin uyumunu belirlemek için bakılan istatistikler; ki-kare uyum testi (χ^2/sd) , iyilik uyum indeksi (GFI), düzeltilmiş iyilik uyum indeksi (AGFI), karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI), arttırımlı uyum indeksi (IFI) ve yaklaşık hataların ortalama karekökü (RMSEA) değerleri şeklindedir. Bu model uyum indeks değerlerinin sınırları aşağıda Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Yapısal eşitlik modeline ilişkin uyum indeksleri

Uyum İndeksi	İyi Uyum	Kabul Edilebilir Uyum	Sonuçlar
χ^2/sd	≤ 3	$3 < \chi^2/sd < 5$	1,794
GFI	$\geq 0,90$	0,89-0,85	0,916
AGFI	$\geq 0,90$	0,89-0,85	0,887
IFI	$\geq 0,95$	0,90-0,94	0,960
CFI	$\geq 0,97$	$\geq 0,95$	0,960
RMSEA	$\leq 0,05$	0,06-0,08	0,056

Tablo 4.10'da yer alan bilgilere göre; ki-kare uyum testi sonucu 1,794 olup, $(\chi^2/sd) < 3$ şartını sağladığı için iyi uyum göstermektedir. İyilik uyum indeksi (GFI) sonucu $0,916 > 0,90$, arttırımlı uyum indeksi (IFI) $0,960 > 0,90$, karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI) $0,960 > 0,95$ olduğu için iyi uyumu göstermektedir. Düzeltilmiş iyilik uyum indeksi (AGFI) 0,887-0,85 aralığında ve yaklaşık hataların ortalama karekökü (RMSEA) değerleri 0,06-0,08 aralığında olduğu için kabul edilebilir uyumu göstermektedir.

Regresyon katsayılarının istatistiksel olarak anlamlılığına bakılarak modelin uyumu kontrol edilebilmektedir. Model uyum sonuçları olumlu olsa dahi parametre tahminlerinin de istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı incelenmelidir. Tablo 4.11'de her parametrenin standart faktör yükleri, standart hata ve kritik oran verilmiştir. Standart faktör yüklerinin 0,50 üzerinde olması ve uyum indekslerine bağlı koşulu sağlaması yakınsama geçerliliğini göstermektedir. Aynı zamanda DFA sonuçlarına bakılarak kritik oran değerlerinin mutlak değer olarak 2'nin üzerinde

olması gerektiği göz önüne alınarak maddelerin bulundukları faktöre yüklendiği söylenebilmektedir.

Regresyon katsayı değerlerine bakılarak gözlenen değişkenler aracılığıyla gizil değişkenler tahmin edilebilmektedir [46]. Modelin uyumunu değerlendirmek için regresyon katsayılarının anlamlılığına bakılmıştır. Bu kapsamda modelin regresyon ağırlıkları ve standart regresyon ağırlıkları Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. Doğrulayıcı faktör analizi sonuçları

	Standart Faktör Yükleri	Standart Olmayan Faktör Yükleri	Kritik Oran	p
Fay1 <--- Algılanan_fayda	0,712	1,000		
Fay2 <--- Algılanan_fayda	0,637	0,841	9,420	***
Fay6 <--- Algılanan_fayda	0,675	0,963	9,955	***
Fay3 <--- Algılanan_fayda	0,679	0,923	10,015	***
Fay7 <--- Algılanan_fayda	0,691	1,011	10,196	***
Fay4 <--- Algılanan_fayda	0,556	0,742	8,233	***
Fay5 <--- Algılanan_fayda	0,642	0,883	9,484	***
Fay8 <--- Algılanan_fayda	0,638	0,992	9,422	***
On2 <--- Algılanan_ongoru	0,785	1,000		
On1 <--- Algılanan_ongoru	0,730	0,926	11,642	***
On3 <--- Algılanan_ongoru	0,705	0,979	11,198	***
On4 <--- Algılanan_ongoru	0,682	0,900	10,790	***
On8 <--- Algılanan_ongoru	0,678	0,963	10,723	***
Guv2 <--- Algılanan_guven	0,925	1,000		
Guv3 <--- Algılanan_guven	0,901	0,936	22,765	***
Guv1 <--- Algılanan_guven	0,908	0,906	23,191	***

Tablo 4.11’e göre 3 değişken için olasılık değerlerinin tamamının 0,05’ten küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre gözlenen değişkenler ile gizil değişkenlerin iyi

tahmin edildiği söylenebilmektedir. Aynı zamanda tüm maddelerin kritik oran değerlerine bakıldığında 0,50'den büyük olduğu görülmektedir. Kritik oran ve olasılık (p) sonuçlarına göre regresyon katsayılarının anlamlıdır. Regresyon ağırlıklarının yorumu, standartlaştırılmış regresyon ağırlıklarına göre yapılmaktadır [46]. Standartlaştırılmış regresyon ağırlıkları Tablo 4.11'de standart faktör yükleri sütununda yer almaktadır. Standart faktör yüklerine bakarak; gözlenen değişkenlerin gizil değişkenleri tahmin etme gücü söylenebilmektedir [46].

