

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**İŞLETME ANABİLİMDALI
ÜRETİM YÖNETİMİ PROGRAMI**

**İŞLETMELERİN SANAYİ 4.0 OLGUNLUK DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİNE
YÖNELİK ÇOK KRİTERLİ BİR YAKLAŞIM: LOJİSTİK SEKTÖRÜ UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Duygu SERDAR

ARALIK - 2019

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**İŞLETME ANABİLİMDALI
ÜRETİM YÖNETİMİ PROGRAMI**

**İŞLETMELERİN SANAYİ 4.0 OLGUNLUK DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİNE
YÖNELİK ÇOK KRİTERLİ BİR YAKLAŞIM: LOJİSTİK SEKTÖRÜ UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Duygu SERDAR

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Birdoğan BAKİ

ARALIK - 2019

TRABZON

ONAY

Duygu SERDAR tarafından hazırlanan “İşletmelerin Sanayi 4.0 Olgunluk Düzeylerinin Belirlenmesine Yönelik Çok Kriterli Bir Yaklaşım: Lojistik Sektörü Uygulaması” adlı bu Çalışma 14/01/2020 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı’nda **yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi		Karar		İmza
Unvanı – Adı ve Soyadı	Görevi	Kabul	Ret	
Prof. Dr. Birdoğan BAKİ	Başkan	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B. Bakı
Prof. Dr. Selçuk PERÇİN	Üye	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Perçin
Doç. Dr. Gül Tekin TEMUR	Üye	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Temur

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylıyorum.

Prof. Dr. Yusuf SÜRMEŒ
Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca "Karadeniz Teknik Üniversite (KTÜ)'si - Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu"na uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, yararlanılan kaynakların tümüne eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her tür yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Duygu SERDAR

16. 12. 2019

ÖNSÖZ

Sanayi 4.0'ın etkileri son yıllarda açıkça ortaya çıktığından, firmaların küresel pazarlarda etkili bir şekilde rekabet edebilmeleri için mevcut ürün ve sistemlerinin dijitalleştirilmesi yoluyla iş süreçlerini ve iş modellerini Sanayi 4.0 yönünde yeniden şekillendirmeleri gerekmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerine göre sıralanmasına yönelik yenilikçi bir yaklaşım geliştirmek amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasının ortaya çıkma sürecinde, araştırma konusunun belirlenmesinden araştırmanın tamamlanmasına kadar geçen sürede, yoğun çalışma temposuna rağmen mesai saati sınırlaması yapmadan beni; bilgisi, tecrübesi, sabrı ve hoşgörüsüyle yönlendiren, hayatım boyunca akademik duruşunu ve karakterini örnek alacağım kıymetli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Birdoğan BAKİ'ye teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışmanın uygulama kısmı için hazırlanmış anketleri yanıtlayan ve bu sebeple tezin hazırlanmasında büyük katkıları olan tüm kişi ve kurumlara, çalışma sürecimde yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma ve son olarak hayattaki tüm başarılarımı borçlu olduğum, her zaman ve her koşulda yanımda olduklarını bildiğim, hayatımı güzelleştiren canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Aralık, 2019

Duygu SERDAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT	IX
TABLOLAR LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XI
GRAFİKLER LİSTESİ.....	XII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XIII
GİRİŞ	1-2

BİRİNCİ BÖLÜM

1. SANAYİ DEVRİMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ	3-24
1.1. Birinci Sanayi Devrimi	3
1.2. İkinci Sanayi Devrimi	4
1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi	4
1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi.....	5
1.5. Sanayi 4.0'ın Temel Özellikleri	6
1.6. Sanayi 4.0 Teknolojik Gelişmeleri.....	7
1.6.1. Büyük Veri Analizi	8
1.6.2. Otonom Robotlar	9
1.6.3. Simülasyon.....	10
1.6.4. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonları	10
1.6.5. Nesnelerin İnterneti.....	11
1.6.6. Siber Güvenlik ve Siber Fiziksel Sistemler	12
1.6.7. Bulut Sistemler.....	13
1.6.8. Eklemeli İmalat.....	13
1.6.9. Artırılmış Gerçeklik	14
1.7. Sanayi 4.0 Olgunluk Modelleri	15
1.7.1. Olgunluk Modelleri Çeşitleri	15
1.7.1.1. Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli.....	16
1.7.1.2. IMPULS Sanayi 4.0 Hazırlık Modeli	16
1.7.1.3. Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli	17

1.7.1.4. İmalat Firmaları için Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli.....	19
1.7.1.5. SIMMI 4.0 Olgunluk Modeli.....	20
1.7.1.6. ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi.....	20
1.7.1.7. DREAMY Olgunluk Modeli	21
1.7.1.8. M2DDM Olgunluk Modeli.....	22
1.7.2. Olgunluk Modellerinin Karşılaştırılması	23

İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	25-45
2.1. Teorik Çalışmalar.....	27
2.2. Uygulamalı Çalışmalar.....	36

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE SANAYİ 4.0 OLGUNLUK DÜZEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI	46-66
3.1. Çalışmanın Önemi ve Amacı	46
3.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemler.....	47
3.2.1. AHP Yöntemi.....	47
3.2.2. Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı	49
3.2.3. TOPSIS Yöntemi	49
3.2.4. VIKOR Yöntemi.....	51
3.3. Uygulama	53
3.3.1. Problemin Belirlenmesi	54
3.3.2. Uygun Modelin Seçilmesi.....	54
3.3.3. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması	55
3.3.4. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	56
3.3.5. Olgunluk Modeli Sonuçları.....	57
3.3.5.1. AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı Sonuçları.....	57
3.3.5.2. Çok Kriterli Olgunluk Yaklaşımı Sonuçları	59
3.3.5.2.1. TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması.....	59
3.3.5.2.2. VIKOR Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması.....	60
3.3.6. Korelasyon Analizi	61
3.3.7. Duyarlılık Analizi	63
3.4. Tartışma	65
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	72

EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ	93



ÖZET

Günümüzde değişen ve gelişen teknolojilerle birlikte firmalar; iş modellerini ve süreçlerini değiştirmeli, güçlü bir Bilgi Teknolojisi ve yazılım altyapısına sahip olmalı, ekonomik faydalarını en üst düzeye çıkarmak ve yatırımların geri dönüşünü sağlamak için Büyük Veri Analizi, Bulut Bilişim ve Nesnelerin İnterneti gibi yenilikçi trendleri kullanmaları gerekmektedir. Aynı zamanda firmaların rekabet üstünlüğü sağlamaları için mevcut tüm süreçlerini Sanayi 4.0 yönünde düzenlemeleri gerekmektedir. Buna istinaden Sanayi 4.0 olgunluk modelleri, firmalarda bir değişim süreci başlatarak organizasyonel dönüşüme katkıda bulunabilir, örgütsel mükemmelliği arttırıp firmaların gelişen teknolojiyle birlikte güçlü ve zayıf yönlerinin tespit edilmesi ve bu yönde farkındalığa sahip olması açısından yol gösterici bir nitelik taşımaktadır. Bu sebeple ilgili literatür incelendiğinde Türkiye’de firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin ölçümü konusunda yapılmış az sayıda çalışma olduğu belirlenmiş ve lojistik sektörüne yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Buradan hareketle bu çalışmanın amacı, lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerine göre değerlendirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım sunmak olarak belirlenmiştir.