Tablo 4.11'ye göre algılanan fayda gizil değişkeninin faktör yükleri 0,556-0,712 arasında, Algılanan Öngörü gizil değişkeninin faktör yükleri 0,678-0,785 arasında, Algılanan Güven gizil değişkeninin faktör yükleri 0,901-0,925 arasında değiştiği görülmektedir.

4.2.3. Faktör geçerliliğinin belirlenmesi

Ölçüm modelinde yer alan faktörler, yakınsama ve ayrışma geçerliliği analizleri ile değerlendirilmektedir [64]. Yakınsama geçerliği, ilgili faktörde yer alan tüm maddelerin birbirleriyle ve oluşturdukları faktör ile ilişkili olduklarını ifade etmektedir [65]. Yakınsama geçerliliğinin analizinde, faktörlerin ortalama açıklanan varyans (AVE) değerlerinin 0,50'den büyük ve faktörlere ilişkin tüm güvenilirlik değerlerinin (CR ve α) AVE değerlerinden büyük olması gerekmektedir [66]. Ayrışma geçerliliğinin analizinde faktörlerin açıklanan ortalama varyans değerlerinin (AVE) faktörler arası korelasyon değerlerinden büyük olması gerekmektedir [66]. Bazı kaynaklarda AVE değerinin 0,40'tan büyük olmasının kabul edilebileceği belirtilmiştir [65].

4.2.4. Güvenilirlik analizi

İç tutarlılık bir ölçme aracında yer alan maddelerin birbiriyle tutarlı olup olmadığının ve belirli bir kavramsal yapıyı ne ölçüde temsil ettiklerinin sınanmasıdır. İç tutarlılığı ölçmek için en çok kullanılan ölçütlerden birisi Cronbach Alfa (α) katsayısıdır [65]. İç tutarlılığın belirlenmesinde yapı güvenilirliği olarak bilinen Birleşik Güvenilirlik katsayısının da ölçülerek maddelerin genel güvenilirliği alternatif olarak kontrol edilebilmektedir. Birleşik güvenilirlik (CR) değerinin eşik noktası 0,70'tir [65,66].

Çalışmada maddelerin geçerliliğini ölçmek için IBM SPSS 22 paket programı ile faktör analizi yapılmış, ardından maddelerin birbirinden ayrışma durumu Excel aracılığı ile hesaplanan açıklanan ortalama varyans (AVE) değeri ile kıyaslanarak sonuca ulaşılmıştır. Çalışma kapsamındaki maddelere ilişkin korelasyon, açıklanan ortalama varyans (AVE) ve birleşik güvenilirlik (CR) değerleri Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12. Korelasyon, AVE ve CR değerleri

	Algılanan Fayda	Algılanan Öngörü	Algılanan Güven	Tüm Ölçek
Algılanan Fayda	(0,655)*			
Algılanan Öngörü	-0,257	(0,717)*		
Algılanan Güven	0,650	-0,759	(0,911)*	
Cronbach Alpha	0,856	0,836	0,936	0,898
Ortalama Açıklanan Varyans (AVE)	0,429	0,514	0,830	0,531
Birleşik Güvenilirlik (CR)	0,908	0,900	0,965	0,915

Faktörlerle ilişkin açıklanan ortalama varyans değerleri; algılanan fayda için 0,429; algılanan öngörü için 0,514; algılanan güven için 0,830 bulunmuştur. Fornel ve Larcker, açıklanan ortalama varyans (AVE) değerinin 0,50 üzerinde olması gerektiğini belirtse de, Hair ve arkadaşları bu değer 0,40’ın üzerinde olduğu durumlarda kabul edilebilir olduğunu belirtmiştir [66,67]. Bu durumda algılanan fayda, algılanan öngörü ve algılanan güven için AVE değerleri ayrışma geçerliliği için şartlardan birini sağlamaktadır.

Tablo 4.12’de her bir faktörün diğer faktör üzerindeki korelasyon sayıları verilmiştir. Veri setindeki her bir faktör için açıklanan ortalama varyans (AVE) değerinin karekökü alınarak bu değerlerin faktörler arası korelasyon değerleri ile kıyaslanması yapılmıştır. Çarpaz parantez içinde yazılan değerler AVE değerlerinin kareköklerini göstermektedir. AVE değerlerinin karekökü o sütunda bulunan korelasyon katsayılarının değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiş ve ayrışma geçerliliğinin sağlandığı görülmüştür.

Her bir faktörün ve bütün ölçeğin Cronbach Alpha ile iç tutarlılık katsayısı hesaplanmış ve Tablo 4.12’de verilmiştir. Tablo 4.12’de belirtildiği gibi ölçeğin Cronbach Alpha iç tutarlılık katsayısı algılanan fayda için 0,56; algılanan öngörü için 0,836; algılanan güven için 0,936 ve ölçeğin tamamı için 0,898’tir. Cronbach Alpha değerlerine bakılarak faktörlerin ve ölçeğin tamamının güvenilir olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 4.12’de ki birleşik güvenilirlik katsayılarına bakılarak faktörlerin ve yapının 0,70’ten yüksek ve güvenilir olduğu söylenebilmektedir.

Bu değerlendirmeler sonucunda elde edilen 3 faktörlü Endüstri 4.0 algısının; yakınsama, ayrışma geçerliliğini sağladığı tespit edilmiştir. Cronbach alpha analizi ve birleşik güvenilirlik analizleri ile birlikte yapının güvenilir olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çeşitli sektörde çalışan farklı kuşaklardaki bireylerin Endüstri 4.0 algısını ölçmek için Yapısal Eşitlik Modeli altında Doğrulayıcı Faktör Analizi kullanılarak ölçek geliştirmek amaçlanmıştır.

Literatürde yapılan incelemeler sonucunda Endüstri 4.0 algısını ölçmek amacıyla seçilen sorulardan taslak oluşturulmuştur. 21 maddeden oluşan taslağa açıklayıcı faktör analizinin uygunluğunu tespit etmek amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) değeri hesaplanmış ve Bartlett testi uygulanmıştır. Örneklem hacminin mükemmel olduğu görülmüştür. Bartlett testi ile verilen faktör analizine uygun olduğu belirlenmiştir. (KMO = 0,919; B = 2634,561; $p < 0,001$)

Açıklayıcı faktör analizi ile taslak ölçeğin geçerliliğini ortaya koyabilmek amaçlanmıştır. Analiz sonucunda 3 maddenin yakın sonuçlara sahip olduğu tespit edilmiş, faktörde en az 3 madde olma şartını taşımayan 2 madde ile birlikte toplam 5 madde ölçekten çıkarılmıştır. Açıklayıcı faktör analizine kalan 16 madde ile devam edilerek 3 faktörlü yapı ortaya çıkmıştır. Açıklanan toplam varyansın yaklaşık %62 olduğu görülerek yapı geçerliliğini sağladığı tespit edilmiştir.

Açıklayıcı faktör analizi sonucunda elde edilen faktörler, taşıdıkları maddelerin anlamlarına göre algılanan fayda, algılanan güven ve algılanan öngörü olmak üzere isimlendirilmiştir. Algılanan fayda faktör grubunda yer alan maddelerin üretim hızında artış, maliyette görülen azalma, üretimin eş zamanlı takibi, yönetimde karar verme mekanizmasının gelişim göstermesi, anında müdahale ile hata payında azalma olduğu görülmüştür. Algılanan fayda faktörü 0,898 KMO değeri ile örneklem yeterliliğini sağlamış ve Bartlett test sonuçları ile faktör analizine uygunluğunu ispatlamıştır. Faktörün açıklanan varyans oranı 40,955 bulunmuştur. Algılanan öngörü grubunda yer alan maddelerin genel olarak verilerin eş zamanlı takibi buna bağlı olarak taleplerin tahmininin sağlanması yönünde olduğu görülmektedir. 0,822 KMO değeri ile Bartlett test sonucu ile algılanan öngörü faktörüne ilişkin örneklem yeterli olduğu görülmüştür. Endüstri 4.0'da algılanan fayda faktörünün açıklanan varyans oranı

14,598'dir. Algılanan güven faktör grubunda yer alan maddelerin veri anlamı ve saklanması ile ilgili güvenilirliği yönünde olduğu görülmektedir. Algılanan güven faktörüne ait KMO değeri 0,769 çıkarak örneklem yeterliliğini sağladığı görülmüştür. Faktör, 6,384 açıklanan varyans oranına sahiptir.

Algılanan fayda, algılanan güven ve algılanan öngörü gibi gizil değişkenlerden oluşan yapıya IBM AMOS 24 paket programı aracılığıyla doğrulayıcı faktör analizi uygulanmış, gözlenen ve gizil değişkenler arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Modelin geçerliliğin kabul edilmesi için doğrulayıcı faktör analizi sonucunda elde edilen t değerlerinin 0,05 önem düzeyinde ve 1,96'dan büyük olduğu tespit edilmiştir. Doğrulayıcı faktör analizinde modelin her bir yapı için uyum indeksleri incelenmiş ve Ki-Kare/sd=1,794; GFI=0,916; AGFI=0,887; IFI=0,960; CFI=0,960; RMSEA=0,056 olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlı bulunarak yakınsama geçerliliğini sağladığı görülmüştür.

Tablo 4.12'de standartlaştırılmış faktör yüklerine bakıldığında; algılanan fayda gizil değişkeninin faktör yüklerinin 0,556-0,712; algılanan öngörü gizil değişkeninin 0,678-0,785; algılanan güven gizil değişkeninin faktör yükleri 0,901-0,925 aralığında olduğu görülmüştür. Regresyon değerlerine bakarak gizil değişkenlerin tahmin edildiği sonucuna varılmıştır. Bütün standartlaştırılmış regresyon katsayılarının olasılık değeri 0,05'ten küçük oluşu dikkate alınarak anlamlı bulunmuştur.