Bu amaçla, ilk olarak literatür araştırmasıyla en çok kullanılan modellerden biri olan IMPULS olgunluk modeli seçilmiş ve modelin kriter ve alt kriterleri belirlenmiştir. Üç adımda gerçekleştirilen uygulamanın ilk aşamasında AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile lojistik sektörünün ve firmaların olgunluk düzeyleri ayrı ayrı hesaplanmış, firmalar sıralanmıştır. İkinci aşamasında firmalar AHP-TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Son olarak da firmalar AHP-VIKOR yöntemi ile sıralanmış ve üç yöntemin sıralama sonuçları karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre kriter ağırlıklarının AHP yöntemi ile hesaplanması sonucunda en yüksek ağırlığa sahip kriterin *strateji ve organizasyon* (0,447), en düşük ağırlığa sahip kriterin ise *veri odaklı hizmetler* (0,068) olduğu görülmektedir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinden sonra AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile yapılan sıralama sonuçlarına göre A2, A1, A8, A6, A10, A5 ve A9 alternatiflerinin her üç yöntemde de aynı sıralamada yer aldığı görülmektedir. Son olarak, elde edilen sıralamaların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının tespit edilmesi ve önerilen yaklaşımın kabul edilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla korelasyon ve duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sanayi 4.0, Olgunluk Modeli, AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS, VIKOR

ABSTRACT

Nowadays, with the variable digital technologies development, companies need to change their business models and processes, also need to have a strong Information Technology and software infrastructure and to use innovative trends such as Big Data, Cloud Computing, and Internet of Things (IoT) to maximize their economic benefits and return on investment. Meanwhile, companies need to organize all their existing processes in the direction of Industry 4.0 in order to achieve a competitive advantage. Therefore, maturity models can contribute to organizational transformation by initiating a process of change in firms, increasing organizational excellence and guiding the company in terms of identifying the strengths and weaknesses of the company with developing the technology. The relevant literature review determined that a few studies on the measurement of Industrial 4.0 maturity levels of the firms and no studies on the logistics sector have found. In consequence, the aim of this study is to propose an innovative approach to evaluate logistics companies according to Industry 4.0 maturity levels.

For this purpose and according to the related literature research the IMPULS maturity model- which initially considered a suitable model for the logistics sector- has selected and the criteria and sub-criteria of the model have taken as a basis. In the first stage of the implementation carried out in three steps, the maturity level of the logistics companies was determined Weighted Maturity Approach with AHP and the companies were ranked. In the second stage, companies were ranked with AHP-TOPSIS method. Finally, the firms ranked with AHP-VIKOR method and the ranking results of the three methods were compared.

According to the findings, the strategy and organization (0.447) determined as the highest weighted criterion and data-oriented services (0.068) determined as the lowest weighted criterion. After the determination of criterion weights, according to the results Weighted Maturity Approach with AHP, TOPSIS and VIKOR methods, the alternatives A2, A1, A8, A6, A10, A5, and A9 appear to be in the same order in all three methods. In conclusion, correlation and sensitivity analyses were performed to determine whether the rankings obtained were statistically significant and determine the acceptability of the proposed approach.

Keywords: Industry 4.0, Maturity Model, Weighted Maturity Approach with AHP, TOPSIS, VIKOR

TABLolar LİSTESİ

Tablo Nr.	Tablo Adı	SayfaNr.
1	Sanayi 4.0'ın Avantaj ve Dezavantajları	7
2	IMPULS Modelinde Sanayi 4.0 Kriterleri ve Açıklamaları	17
3	Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli	18
4	İmalat Firmalarının Olgunluk Kriterleri ve Örnek Olgunluk Kalemleri	19
5	SIMMI 4.0 ve Açıklamaları	20
6	ACATECH Sanayi 4.0 Geliştirme Stratejileri	21
7	DREAMY Olgunluk Seviyelerinin Tanımlanması	22
8	M2DDM Olgunluk Seviyeleri ve Açıklamaları	23
9	Sanayi 4.0'da Olgunluk Modelleri Karşılaştırması	24
10	AHP'de Kullanılan İkili Karşılaştırma Ölçeği	48
11	Rassal İndeks Göstergeleri	49
12	Çalışmada Kullanılan Kriter ve Alt Kriterler	56
13	Kriterlerin Görelî ve Global Ağırlıkları	57
14	Firmaların Olgunluk Düzeyleri ve Sıralanması	59
15	İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri ve Sıralanması	59
16	Sj, Rj ve Qj Değerleri ve Sıralanması	60
17	En İyi İki Seçenek Arasındaki Fark Q(A2)-Q(A1) Değerleri	60
18	AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS, VIKOR Sıralamaları	61
19	Korelasyon Analizi Sonuçları	62
20	Duyarlılık Analizi İçin Kriter Ağırlıkları	63
21	AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Düzeyi Duyarlılık Analizi Sonuçları	64
22	TOPSIS Yöntemi Duyarlılık Analizi Sonuçları	64
23	VIKOR Yöntemi Duyarlılık Analizi Sonuçları	65
24	Firmaların Olgunluk Puanı ve Yönetimsel Öneriler	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil Nr.	Şekil Adı	Sayfa Nr.
1	Sanayi 4.0 Teknolojik Gelişmeleri	8
2	Uygulama Sürecinin Akış Şeması	54
3	Lojistik Firmalar için Sanayi 4.0 Olgunluk Düzeyi Hiyerarşik Yapısı	55



GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik Nr.	Grafik Adı	Sayfa Nr.
1	Çalışmaların Veri Tabanlarına Göre Dağılımı.....	26
2	Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı	26
3	Lojistik Sektörünün Ana Kriterler Açısından Radar Diyagramı	58
4	AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS ve VIKOR Sıralamalarının Karşılaştırılması	62

KISALTMALAR LİSTESİ

AHP	: Analytic Hierarchy Process
ANP	: Analytic Network Process
BİT	: Bilgi İletişim Teknolojisi
CMMI	: Capability Maturity Model Integration
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DREAMY	: Dijital Readiness Assessment Maturity Model
ERP	: Enterprise Resource Planning
IoT	: Internet of Things
MES	: Manufacturing Execution System
M2M	: Machine to Machine
OECD	: Organisation for Economic Cooperation and Development
SCM	: Supply Chain Management
SPICE	: Software Process Improvement and Capability Determination
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TTGV	: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
VIKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

GİRİŞ

Yeni teknolojilerin endüstriyel üretim ile bilgi ve iletişim teknolojileri arasındaki entegrasyon yoluyla imalat ve hizmet alanlarında kullanılmaya başlamasıyla dördüncü sanayi devrimi olarak adlandırılan yeni bir dijital dönüşüm sürecine geçilmiş ve bu dönüşümün firmalara sağladığı çeşitli rekabet avantajları sebebiyle önemi her geçen gün daha da artmaya başlamıştır (Baena vd., 2017: 74). Firmalar, Sanayi 4.0 teknolojilerine dayanan iş süreçleri ile daha yüksek düzeyde bir otomasyona daha esnek ve güvenilir şekilde ulaşmayı hedefleyerek, yenilikçi katma değerli süreçler sağlamalıdır (Lu, 2017: 1).

Sanayi 4.0 teknolojilerine geçişte firmalara yardımcı olmak ve firmaları standartlaşmış yapısından kurtararak, objektif bir şekilde yeteneklerini geliştirmek için olgunluk modelleri gibi yapısal yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Olgunluk modelleri kapsamlı bir rehberlik sunarak firmalara Sanayi 4.0'a geçişte bir yol haritası sunup onlara yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte Sanayi 4.0'a geçişte "tek bir model her firma için geçerlidir" şeklinde düşünülmemeli, firmaların kendine özel bir yol haritası olmalı ve bu firmaların rekabet üstünlüğü sağlaması için olgunluk düzeylerini belirlemesi gerekmektedir (Barata ve Cunha, 2017: 8). Olgunluk modellerini kullanmanın ana fikri, kullanılan yeni bir iş modeli veya geliştirilen yeni iş süreçleri gibi bir firmanın kusursuzluk seviyesini tanımlamaktır (Gökalp ve Sener, 2017: 129).

Sanayi 4.0'daki yeni bilişim teknolojileri sayesinde lojistik uygulamalarda meydana gelecek değişimler ve geliştirilecek yeni taşıtlar, enerji kaynaklarının lojistik sektöründe kullanımı ile tedarik zinciri içerisinde entegrasyon ve lojistik hizmetler yaygınlaşmış bu sayede büyük oranda verimlilik artışı sağlanıp, firmaların hizmetler ve lojistik alanlarına yoğun yatırım yapmaya planladıkları belirlenmiştir (Lichtblau vd., 2015: 34). Bu doğrultuda ilgili literatür incelendiğinde Sanayi 4.0'da olgunluk düzeyi ölçümü konusunda uygulamaya yönelik yapılmış az sayıda çalışma olduğu ve bu çalışmalardan pek azında firmaların sıralanması amacıyla Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Ayrıca, lojistik sektörü üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Buradan hareketle, lojistik sektörünün ve firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerini tek tek ölçülmek ve firmaların sıralanmasına yönelik yeni bir Çok Kriterli Olgunluk Yaklaşımı sunmak bu çalışmanın temel amacı olarak belirlenmiştir.

Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada IMPULS modeli kriterleri baz alınarak AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile lojistik sektörünün ve firmaların olgunluk düzeyleri ayrı ayrı belirlenmiş, firmalar sıralanmıştır. Ardından AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemleri bütünlük kullanılarak firmaların sıralaması gerçekleştirilerek yeni bir Çok

Kriterli Olgunluk Yaklaşımı önerisinde bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, uygulanan her üç sıralama yönteminde benzer sonuçlar ürettiğini ve hatta TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle elde edilen sıralamaların aynı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde, sanayi devrimlerinin tarihsel gelişimi başlığı altında ilk üç sanayi devrimi ile ilgili bilgiler verilmiş, dördüncü sanayi devriminin ortaya çıkışı ve Sanayi 4.0 teknolojilerine değinilmiş, son olarak da olgunluk modeli türlerinden bahsedilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde Sanayi 4.0 dijital dönüşümde olgunluk modellerini kullanan teorik ve uygulamalı çalışmaların detaylı bir şekilde incelenmesine yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise; çalışmanın önemi ve amacı ile çalışmada kullanılan yöntemler ve aşamaları açıklanmıştır. Daha sonra, lojistik sektörünün Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesi ve firmaların sıralanması amacıyla yapılan uygulamaya yer verilmiş, elde edilen bulgular tartışılmış ve firmalara yönetsel önerilerde bulunulmuştur.

Çalışmanın son kısmında ise elde edilen sonuçlar hakkında değerlendirmeler yapılmış ve gelecek çalışmalar ile ilgili önerilerde bulunarak çalışma sonlandırılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. SANAYİ DEVRİMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Geçmişten günümüze kadar yaşanan gelişmelere bağlı olarak çeşitli aşamalara ayrılmış olan sanayi devrimi, insan gücüne dayalı üretimden, makine gücüne dayanan üretime geçiş olarak kabul edilmiştir (Öztürk, 2018: 3). Sanayi devrimleri sırasıyla; 18. yüzyılın sonlarında, su ve buhar gücüyle çalışan makinelerin devreye girmesiyle birinci sanayi devriminin, 20. yüzyılın başlarında, elektriğin icadı ile seri üretime geçilmesi ve üretim kapasitelerinin artışı ile ikinci sanayi devriminin, 1969'lu yıllarda ise elektronik esaslı, otomatikleştirilmiş üretim ile üçüncü sanayi devriminin temelleri atılmıştır (OECD, 2017b: 27). Günümüzde ise teknolojiye her geçen gün yaşanan yeni bir gelişme ile insanların, üretimin, hizmet sektörünün ve tüm süreçlerin giderek dijitalleşmesi söz konusudur.

Bu bölümde sanayi devrimleri tarihi hakkında kısa ve genel bilgiler verilecek, Sanayi 4.0 kavramının ortaya çıkışı, tanımı, bileşenleri ve olgunluk modeli tanımlanacak, olgunluk modeli türlerine değinildikten sonra bölüm sonlandırılacaktır.

İngilizce literatürde sıklıkla Endüstri 4.0 kavramı kullanılırken, Türkçe literatürde Sanayi 4.0, Endüstri 4.0, dördüncü sanayi devrimi ve dijitalleşme kavramları kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Sanayi 4.0 kullanımı tercih edilmiştir.

1.1. Birinci Sanayi Devrimi

Makine çağı olarak isimlendirilen sanayi devriminin ilk aşamasında genel anlamıyla üretim, el ve beden emeğinden makine gücüne doğru bir değişim geçirmiştir (Lu, 2017: 1). Nitelik ve nicelik yönünden artış gösteren makineler, buhar gücü ve su gücü kullanılarak işlev kazanmış ve sanayi alanında, dokuma sektöründe, tarım sektöründe kullanılmaya başlanmıştır (Hamidi vd., 2018: 721). İlgili süreçte demir ve çelik hem önemli hammaddeler olmuş, hem de tüketimde kullanım miktarı artmıştır (Üskent, 2006: 3). Bunun yanında, kömür, buhar makinesi, petrol, içten patlamalı motorlar ile de mekanik üretim yaygınlaşmaya başlamıştır. (Üskent, 2006: 4). Sanayi devrimiyle birlikte üretim yapısında yaşanan bu gelişmeler toplumsal ve kişisel değerlerin, hayat tarzının tamamı ile değişimini beraberinde getirmiştir (Çevik, 2018: 4). Şöyle ki; fabrikalarda işgücü ihtiyacı artırmış, tarımda çalışan işçi sayısını azaltmış ve bunun yanında yeni makineler ortaya çıkarken emek yoğun üretim arttığı için verimlilik de artmıştır (Genç, 2018: 8). Bu devrimle

birlikte bireylerin ihtiyaçları çoğalmış, çeşitlenmiş, refah düzeyi artmış, tekstil ürünlerine de hızlı bir talep artışının gerçekleşmesiyle yeni tekstil makineleri kullanılmaya başlamış ve dolayısıyla da fabrika sisteminin ortaya çıktığı ilk sektör olarak tekstil, büyük bir önem kazanmıştır (Üskent, 2006: 6). Bu dönemde pamuk ve dokuma tezghları ne çıkmasına rağmen, demir, kömür ve bunların birlikteliğinden oluşan demiryolu döneme damgasını vurmuştur (zdemir, 2014: 3). Birinci sanayi devrimi başlarda İngiltere tekelinde kalsa da 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren kara Avrupası'na, ABD'ye, Japonya'ya kısaca, tüm dünyaya hızlı bir Şekilde yayılmaya başlamıştır (Yücel, 2017: 104).

1.2. İkinci Sanayi Devrimi

Sanayi devriminin ilk aşamasından sonra 19. yüzyılda elektriğin icadı ile ikinci sanayi devrimi olarak adlandırılan süreçle ABD'de, insan emeğinden en yüksek seviyede yararlanmayı ve en fazla verim elde etmeyi mümkün kılan Taylorizm'in uygulandığı, üretim hatlarıyla desteklenen seri üretim sistem ve teknikleri kullanılmaya başlanmıştır (Hamidi vd., 2018: 721). İlk olarak Henry Ford tarafından otomotiv üretiminde uygulanmış olan ve Taylorizm'den yola çıkarak işleri kk parçalara ayıran Ford, bant tipi retilimi ilk kez kullanan işletmelerden olmuştur (Ghobakhloo, 2018: 910; Türkoğlu, 2018: 3). Aynı dönemde elik üretim yöntemlerinin geliştirilmesine bağlı olarak demiryollarının da gelişmesiyle ulaşım, haberleşme ve hammadde temini kolaylaşmış, üretim sürecinden çıkan ürünlerin uzak ve yeni pazarlara ulaşması sağlanmış, petrol ve benzeri hammaddelerin ekonomi içindeki önemi artmış, telgraf, radyo ve benzeri buluşların ortaya çıkması da ikinci sanayi devriminin gerçekleşmesini hızlandırmıştır (EBSO, 2015: 5). Yine bu dönemde gelişen elektrikli ve yanmalı motorlar, endüstriyel seri retilimi mümkün kılararken, işçilerin refah yönündeki talepleri ve sosyal sıkıntıların zlmesinin gerekliliği, sendikaların önemini arttırmış, bugün tüketime odaklı olan toplumun temelini oluşturmuştur (Derya, 2018: 2). Yaygın olarak demir ve çeliğin kullanılmaya başlandığı ve ağır sanayinin gelişim gösterdiği bu devrime İngiltere, Almanya, ABD ve Japonya'nın önderlik etmiştir (Derya, 2018: 2). Öte yandan, küresel ısınma gibi bugünkü pek çok evre sorununun ortaya çıkmasına zemin hazırlaması ikinci sanayi devriminin olumsuz sonuçları arasında gösterilmektedir (evik, 2018: 6).