Faktör analizi sonuçlarından hareketle ölçeğin yapısal geçerliliği analiz edilmiştir. Faktörlerin birbiri üzerindeki korelasyon değerleri ile açıklanan ortalama varyans değerleri karşılaştırılarak ayırma geçerliliğini sağladığı görülmüştür.

Açıklayıcı faktör analizi ile belirlenen; algılanan fayda, algılanan güven ve algılanan öngörü faktörlerinin Cronbach alpha değerleri ile iç tutarlılık analizine bakılmıştır. Ölçeğin toplam Cronbach alpha değeri 0,898 bulunarak yüksek güvenilirliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Faktörlerin ise, 0,836 – 0,936 arasında değiştiği görülmüştür. Faktörün birleşik güvenilirlik değerleri hesaplanmış ve tüm ölçeğin 0,915>0,70 ile yapı güvenilirliğini sağladığı görülmüştür.

Endüstri 4.0 algısını ölçmeye yönelik yapısal eşitlik modeli ile ilgili uygulama, araştırma örnekleminin azlığı ve elde edilen verilerin yetersizliği nedeniyle ölçek

geliştirme teşebbüsü olarak görülmektedir. Ölçeğin belirlenmesi için bir iterasyon sağlanmış olup literatürde yer almak istenmektedir. Uygulama kapsamı genişletilerek daha yüksek popülasyona sahip araştırma grubu ile çalışmada kurulan modelin geliştirilebilecek niteliktedir.



KAYNAKLAR

- [1] Ünlü F., Atik H., Türkiye’deki İşletmelerin Endüstri 4.0’a Geçiş Performansı: Avrupa Birliği Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Ampirik Analiz, *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 2018, **17**(2), 431-463.
- [2] Soylu A., Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2018, (32), 43-57.
- [3] Horvath D., Szabo R. Zs., Driving Forces and Barriers of Industry 4.0: Do Multinational and Small and Medium-Sized Companies Have Equal Opportunities?, *Technological Forecasting & Social Change*, 2019, (146), 119-132.
- [4] Bulut E., Akçacı T., Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi, *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 2017, (7), 50-72.
- [5] Özsoylu A.F., Endüstri 4.0, *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2017, **21**(1), 41-64.
- [6] Duman B., Özsoy K., Endüstri 4.0 Perspektifinde Akıllı Tarım, *4. Uluslararası 3D Baskı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Kongresi*, Antalya, Türkiye, 11-14 Nisan 2019.
- [7] Karakaya Z., Yazıcı A., Kobi ve Kamuda Bulut Bilişim ile Verimliliğin Artırılması, *TBD 32. Ulusal Bilişim Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 3-5 Aralık 2015.
- [8] Hamutoğlu N.B., Bulut Bilişim Teknolojileri Kabul Modeli 3: Ölçek Uyarlama Çalışması, *Sakarya University Journal of Education*, 2018, **8**(2), 8-25.
- [9] Sözen M., Mescioğlu T., Endüstri 4.0’ın İtici Güçlerinin Türkiye ve Çin Üzerindeki Etkileri, *International Journal of Social Inquiry*, 2019, **12**(1), 287-315.
- [10] Davutoğlu N.A., Akgül B., Yıldız E., İşletme Yönetiminde Sanayi 4.0 Kavramı ile Farkındalık Oluşturarak Etkin Bir Şekilde Değişimi Sağlamak, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2017, **5**(52), 544-567.
- [11] Erdoğan M., Denetim 4.0 ve Ötesi, *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 2019, **12**(3), 809-834.
- [12] Yılmaz C., Erkollar A., Endüstri 4.0’ın İnsan Kaynakları Planlaması Üzerine Etkileri, *5. Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri Konferansı*, Ankara, Türkiye, 24-26 Ekim 2018.

- [13] Çeber Y., Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin (FMEA) Üretim Sektöründe Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010, 261520.
- [14] Tekin M., Arslandere, M., Üretimde Hata Önleme Aracı Olarak Poke-Yoke Sistemi ve Bir Uygulama Örneği, *Kesit Akademi Dergisi*, 2017, **3**(11),339-350.
- [15] Cebeci Z., Karma YEM Sanayinde İzlenebilirlik Sistemleri, *IV. Hayvan Besleme Kongresi*, Bursa, Türkiye, 24-28 Haziran 2007.
- [16] Özbay S., Şireli T., Gıdalarda İzlenebilirlik, *Gıda*, 2015, **40**(5), 295-302.
- [17] Yılmaz S., Yılmaz İ., Su Ürünlerinde İzlenebilirliğin Pazarlamadaki Önemi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2017, Özel Sayı, 223-242.
- [18] Kayar A., Ayvaz B., Öztürk F., Akıllı Fabrikalar, Akıllı Üretim: Endüstri 4.0'a Genel Bakış, *Uluslararası Bilim, Mühendislik ve Teknoloji Avrasya Konferansı*, Ankara, Türkiye, 22-23 Kasım 2018.
- [19] Özçandır S., Yetim H., Akıllı Ambalajlama Teknolojisi ve Gıdalarda İzlenebilirlik, *Electronic Journal of Food Technologies*, 2010, **5**(1), 1-11.
- [20] Aktaş B., Aydın C., Talaşlı İmalat Sektöründe Zaman Serileri Kullanarak Üretim Etkililiğinin Tahmini, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2018, **11**(4), 407-416.
- [21] Sarıkulak Ö., Endüstri Devrimlerinin Performans Göstergelerine Etkilerinin İncelenmesi ile Endüstri 4.0 Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2018, 51950.
- [22] Gökalp E., Gökalp M.O., Eren P.E., Hazır Giyim ve Konfeksiyon Sektöründe Endüstri 4.0 Devrimi: Akıllı Konfeksiyon Fabrikası, *IJIT-E: Online Academic Journal of Information Technology*, 2019, **10**(37),73-96.
- [23] Uzun Ö., Üretim İşletmelerinde Safha Maliyet Sisteminin Önemi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın, 2012, 312518.
- [24] Atanoğlu S., Çorlu Yöresi Üretim İşletmelerinde Tam Zamanında Üretim Sisteminde Maliyet Muhasebesinin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne, 2009, 312518.
- [25] Baykara M., Daş R., Karadoğan İ., Bilgi Güvenliği Sistemlerinde Kullanılan Araçların İncelenmesi, *1st International Symposium on Digital Forensics and Security*, Elazığ, Turkey, 20-21 Mayıs 2013.
- [26] Seyrek İ.H., İşletmelerde Büyük Veri Uygulamaları: Bir Literatür Taraması, 2. *Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi*, Erzurum, Türkiye, 8-10 Ekim 2015.

- [27] Eyüpoğlu C., Aydın M.A., Sertbağ A., Zaim A.H., Öneş O., Büyük Veride Kişi Mahremiyetinin Korunması, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2017, **10**(2), 177-184.
- [28] Aktan E., Büyük Veri: Uygulama Alanları, Analitiği ve Güvenlik Boyutu, *Bilgi Yönetimi Dergisi*, 2018, **1**(1), 1-22.
- [29] Cerutia A., Marzoccab P., Liverania A., Bil C., Maintenance in Aeronautics in an Industry 4.0 Context: The Role of Augmented Reality and Additive Manufacturing, *Journal of Computational Design and Engineering*, DOI: 10.1016/j.jcde.2019.02.001.
- [30] Vaidya S., Ambad P., Bhosle S., Industry 4.0 – A Glimpse, *Procedia Manufacturing*, DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.034.
- [31] Kagermann H., Lukas W., Wahlster W., Abschotten ist keine Alternative. In: VDI Nachrichten, 16, 2015.
- [32] Pamuk N., Soysal M., Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 Üzerine Bir İnceleme, *Verimlilik Dergisi*, 2018, **44**(1), 41-66.
- [33] Özkoç H.H., Karalar H., K12 ve Lisans Öğrencilerinin Endüstri 4.0 Kavramına İlişkin Algıları, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2019, **20**(Özel Sayı), 243-258.
- [34] Yılmaz K., Endüstri 4.0'ın Farkındalık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2018, 512895.
- [35] Öztemel E., Gürsev S., Türkiye'de Lojistik Yönetiminde Endüstri 4.0 Etkileri ve Yatırım İmkanlarına Bakış Üzerine Anket Uygulaması, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 2018, (2), 145-154.
- [36] Şenol L., Yapısal Eşitlik Modeli'nin İmalat İşletmelerinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi Amacıyla Kullanılması, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 449259.
- [37] Ergül S.A., Türkiye'de Elektronik Pazaryerlerinde Hizmet Kalitesi, Güven ve Satınalma Niyeti Arasındaki İlişki: Yapısal Eşitlik Modeli Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 496312.
- [38] Karaman Z.H., İşletmelerin Dış Kaynak Kullanımını Etkileyen Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli Yaklaşımı İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gümüşhane, 2015, 421646.
- [39] Eroğlu E., Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarının Yapısal Eşitlik Modeli ile Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2003, 140406.