1.3. nc Sanayi Devrimi

20. yüzyılın ortalarında başlamış olan bu süreçte mikro elektronik, bilgi teknolojileri, fiber optik, lazer gibi teknolojilerde yaşanan gelişmeler ışığında üretim otomasyonu ve dijitalleşmesiyle birlikte; sanayi robotları kullanılmaya başlanmıştır (Ovacı, 2017: 116). nc sanayi devriminin en önemli özelliklerinden birisi otomasyonun artması ve buna bağlı olarak beden gücünün üretim süreçlerinde azalmasıdır (Ghobakhloo, 2018: 910). Transitrler, endüstriyel robotlar ve bilgisayar teknolojilerinin icadı imalatta otomasyonu sağlamış ve işçilerde ihtiyaç duyulan nitelik ve becerileri değiştirmiştir (TTGV, 2018: 33). Söz konusu dönemde, bilgisayar,

İnternet, yazılım programlarının kullanımının artması ve bununla birlikte üretimde mekanik ve elektronik teknolojilerin yerini dijital teknolojinin alması da üretimde birçok yenilik meydana getirmiştir (MUSİAD, 2017: 34). Örneğin; Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design: CAD), Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning: ERP), Malzeme İhtiyaç Planlaması (Materials Requirement Planning: MRP), üretim takip yazılımları ve muhasebe programları gibi birçok yazılımla işletmede gerçekleşen herşey bilgisayar üzerinden kontrol edilebilir hale gelmiştir (Genç, 2018: 17). Örneğin bir Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (Computerized Numerical Control: CNC) tezgahı sayesinde neredeyse çalışana hiç ihtiyaç duyulmadan parça işlenerek, kendi otomatik yapısıyla transfer hattı üzerinden sıradaki istasyona yönlendirilebilmektedir (Özkurt, 2016: 4; Schuh vd., 2017: 15). CNC gibi makineler süreç maliyetini ve zaman kayıplarını azaltıp, üretim kalitesini ve hızını artırarak daha hassas ve seri üretimi mümkün kılarken, büyük makine arızalarında ise tüm imalatı geçici olarak durdurabilmektedir (Özkurt, 2016: 4). Bunun yanında planlama ve üretim süreçlerinin tüm imalat süreçlerini kontrol etmek amacıyla bilgisayarlarla bütünleşmesi anlamına gelen Bilgisayarlı Bütünleşik İmalatın (Computer Integrated Manufacturing: CIM) keşfiyle ise otomasyon imalat sanayinin her koluna yayılmış ve çalışanlardan daha esnek olmaları beklenir olmuştur (TTGV, 2018: 33). İkinci sanayi devriminden farklı olarak üçüncü sanayi devriminde Ar-Ge çalışmaları önemli hale gelmiştir (MUSİAD, 2017: 34). Aynı zamanda bu devrimle tüketici istekleri göz önüne alınmaya başlanmış, esnek üretim sistemleri geliştirilmiş ve makineler, gündelik hayata hâkim olmaya başlamış, beden gücüne olan ihtiyaç azalmıştır (Derya, 2018: 3). Üçüncü sanayi devriminde yaşanan teknolojik gelişmeler dördüncü sanayi devrimine de zemin hazırlamıştır (Stock ve Seliger, 2016: 536). Ancak dördüncü sanayi devrimi diğerlerine kıyasla daha radikal gelişmeleri beraberinde getirecek olmasıyla fark yaratmaktadır.

1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi

Günümüzde teknolojik gelişmelerin hızla arttığı yeni bir sanayi devrimi meydana gelmekte ve geline bu son aşamaya dördüncü sanayi devrimi adı verilmektedir. İlk üç sanayi devrimi sırasıyla, buhar gücünün kullanılması, elektriğin kitlesel üretimi sağlayacak şekilde kullanılması, bilişim ve elektroniğin üretimin otomatikleşmesinde kullanılması şeklinde açıklanabilir. Dördüncü sanayi devrimi ise genel olarak, siber fiziksel sistemlerin endüstriyel üretim sistemlerinde uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Ghobakhloo, 2018: 910). Başka bir deyişle, artık durum modellenerek kodlanmaktadır (TTGV, 2018: 33).

2006 yılından beri Alman hükümeti, Almanya'nın teknolojik inovasyon yoluyla rekabet gücünü korumak ve ülkeyi daha güçlü hale getirmek adına bölümlerarası araştırma ve inovasyon girişimlerinin koordinasyonuna yönelik "Yüksek Teknoloji Stratejisi"ni sürdürmektedir (Kagermann vd., 2013: 77). Sürdürülen bu stratejinin devamı olarak "Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020 Eylem Planı"nın bir parçası olarak Sanayi 4.0 kavramı 2011 yılında stratejik bir inisiyatif

olarak ortaya çıkmıştır (Kagermann vd., 2013: 77). Söz konusu strateji iklim-enerji, sağlık-gıda, mobilite, güvenlik ve iletişim alanlarına odaklanmakta ve ayrıca, Bilim-Sanayi-Araştırma İttifakının on ila on beş yıllık bir süre boyunca somut orta vadeli bilimsel ve teknolojik gelişim hedeflerini ele aldığı bir dizi stratejik girişimi kapsamaktadır (Kagermann vd., 2013: 77). Girişimler, Almanya'yı küresel zorluklara çözüm sağlama konusunda lider yapmak için tasarlanan somut yenilik stratejileri ve uygulama yol haritalarını oluştururken, tüm dünyaya yeni bir endüstrinin kapılarını da açmaktadır (Kagermann vd., 2013: 77). Sanayi 4.0 kavramı, endüstriyel üretim ile bilgi ve iletişim teknolojileri arasındaki bütünleştirme yoluyla ülkede imalat sektörünün rekabet edilebilirliğini güçlendirme ihtiyacından doğmuştur (Baena vd., 2017: 74).

Öte yandan Sanayi 4.0, akıllı fabrika olarak da adlandırılan yapılar oluşturmak üzere imalat teknolojileri içerisinde çoğunlukla otomasyon ve veri değişimi alanlarında, bulut bilişim sistemlerini, siber fiziksel yapıları ve nesnelerin interneti kavramını günümüz şartlarına uygun hale getirmiştir (Kagermann vd., 2013: 21). Dördüncü sanayi devrimi; birbiriyle ilişkili olan bütün birimlerin ortak çalışmasını planlamakta yani üretimin otomasyona dayalı hale gelmesini amaçlamakta; bilişim teknolojilerinin ve dijital veri yazılım sistemlerinin entegre çalışmasını öngörmektedir (Schuh vd., 2014: 52). Kısacası, kol gücünü kullanan fabrikalar yerini beyin gücü ile yönetilen birimlere bırakacak, robotlar ve robotik cihazlar kullanılmaya başlanacaktır (MUSİAD, 2017: 21). Buradan hareketle Sanayi 4.0'ın en temel hedefi, yüksek düzeydeki bir otomasyona, daha yüksek düzeyde bir operasyonel mükemmellikle ulaşmaktır (Lu, 2017: 1).

1.5. Sanayi 4.0'ın Temel Özellikleri

Yapılan literatür taramasından yola çıkarak Sanayi 4.0'ın temel özellikleri beş başlıkta toplanabilir (Wolter vd., 2015: 13; Zhu, 2019: 14):

İşbirliği: Siber fiziksel sistemler aracılığıyla insanlar ve akıllı fabrikaların işbirliği ve etkileşim içinde olmaları sağlanır. Yani, üretim süreçlerinde yer alan tüm aktörlerin (tüketiciler ve lojistik, dağıtım, pazarlama gibi) sürekli ve sürdürülebilir bir şekilde birbirleriyle etkileşim ve iletişim içinde olmasıdır.

Dijitalleştirme: Ürün yaşam döngüsü boyunca gerçekleşen tüm faaliyetlerin İnternet üzerinden ağ sistemleri yoluyla birbirlerine yaklaştırılması hedeflenir.

Merkezi Olmama: Üretim süreçlerinde meydana gelebilecek her türlü sorun karşısında yöneticilerin karar yetkisinin olduğu hiyerarşik sistemlerin yerini, siber fiziksel sistemler ve nesnelerin interneti ile yönetilen merkezi olmayan sistemlere bırakmasıdır.

Modülerlik: Sanayi 4.0'ın bu özelliği akıllı fabrikaların değişen tüketici taleplerine ve ihtiyaçlarına bağlı olarak üretim yapabilmesi, değişen şartlara uyum yeteneğini ve esnekliğini ifade eder. Öte yandan, modülerlik, standartlaştırmanın avantajları nedeniyle, yüksek hacmin normalde düşük üretim maliyetlerine eşit olduğunu varsayarak, kişilere yönelik tam ürün özelleştirmelerine kıyasla maliyette azalmayı gerçekleştirebilir.

Gerçek Zamanlı Üretim: Malzeme akışının ihtiyaçlara göre koordine edilmesi, üretim ve stok sürelerinin değer zincirleri boyunca minimize edilmesi olarak ifade edilir.

Sanayi 4.0'ın temel özelliklerden hareketle; akıllı fabrikaların bireysel tüketici ihtiyaçlarını karşılayarak akıllı ürünler üretmesi, üretim süreçleri boyunca optimal kararların verilmesi, etkinliğin ve verimliliğin artırılmasıyla yeni hizmetler sağlanarak değer yaratması beklenmektedir (Kagermann vd., 2013: 15). Bunun yanında, inovasyon temelli iş süreçlerine geçileceği ve rekabet kavramının yeniden şekilleneceği öngörülmektedir (Kagermann vd., 2013: 15).

Ürün çeşitliliğindeki artış ile birlikte tedarik zincirinde meydana gelecek karmaşıklığa cevap vermek adına üretim süreçlerinde ve sistemlerinde esnekliği savunan Sanayi 4.0 ile bu esnekliğin, bilgi teknolojileri açısından entegrasyonu ve müşteriler ile tedarikçiler arasındaki entegrasyon ile gerçekleştirileceği kabul edilmektedir (Toker, 2017: 53).

Snasell'in (2016) yaptığı bir araştırmaya göre, Sanayi 4.0'ın avantajları ve dezavantajları Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1: Sanayi 4.0'ın Avantaj ve Dezavantajları

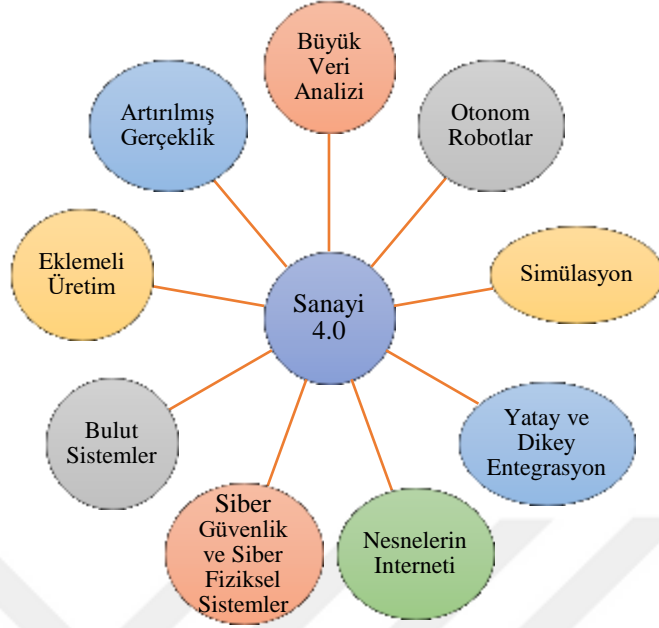
Avantaj	Dezavantaj
Bireysel müşteri gereksinimleri	Veri koruma eksikliği
Esnek üretim	Uzaktan üretim sistemlerinin kolayca yönetilmesi
Çalışanlara yardım, iş-yaşam dengesi	Kırsal alanlar için bir dezavantaj, geniş bant bağlantılarının olmaması
Yeni değer, işletmeler arası (B2B: Business to Business) yeni hizmetler	Gerekli altyapıların sürekli temini ve bakımı
Artan rekabet gücü	Yüksek ve pahalı teknik standartlar
Verimliliği ve kaynak verimliliğini belirleme ve geliştirmek	Çalışanlar için ek gereklilik (BT bilgisi)
Yeni ulusal ve küresel zorlukların üstesinden gelmek	

Kaynak: Snasel, 2016: 14

1.6. Sanayi 4.0 Teknolojik Gelişmeleri

Sanayi 4.0'ın temel yapı taşlarını oluşturan teknolojik gelişmeler Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1: Sanayi 4.0 Teknolojik Gelişmeleri



Kaynak: Bahrin vd., 2016: 137; Vaidya vd., 2018: 234'den derlenmiştir.

1.6.1. Büyük Veri Analizi

Verilerin geleneksel biçimde analiz edilmesinden farklı olarak büyük veri, sosyal medya paylaşımları, fotoğraf arşivleri, log dosyaları gibi farklı kaynaklar aracılığıyla elde edilen tüm verilerin anlamlı ve işlenebilir hale dönüştürülmesini mümkün kılar (EBSO, 2015: 19; Witkovski, 2017: 768). Büyük veri analizi, birçok farklı kaynaktan ve müşterilerden verilerin toplanmasını, kapsamlı olarak değerlendirilmesini, enerji tasarrufu yapmayı, ekipman hizmeti geliştirmeyi ve üretim kalitesini optimize etmeyi sağlamaktadır (Bahrin vd., 2016: 139). Bu gibi sistemler işletmelerin bulundurmaları gereken sunucu (server) ihtiyacını azaltmakta, stratejik kararlarını doğru bir şekilde almalarına, daha iyi risk yönetimine ve üretim için gerekli bilgiye kolay bir şekilde ulaşılmasına yardımcı olmaktadır (Alçın, 2016: 26). Dördüncü sanayi devrimiyle işletmelerin rekabet ortamında bir adım daha öne geçmeleri ve rakiplerinden farklı olma zorunlulukları, küçük bir bilginin bile çok önem taşıdığı ve büyük veri aracılığıyla doğru bilgilere hakim olmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır (EBSO, 2015: 19). Büyük veri terimi, hacim, hız, çeşitlilik ve değer ile karakterize edilerek şu şekilde açıklanmıştır (OECD, 2017b: 79; Witkovski, 2017: 768):

Hacim (Veri miktarı): Büyük veri kavramı, büyüklüğü toplama, depolama, yönetim ve analiz için sıradan araçların kapasitesini aşan veri setlerini ifade eder ve bu verileri yönetmek teknolojik yeteneklerle bağlantılıdır.

Çeşitlilik (Veri çeşitliliği): Büyük veri, işlem sistemleri, sosyal ağ siteleri veya Internet gibi çeşitli kaynaklardan gelir. Örneğin, sosyal ağ sitelerinden görüntüler, videolar.

Hız (Yeni veri oluşturma ve analiz etme hızı): Sürekli veri akışı ve değişen verilerden gelen doğru sonuçların sürekli bir şekilde uygulanması gerektiğinden, büyük veri üzerinde gerçek zamanlı olarak veri analizi yapılır.

Değer (Değer verileri): Tüm bilgi kitlesini bizim için en önemli olana dönüştürmektir ve sonuçların gerçek koşulları yansıtması ile en uygun ticari faaliyetlere yol açması çok önemlidir.

Büyük veri teknolojileri, yeni nesil teknolojilere işaret etmekte, kuruluşların keşfetme ve yakalama yoluyla ekonomik olarak değer almalarını sağlayıp çeşitli verilerin geniş hacimli analiz edilmesini sağlamaktadır (Ghobakhloo, 2018: 921). Özellikle, üreticilerin stratejik ve organizasyon yapılarını iyileştirmelerini, verimlilik ve performans artışını, ürün kişiselleştirmesini, üretim süreçlerini ve tedarik zinciri yönetimini kolaylaştırmaktadır (Wang vd., 2016: 99).