- [40] Çapık C., Geçerlik ve Güvenirlik Çalışmalarında Doğrulatoryı Faktör Analizinin Kullanımı, *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2014, 17(3), 196-205.
- [41] Karagöz Y., Ağbektaş A., Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Yaşam Memnuniyeti Ölçeğinin Geliştirilmesi; Sivas İli Örneği, *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2016, 7(1), 274-290.
- [42] Sarı E., Doğrulatoryı Faktör Analizi ve Rüzgar Enerjisi Ölçeğine Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa, 2018, 525722.
- [43] Aksu G., Eser M.T., Güzeller C.O., *Açımlayıcı ve Doğrulatoryı Faktör Analizi ile Yapısal Eşitlik Modeli Uygulamaları*, Birinci Baskı, Detay Yayıncılık, Ankara, 2017.
- [44] Köse A.M., Yapısal Eşitlik Modelleri ile Suriyeli Göçmen Algısı Üzerine Sosyolojik Bir Uygulama - Çanakkale ve Altındağ İlçeleri Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 521114.
- [45] Bolat B.A., Firma Performansını Etkileyen Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli ile İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2009, 261777.
- [46] Demir B., Yapısal Eşitlik Modeli ile Öğrencilerin İş Bulma Kaygılarına Yönelik Ölçek Geliştirme: Cumhuriyet Üniversitesi İİBF’de Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas, 2016, 459470.
- [47] İlhan M., Çetin B., LISREL ve AMOS Programların Kullanılarak Gerçekleştirilen Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) Analizlerine İlişkin Sonuçların Karşılaştırılması, *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi*, 2014, 5(2), 20-42.
- [48] Dursun Y., Karagöz E., Yapısal Eşitlik Modellemesi ve Regresyon: Karşılaştırmalı Analiz, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2017, (35), 1-17.
- [49] Yılmaz V., Varol S., Hazır Yazılımlar ile Yapısal Eşitlik Modellemesi: AMOS, EQS, LISREL, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2015, (44), 28-44.
- [50] Köseoğlu S.C., İş Kazaları ve Sonuçları Arasındaki İlişkinin Yapısal Eşitlik Modeli ile İncelenmesi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2013, 34670.
- [51] Meydan C.H., Şeşen H., *Yapısal Eşitlik Modellemesi AMOS Uygulamaları*, Detay Yayıncılık, İkinci Baskı, Ankara, 2015.

- [52] Nuran B., *Yapısal Eşitlik Modellemesine Giriş AMOS Uygulamaları*, Ezgi Kitabevi Yayınları, Birinci Baskı, Bursa, 2010.
- [53] Şehribanoğlu S., *Yapısal Eşitlik Modelleri ve Bir Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 2005, 197612.
- [54] Alkış N., Bayes Yapısal Eşitlik Modellemesi: Kavramlar ve Genel Bakış, *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 2016, 2(3), 105-116.
- [55] Kayacan B., Gültekin Y.S., Yapısal Eşitlik Modellemesinin (YEM) Ormancılıkta Sosyo-ekonomik Sorunların Çözümlemesinde Kullanımı, 3. *Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 18-20 Ekim.
- [56] Tatar Ç., Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) ve Uygulamaları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2015, 410583.
- [57] Ayyıldız H., Cengiz E., Pazarlama Modellerinin Testinde Kullanılabilecek Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) Üzerine Kavramsal Bir İnceleme, *Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2006, 11(1), 63-8
- [58] Kamcı E.V., Konjoint ve Yapısal Eşitlik Modeli ile Marka Beğeni Skoru Ölçeğinin Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 468052.
- [59] Çerezci E.T., Yapısal Eşitlik Modelleri ve Kullanılan Uyum İyiliği İndekslerinin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 26891.
- [60] Eryılmaz A., Pozitif Psikoterapi Bağlamında Yaşam Amaçları Belirleme Ölçeğinin Üniversite Öğrencileri Üzerinde Psikometrik Özelliklerinin İncelenmesi, *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, 2010, 20(20), 53-66.
- [61] Uğurlu C.T., A Study of Reliability and Validity of Informal Communication Scale, *Inonu University Journal of the Faculty of Education*, 2014, 15(3), 83-10.
- [62] Otamış P.A., Antalya Turizm Kümesinin Algılanan Performansının Yapısal Eşitlik Modeli ile Analizi, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya, 2013, 345802.
- [63] Civelek M.E., *Yapısal Eşitlik Modellemesi Metodolojisi*, Birinci Baskı, Beta Yayınevi, İstanbul, 2018.
- [64] Karahoca D., Aygün M.A., Kişisel Akıllı Teknolojilerin Sağlık Amaçlı Kullanımlarının Kabulünün Değerlendirilmesi, *Turkish Studies*, 2019, 14(2), 493-519.
- [65] Erol E., Politik Taktikler Ölçeği – Üniversite / Fakülte Versiyonunun Geliştirilmesi, *Turkish Studies*, 2019, 14(3), 531-563.

- [66] Fornell C., Larcker D. F., Evaluating Structural Equation Models With Unobservable Variables And Measurement Error, *Journal of Marketing Research*, 1981,**18**(1), 39-50.
- [67] Hair J.F., Black W.C., Babin B.J., Anderson R.E., Tatham R. L., Multivariate Data Analysis, Upper Saddle River, 7th ed., New Jersey: Pearson Education Limited, 2009.