Büyük veri kullanımı, ürünleri, süreçleri ve organizasyonları önemli ölçüde iyileştirme sözü vermektedir (OECD, 2017c: 202). Dünyanın en büyük bilişim teknoloji firması olan IBM, büyük veri analitiğinin endüstriyel alandaki uygulamasına örnek teşkil etmektedir (Ghobakhloo, 2018: 921).

1.6.2. Otonom Robotlar

Sanayi 4.0 kavramının en önemli bileşenlerinden biri de otonom robotlardır ve modern üretimde önemli bir rol oynamaktadır (Bahrin vd., 2016: 139). Otonom Robotlar; belli bir zekaya sahip, birbiriyle iletişim kurabilen, insanlarla yan yana çalışabilen robotlardır ve günümüzde üretimde kullanılan endüstriyel robotların geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır (Rüßmann vd., 2015: 5).

Otonom bir robot, özerk üretim yöntemini daha hassas bir şekilde gerçekleştirir ve endüstriyel robotlara oranla daha esnek olma özellikleriyle öne çıkmaktadır (Vaidya vd., 2018: 235). Otonom robotlar verilen görevi, verilen sürede kesin ve akıllı bir şekilde tamamlayabilmekte, birden fazla işi aynı anda yapabilmekte, komut olarak verilmiş bir işi otomatik olarak gerçekleştirebilmektedirler (Bahrin vd., 2016: 139). Bunların yanında, insan kaynaklı hatalar en aza indirgenip, akıllı fabrikalarda otonom robotlar sayesinde değişime ayak uydurulabilecek ve üretim süreci yönetilebilecektir (Bahrin vd., 2016: 139). Tüm bunlara ek olarak da robotlar ürünlerin performansındaki düşüşleri otomatik olarak tespit edip, bu sorunu çözmek için optimizasyonlar uygulayabileceklerdir (Ghobakhloo, 2018: 920).

Bu robotlar, üretim sürecinin her aşamasında işçiler ile birlikte çalışarak üretim maliyetlerinin azalmasına katkı sağlayacaklardır (Stock ve Seliger, 2016: 539).

1.6.3. Simülasyon

Simülasyon; makineleri, ürünleri ve insanları içeren fiziksel dünyaya ait verilerin sanal bir modele yansıtılarak izlenmesini sağlayan modelleme tekniğidir (Bahrin vd., 2016: 139). Yani buradaki amaç, varsayımların sanal dünyada önceden gözlenip, uygulamadan önce gerekli hazırlıkların planlanabilmesidir (Çelen, 2017:10). Simülasyonla birlikte; operatörlerin, fiziksel değişiminden önce sanal dünyada bir sonraki ürün için makine ayarlarını test etmeleri ve optimize etmeleri sağlanır böylece makine hazırlık süreleri düşürülür ve kalite artırılır (Bahrin vd., 2016: 139).

Simülasyon ve modelleme teknikleri tasarım, test etme ve imalat sistemlerinin canlı çalışmasını, basitleştirmeyi ve ekonomik faydayı amaçlamaktadır (Kocian vd., 2012: 491). Akıllı fabrikalarda, makineleri, ürünleri ve insanları içerebilen sanal bir modelde fiziksel dünyayı yansıtmak için gerçek zamanlı verileri kullanmak adına simülasyon ve modelleme gerekli olacaktır (Rüßmann vd., 2015: 5).

Başarılı bir simülasyon; fiziksel sistemde yer alan verilerin dijital ortamda modellenmesi ile mümkün olmakla birlikte günümüzde imalat, sağlık ve eğitim gibi birçok alanda kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Çelen, 2017: 10)

1.6.4. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonları

Yatay entegrasyon, üretim süreçlerinin sektörler arası bağlantılarına işaret eder (Wolter vd., 2015: 13). Yatay entegrasyondaki ana fikir, tedarikçiden müşteriye tüm değer zinciri aktörlerinin birbirine bağlanmasıdır (Lichtblau vd., 2015: 39). Diğer taraftan dikey entegrasyon, kalite ve esnekliği artırmak amacıyla işletme içi mal ve veri akışını optimize etmeyi tanımlar (Wolter vd., 2015: 13). Yani; bir işletme içindeki satıştan ürün geliştirmeye ve planlamadan üretime, satış sonrası ve nihayetinde finansmana kadar entegrasyonu açıklar (Lichtblau vd., 2015: 39). Üretim sistemlerinin bu entegrasyonu kaliteyi, verimliliği ve esnekliği arttırmayı hedeflemektedir (Lichtblau vd., 2015: 39).

Yatay ve dikey entegrasyonun gerçekleştiği dördüncü sanayi devrimi ile birlikte, önemli bilgiler gerçek zamanlı olarak işlenebilir, değer zinciri boyunca tüm süreçler birbirine bağlanır ve iletişim kurulur (Wolter vd., 2015: 13; Dos Santos vd., 2018: 663). Özellikle kendi kendine organizasyon, Sanayi 4.0'ın hiyerarşik ve merkezi olarak planlanmış bir üretim yönetimine sahip olmayacağını gösterir ve bunun yerine; ürünün nasıl işleneceğini, neye ihtiyaç duyulduğunu ve

nerede taşınması gerektiğini bilir (Wolter vd., 2015: 13). Akıllı üretim sistemi, bağlantı, entegrasyon, şeffaflık, proaktiflik ve çeviklik, geleneksel otomasyondan tamamen bağlantılı bir sisteme geçişi hedeflemekte ve sabit bir veri akışı üzerinden gelişen esnek üretim sistemi sürekli değişen öğrenme ve uyum sağlama konusunda birbirine bağlı üretim sistemleri ve operasyonları talep etmektedir (Kang vd., 2016: 112).

1.6.5. Nesnelerin Interneti

Nesnelerin Interneti (IoT), uygulamaların ve hizmetlerin toplanan veriler tarafından yönlendirildiği bir ekosistemi ifade eder (OECD, 2017a: 19). Nesnelerin Interneti; dünyadaki cihazların, araçların, canlıların birbirine ya da başka sistemlere bağlanması ile oluşturdukları nesnelere ve sistemlere ağı olarak tanımlanabilir (Vaidya vd., 2018: 235). IoT, fiziksel sistemlerin entegrasyonunu mümkün kıldığı için; birçok teknoloji (sensörler, biyoçipler ve kullanılan RFID, Wi-Fi, GPS, Bluetooth) ile elde edilmiş verileri bilgiye dönüştürüp, bu verilerin hem birbirleriyle hem de insanlarla iletişim kurabildiği, aynı zamanda düşünen ve hatta karar alabilen akıllı nesnelere ortaya çıkarıp insanların hayatını kolaylaştıracak bir sistem meydana getirilmesidir (OECD, 2017c: 217).

Nesnelerin Interneti (IoT) ve Makineden Makineye Bağlantı (Machine to Machine: M2M) birbirine karıştırılan iki kavram olmakla birlikte, aralarındaki fark şu şekilde ifade edilebilmektedir: M2M'de; insan aracılığının olmadığı iki veya daha fazla makine arasında mobil veri iletimini sağlayan ve makinelerin birbirleriyle Internet veya SMS üzerinden interaktif iletişime geçtiği bir durum söz konusudur (OECD, 2017a: 19). IoT'de ise; binaların, makinelerin, taşıtların, fiziksel cihazların ve çeşitli elektronik veya mekanik donanım ile yazılım içeren nesnelerin veri toplama, işleme, iletişim ve ağ oluşturma yetenekleri ile donatıldığı bir ağ sistemi söz konusudur (Lu, 2017: 6). Nesnelerin Interneti ayrıca; ürünlerdeki, süreçlerdeki yenilikçiliği geliştirme potansiyeline sahip, hizmetler, pazarlar ve yaygın ekonomik ve sosyal zorlukların ele alınmasına yardımcı olmaktadır (OECD, 2017c: 246).

IoT, performans alanında da yeni olanaklar sunmaktadır. Örneğin, karayolu taşıma araçları otomatik olarak ana bilgisayarların özelliklerine göre kontrol edilebilecek, önceden tanımlanmış aralıklarla ve bir standartla çalışmaları sağlanacaktır (Witkowski, 2017: 767). Aynı zamanda IoT, kendi kendini yapılandırma özelliklerine sahip dinamik bir ağ altyapısıdır (Asdecker ve Felch, 2018: 841).

Bunun yanında Nesnelerin Interneti aynı zamanda lojistik süreç döngüsünü kısaltarak maliyetleri optimize ederek performanstaki artışı da beraberinde getirecektir (MUSİAD, 2017: 93; Bittencourt vd., 2019: 141).

1.6.6. Siber Güvenlik ve Siber Fiziksel Sistemler

Günümüzde sürekli olarak gelişim ve değişim içerisinde olan Internet ve bilgisayar teknolojileri kullanılmaya başlandığından beri işletmelerin başarısına katkıda bulunmakta ve ihtiyaç duyulan bilgiye daha kolay ve hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlamaktadır (Ludwig, 2016:19). Özellikle bilgisayar teknolojileri yardımıyla oluşturulan araç ve yöntemler, gerçek dünyadan farklı olarak siber alan meydana getirerek hem bireysel hem de toplumsal yaşamda önemli değişiklikler ve kolaylıklar sağlamaya başlamıştır (Gürkaynak ve İren, 2011: 264).

Siber güvenlik, siber hayatın gizliliğinin, bütünlüğünün ve erişilebilirliğinin yani güvenliğinin sağlanması amacıyla dijital sistemlerdeki veri ve hizmetlerin; bilgisayar sistemlerine, donanımlarına ve yazılımlarına verilecek zararlardan korunması ve bu veri/hizmetlerin kötüye kullanımına karşı korunması amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlerin tümü olarak tanımlanmaktadır (Kagermann vd., 2013: 47). Sanayi 4.0 ile birlikte artan iletişim teknolojileri ile kritik verilere sadece yetkili kişilerin ulaşabilmesi gerekmektedir. Bunun yanında, endüstriyel sistemleri ve üretim hatlarını siber güvenlik tehditlerinden korumak zorunluluk haline gelmiştir (Vaidya vd., 2018: 236). Bunun yanında siber güvenlikle birlikte, işletme içinden veya dışından gelebilecek her türlü siber tehditler veya saldırılarla mücadele edilebilecek, sistem yöneticileri, kullanıcılar veya üreticilerden kaynaklanan hatalar, erişim kısıtlamaları ve güvenlik riskleri en aza indirilebilecektir (Kagermann vd., 2013: 47). İşletmelerdeki cihazlara girilen bilgilerin güvenilir kaynaklardan elde edilmesi ve kurulan iletişimin herhangi bir risk taşımaması amacıyla her türlü önlemin alınması gerekmektedir (Rüßmann vd., 2015: 6). İşletmelerin birçoğu hala birbirine bağlı olmayan üretim ve yönetim sistemleri kullanırken, fiziksel, hizmet ve dijital dünyanın güçlü bağlantısı, üretim sistemlerinin planlanması, optimizasyonu ve çalışması için gerekli olan bilginin kalitesi siber güvenlik tehditlerine karşı koruma amacıyla güvenli iletişim önem kazanacaktır (Landherr vd., 2016: 27)

Dördüncü sanayi devriminin önemli bir bileşeni olarak kabul edilen Siber Fiziksel Sistemler ise, makinelerin akıllı ve esnek yazılımlarla kontrol edilmesini ve otomatik hale gelmesini sağlamaktadır (Ludwig vd., 2016: 15). Siber Fiziksel Sistemlerde, daha önceden programlanan sistemler Makineden Makineye Bağlantı (Machine to Machine: M2M) sağlayarak hiç bir müdahale gerektirmeden çalışabilmektedir (Oesterreich ve Teuteberg, 2016: 129). Dolayısıyla, sistemin başlangıcında yapılacak bir programlamayla, sistemin tüm süreci hiçbir müdahale veya ek olarak bir çaba gerektirmez otomatik olarak kendi kendine gerçekleştirebilmektedir. Bu süreçte ilk olarak otomasyon devreye girecek ve öğrenen robotların da içinde olduğu birçok makine üretim sürecine dahil olacaktır (Stock ve Seliger, 2017: 537). Öğrenen robotların ve araçların özellikle otomobil sektöründe yer aldığı bilinmektedir (Ludwig, 2016: 15).

1.6.7. Bulut Sistemler

Bulut Bilişim, yazılımların, uygulamaların, bilgisayarların ve diğer tüm cihazların istenildiği zaman kullanılabilirdiği; veri işleme, depolama gibi yüksek işlem gücüne sahip Internet tabanlı entegre bir platform sağlar (Ludwig, 2016: 16). Şöyle ki, Internet üzerinden, yazılıma erişmek için bilişim kaynakları kümesi olarak kullanılan BİT hizmetleri anlamına gelir (OECD, 2017c: 165).

Dördüncü sanayi devrimiyle işletmelerin artan veri paylaşımına ihtiyaçları vardır (Vaidya vd., 2018: 236). Bununla birlikte işletmeler çevikliğini arttırmak için de bulut bilişimi benimsemekte ve BİT yatırım maliyetlerini azaltmaları gerekmektedir (OECD, 2017b: 82). İşletmeler açısından ise başlıca ilgi konusu, işletmelerin bulut çözümleri kullanıp kullanmadıkları ve hangi amaçla kullandıklarıdır (Lichtblau vd., 2015: 43). Bulut çözümleri terimi, bulut depolama (veri depolama), bulut bilgi işlem (veri analitiği) ve bulut tabanlı yazılımı içerir (Lichtblau vd., 2015: 43). İşletmeler genellikle bilgi işlem ve depolama kapasitelerini dışa aktarmak ve bulut yazılımlarını daha verimli kullanmak için bulut çözümleri kullanır (Lichtblau vd., 2015: 43). Bulut tabanlı yazılımların kullanımı, lisanslama modellerinde bir değişiklikten daha fazlası olmamakla birlikte; kullanıcı açısından bakıldığında, tek fark, birkaç yeni fonksiyonelliğin eklenmesidir. Veri analitiği için bulut bilişim, işletmelere ilk önce keşfedilmesi gereken tamamen yeni faaliyet alanlarına erişim sağlar. Muazzam bilgi işlem kapasitelerine esnek erişim, birinin yerel BT altyapısının yükseltilmesiyle ilgili yüksek masraflar olmadan karmaşık simülasyonlar sağlar (Lichtblau vd., 2015: 44). Bulut bilgi işlem ise, bulut ve veri depolama, veri analitiği ve yazılım gibi BT hizmetleri biçiminde BT altyapısının sağlanmasını ifade eder. Bu, kullanıcıları kendi işletmelerinde maliyetli sunucu çözümleri satın alma ve kurma konusunda sorunlardan kurtarır (Lichtblau vd., 2015: 66).

1.6.8. Eklemeli İmalat

Yaygın kullanımı 3D Baskı olan eklemeli imalat (Additive Manufacturing), endüstriyel imalat yöntemlerini geleneksel teknolojilerden farklı bir hale getirmekle beraber, imalat endüstrisinde devrim yaratma potansiyeline sahip bir teknolojidir. (Roschli vd., 2019: 275). Eklemeli imalat; tasarlanmış bir elektronik nesneyi/veriyi, herhangi bir araç gereç ihtiyacı duymadan dijital bir dosya kullanarak birçok farklı teknolojiyi ve işlemi bir araya getirerek malzeme katmanlarını ard arda ekleyerek üç boyutlu fiziksel parça üretimi yapmaktır (OECD, 2017b: 172). Diğer üretim biçimlerinde olduğu gibi, 3D baskı büyük miktarda parça üretmenin bir yoludur ve ürünlerin sadece bir kısmı 3D baskı yapılabilen birçok parçanın montajıdır (OECD, 2017b: 172).