EK-A

ENDÜSTRİ 4.0'A GENEL BAKIŞ

Endüstri 4.0 ile tüketicilerin ihtiyaçlarına göre tasarlanmış, daha kaliteli ve daha düşük fiyatlı ürünlerin üretilmesi ve böylece tüketicilerin istedikleri ürünleri, istedikleri zamanda, daha az kaynak harcayarak temin edebilmesi ve üreticilerin de bu taleplere hızlı bir şekilde cevap verebilmesi hedeflenmektedir. Bu uyumu sağlayabilme yeteneğine ve kapasitesine sahip olabilecek üretim sistemlerinin taşınması gereken nitelikler Endüstri 4.0'ı oluşturan yedi temel unsura işaret etmektedir.

Bunlardan ilki; akıllı fabrikalardır. Bu fabrikalarda üretim sistemlerinde yer alan bütün bileşenler (makineler, robotlar ve diğer ekipmanlar) otonom bir şekilde faaliyetlerini yürütür ve sistem içinde karşılıklı etkileşimde bulunurlar.

İkincisi, nesnelerin internetidir. Nesnelerin içinde bulunan sensörler vasıtasıyla internete bağlanmalarını sağlamak, veri toplamak, dağıtmak ve iletişim kurabilmek amacıyla oluşturulan ağ sistemleridir.

Üçüncüsü, siber-fiziksel sistemlerdir. Sensörlerle desteklenmiş olan bu sistemler, fiziksel dünyadaki hareketleri internet hizmetleriyle toplamakta ve nesneler arasında etkileşimi sağlamaktadır.

Dördüncüsü, bulut bilişimdir. İnternet tabanlı bilgi işlem yaklaşımına işaret eden bu kavram, bilgisayar özelliği olan cihazlar arasında ortak bilgi paylaşımını sağlayan hizmetlere verilen genel isimdir. Bulut bilişim teknolojileri, firmaların sahip olduğu tüm verilerin sanal bir sunucuda yani bulutta depolanmasını ve internete bağlı cihazlar aracılığıyla ihtiyaç duyulduğunda bu verilere ulaşılmasını sağlar.

Büyük veri, Endüstri 4.0'ı oluşturan beşinci unsurdur. Verileri tespit etme, depolama, yönetme ve analiz etme açısından mevcut veri tabanı yazılımları ile başaramayacak büyüklükteki veri kümelerine büyük veri adı verilmektedir.

Akıllı robotlar, akıllı fabrikalarda insan gücünü ikame eden yeni işçiler olarak görülmektedir. Endüstriyel robotlar olarak da tanımlanan bu robotlar, daha otonom, esnek ve işbirliğine yatkın sistemlere sahip makineler haline dönüşmektedir.

Endüstri 4.0 olgusunun son bileşeni ise eklemeli üretim olarak da bilinen üç boyutlu yazıcılardır. Bunlar, üç boyutlu olarak hazırlanan bilgisayar verilerini üç boyutlu nesnelere dönüştürülebilen ve üretim faaliyetlerinde kullanılabilen makinelerdir.

Tablo A.1. Ankete katılanların demografik özellikleri

Yaşınız	25 yaş ve altı	
	26-40	
	41 yaş ve üzeri	
Eğitiminiz	Lise	
	Yüksekokul	
	Lisans	
	Lisansüstü	
Departmanınız	Üretim	
	Satınalma	
	Satış	
	Bakım	
	İnsan Kaynakları	
	Proje	
	Kalite	
	Bilgi Teknolojileri	
	Planlama	
	Ar-Ge & Inovasyon	
	Üst Yönetim	
Unvanınız	Stajyer	
	Mühendis	
	Sorumlu	
	Şef	
	Müdür	
	Müdür Yardımcısı	
Firmanın Bulunduğu Bölge	Marmara Bölgesi	
	Akdeniz Bölgesi	
	Karadeniz Bölgesi	
	Ege Bölgesi	
	İç Anadolu Bölgesi	
	Doğu Anadolu Bölgesi	
	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	
Bulunduğunuz Görevdeki Kıdeminiz	0-5 yıl	
	6-10	
	11-15	
	16-20	
	21 yıl ve üzeri	
Firmanızın Faaliyet Gösterdiği Sektör	Ambalaj	
	Beyaz Eşya	
	Danışmanlık	
	Gıda	
	Havacılık	
	Kimya	
	Kozmetik	
	Mobilya	
	Otomotiv	
	Otomotiv Yan Sanayii	
	Plastik	
	Tekstil	
	Yapı	
	Demir Çelik	
	Diğer	

Tablo A.1. (Devam). Ankete katılanların demografik özellikleri

Firmanızın Faaliyet Gösterdiği Süre	0-10 yıl	
	11-20 yıl	
	21-30 yıl	
	31-50 yıl	
	50 ve üzeri	
Firmanızın Çalışan Sayısı	0-100	
	101-500	
	501-1000	
	1001 ve üzeri	
Firmanızdaki Ar-Ge Personeli Sayısı	0-10	
	11-30	
	31-50	
	51 ve üzeri	
Firmanızda Yabancı Ortak Var mı?	Var	
	Yok	



Tablo A.2. Endüstri 4.0 algı ölçme anketi

	SORULAR	Tamamen Katılmıyorum	Kısmen Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kısmen Katılıyorum	Tamamen Katılıyorum
1	Kurumun ürettiği değerli verilerin bulut teknolojisi ile güvenilir bir şekilde saklanıp, depolanacağını düşünüyorum.							
2	Bulut bilişim teknolojisinde bulutta meydana gelebilecek bir arızada tüm veriler kaybedileceğinden, bilgi güvenliğini tehdit ettiğini ve olumsuz yönde etkileyeceğini düşünüyorum.							
3	İşletme verilerine uzaktan erişim etkinliğinin bilgi güvenliğini tehdit ettiğini ve olumsuz yönde etkileyeceğini düşünüyorum.							
4	Robot ve otomasyon sistemi sayesinde daha işbirlikçi bir işletme tarzı meydana geleceğinden üretim/hizmet maliyetlerinin azalacağını düşünüyorum.							
5	Yeni gelişen teknolojik uygulamalar sayesinde enerji kaynaklarının getirmiş olduğu maliyette azalma görüleceğini düşünüyorum.							
6	Günümüz çalışanlarından daha yüksek nitelikli iş gücü ihtiyacı doğacağı için eğitime ayrılan maliyetin artacağını düşünüyorum.							
7	Son teknoloji üretim sistemlerinin yatırım maliyetlerini arttıracığını düşünüyorum.							
8	Büyük veri ile birlikte verileri toplamak, depolamak ve verileri analiz ederek hemen sonuca hazır hale getirmenin işletmenin hızlılığı arttıracığını düşünüyorum.							
9	İzlenebilirlik sistemi ile sorun yaşanan bu sistemsel probleme anında müdahale edebilmenin, hızlılığı arttıracığını düşünüyorum.							

Tablo A.2 (Devam). Endüstri 4.0 algı ölçe anketi

9	İzlenebilirlik sistemi ile sorun yaşanan bu sistemsel probleme anında müdahale edebilmenin, hızlılığı arttıracağını düşünüyorum.							
10	Karar verme mekanizmasındaki iyileştirmeler işletmenin hızlılığını sağlamaktadır.							
11	Üretimde insan emeğinin azalmasından dolayı üretimin hızlılığında artış olacağını düşünüyorum.							
12	Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojik geliştirmeler sayesinde sistemlerin kendi kararlarını verebilmesinin işletme açısından olumlu olduğunu düşünüyorum.							
13	Endüstri 4.0'ı öğrenme ve değişme kapasitesine göre yatırım kararı verme potansiyelinin artacağını düşünüyorum.							
14	Kalite ve marka imajımızı korumanın, izlenebilirlik sistemi ile sağlanacağını düşünüyorum							
15	Sistem içinde yer alan herhangi bir problemin hangi operasyonel nedenden kaynaklandığı izlenebilirlik sistemi ile tespit edilebilmesinin işletmeye katkı sağlayacağını düşünüyorum.							
16	Nesnelerin İnterneti teknolojisi sayesinde operasyon durumlarının daha yakından ve anında takip edilmesinin işletmenin performansını olumlu yönde etkilediğini düşünüyorum.							
17	İnsan gücünün azalarak makine gücünün artmasına bağlı olarak, insan odaklı oluşabilecek hata payının azalacağını düşünüyorum.							
18	Üretim takibi ve analizi ile anlık hata bildirimini yapmanın kolaylaşacağını düşünüyorum.							
19	Eş zamanlı verilerin izlenebilirliğinin işletmemiz departmanlarında tahmin gücünü yükselttiğini düşünüyorum.							
20	Dijitalleşme ile müşteri taleplerinin değişimi yakından takip edilebileceğinden, müşterilerin isteklerine yönelik öngörülerin artacağını düşünüyorum.							
21	Sanal gerçeklik uygulamalarının, üretimin sonuçlarına dönük öngörülerin doğrulanmasında etkisi olduğunu düşünüyorum.							

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] Özcan, B., **Aytaç, C.H.**, Industry 4.0 and Big Data Literature Review, Erkollar A., *Enterprise & Business Management: A Handbook for Educators, Consultants, and Practitioners*, 1st ed., Tectum Verlag, Baden-Baden, 385-406, 2020.
- [2] Özcan, B., **Aytaç, C.H.**, Yaşam Memnuniyet Düzeyine Etki Eden Faktörlerin İstatiksel Analizi, *18. Uluslararası İşletmecilik Kongresi Programı*, Osmaniye, Türkiye, 2-4 Mayıs 2019.
- [3] Özcan, B., **Aytaç, C.H.**, Bulut Bilişim ve Sosyal Bilimler Alanında Uygulamaları, *18. Uluslararası İşletmecilik Kongresi Programı*, Osmaniye, Türkiye, 2-4 Mayıs 2019.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında İstanbul’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 2012 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2016 yılında mezun oldu. 2013 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesinde İşletme bölümünden aldığı eğitimini 2018 yılında tamamladı. 2016 yılının ikinci döneminde, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2019 Şubat ayından beri yazılım danışmanı olarak görev yapmaktadır.