Sanayi 4.0 ile eklemeli imalat yöntemleri, özelleştirilmiş ve küçük gruplar halinde ürünler üretmek için yaygın olarak kullanılacaktır (Vaidya vd., 2018: 236). Karmaşık, hafif tasarımlar gibi

yapı avantajları sunan ürünler yüksek performanslı, merkezi olmayan eklemeli üretim sistemleri, nakliye masrafları ve stok maliyetlerini azaltmakta hammaddede ortaya çıkan israfi engellemekte, maliyetleri düşürmekte, hatasız bir üretim yapılmasını ve daha az sayıda işçiye ihtiyaç duymayı ortaya çıkarmaktadır (Genç, 2018: 30). Bunun yanında eklemeli imalat, yeni ve geliştirilmiş ürünleri mümkün kılmak için yeni malzeme formları oluşturma potansiyeline sahiptir ve parça imalatı boyunca sistemin belirli ihtiyaçları açısından performansı optimize edecek şekilde değişen konuma özgü özelliklerin gerçekleştirilmesini kolaylaştırır (OECD, 2017b: 226).

Havacılık işletmeleri, bazı hammaddeler için yaptıkları harcamaları ve taşıtlarının ağırlığını azaltabilmek adına yeni tasarımlar oluştururken eklemeli imalat yöntemlerinden yararlanmaktadırlar (TUSİAD, 2016: 29).

1.6.9. Artırılmış Gerçeklik

Son yıllarda bilişim teknolojileri alanında akıllı fabrikaların gelişmesiyle dikkat çekmekte olan kavramlardan biri de artırılmış gerçekliktir. Artırılmış gerçeklik, bilgisayar aracılığıyla üretilip, duysal girdi ile artırılarak canlandırılan ses, grafik, metin, video ve resim gibi verilerin (bilgilerin) gerçek dünya görüntülerine eklenebilmesiyle nesnelerin aynı ortamda birlikte algılanmasını sağlayan ve canlı görüntünün bir parçası olduğu hissini verdiren teknolojidir (İçten ve Bal, 2017: 402). Artırılmış Gerçeklik, bilgisayar yazılım ve donanımlarının sürekli gelişmesiyle gerçek zamanlı işlemleri tamamlamada, izlemede ve planlamada, arıza tespitinde ve arızaların tamiratında, endüstriyel ürün ve süreçlere bağlı eğitimde kullanılabilir (Ghobakhloo, 2018: 920).

Artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik kavramları birbiriyle karıştırılabilen kavramlardır. Sanal gerçeklik, insanların keşfedebildiği ve etkileşime girebildiği üç boyutlu bilgisayar teknolojileri ile oluşturulmuş, kullanıcıları tamamen dijital bir ortama sürükleyen ve buradayken dünya ile ilişkisinin yok olduğu bir ortam olarak tanımlanabilir (Mourtzis vd., 2018: 208). Artırılmış gerçeklik ise insanların gerçek dünya ile bağlantısını sürdüren, üç boyutlu veri ve teknolojilerin gerçek dünya görüntülerine eklenebilmesinin mümkün olduğu, gerçek ve sanal nesnelerin aynı ortamda algılanmasını sağlayan ileri seviye bir teknolojidir (İçten ve Bal, 2017: 402). Artırılmış ve sanal gerçeklik teknolojilerinin yükselişi ve imalat sektörüne desteğine kademeli entegrasyonları, tasarımcıların etkileşime girebileceği dijital bir ortam sunar (Mourtzis vd., 2018: 208). Artırılmış Gerçeklik kullanımıyla, tüm üretim hattını kesmeden yeni operatörler için eğitimler gibi maliyetlerden tasarruf etmek için birçok süreç basitleştirilebilir (Ludwig, 2016: 18). Artırılmış gerçeklik temelli uygulamalar, çalışanların karar verme ve çalışma prosedürlerini geliştirmek için gerçek zamanlı bilgiler sağlayabilir (OECD, 2017b: 95). Örneğin, onarım talimatları, artırılmış gerçeklik gözlüklerinden yararlanılarak doğrudan işçilerin görüş alanında gösterilebilir (Rüßmann vd., 2015: 7).

1.7. Sanayi 4.0 Olgunluk Modelleri

Olgunluk; tamamlama, eksiksiz ve hazır hale gelme durumu olarak tanımlanmaktadır (Dos Santos vd., 2018: 662). Olgunluk modelleri, şirketlerin göstergelerini ve süreçlerini analiz etmek ve daha sonra iyileştirmek için rehberlik sağlar (Oleśków-Szlapka ve Stachowiak, 2019: 775). Ayrıca çeşitli becerilerin kazanılması veya başlangıç seviyesinden arzu edilen seviyeye ulaşma hedefinin gerçekleşmesi için de ilerlemeyi ifade eder (Lahrmann vd., 2011: 177).

Olgunluk modelleri yöneticilere rekabet avantajı yakalamak, yeni ürünler/hizmetler, maliyetler ve piyasa sürelerini kısaltmak, kaliteyi artırmak gibi avantajlar sağlamaktadır (Mettler vd., 2010: 334). Ayrıca bu modeller işletmelerin daha iyi konumlandırılmasına ve daha iyi çözümler bulmalarına da yardımcı olurken (Becker ve Knackstedt, 2009: 213), bir işletmenin süreç iyileştirme ve iş modellerini geliştirmeye yönelik performanslarını zenginleştirmeye yönelik bir yaklaşım da sunmaktadır (Röglinger vd., 2012: 2; Oleśków-Szlapka ve Stachowiak, 2019: 771). Bunun yanında olgunluk modelleri birçok farklı zorluklara yanıt vermek için kullanılmakta, sorunları ve zorlukları yapılandırılmış bir şekilde ele alması için bilgi sağlamaktadır (Caralli vd., 2012: 3).

Sonuç olarak, olgunluk modelleri örgütsel mükemmelliği arttırmakta ve işletmelerin artan pazar dinamiklerini ele almalarına yardımcı olmaktadır (Asdecker ve Felch, 2018: 841).

Schumacher ve diğerleri (2016) hazırlık ve olgunluk değerlendirmesi arasındaki farkı şu şekilde dile getirmiştir: Hazırlık değerlendirmesi, olgunlaşma sürecine girmeden önce gerçekleşmekte ve işletmelerin hazır olup olmadığını göstermektedir. Olgunluk değerlendirmesi ise; analiz edilen süreçle ilgili olarak mevcut durumu yakalamayı yani düzey ölçmeyi sağlamaktadır. Çeşitli kaynaklarda (Brozzi vd., 2018: 569; Unterhofer vd., 2018: 722; Pacchini vd., 2019: 1) olgunluk ve hazırlık değerlendirmesi kavramlarının eş anlamlı olarak kullanıldığı da görülmüştür.

1.7.1. Olgunluk Modelleri Çeşitleri

İşletmelerin olgunluk modeli kullanmayı tercih etmelerinin ana sebebi; kullanılan yeni bir iş modeli veya geliştirilen yeni bir yazılım gibi bir işletmenin kusursuzluk seviyesini tanımlamaktır (Gökalp ve Sener, 2017: 129). Olgunluk modellerinin altında yatan varsayım, olgunluk derecesi arttıkça, varlığın olgunlaşmasına katkıda bulunan farklı açılardan iyi ilerleme kaydedilmesidir (Gökalp ve Sener, 2017: 129). Bunların yanında; Sanayi 4.0 değer zincirinin tüm katılımcıları arasında yatay entegrasyon sağlarken, otomasyon seviyelerine ilişkin olarak da dikey entegrasyon sağlamaktadır (Bittencourt vd., 2019: 135). Tüm bu özelliklere dayanarak dördüncü sanayi devrimine geçişte işletmelere yardımcı olacak çeşitli olgunluk modelleri geliştirilmiş olup bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

1.7.1.1. Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli

Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli (The Connected Enterprise Maturity Model) Rockwell Otomasyon işletmesi tarafından 2014 yılında kaleme alınmış ve temel olarak işletmelerin Sanayi 4.0 için teknolojik hazır bulunurluk yönünü inceleyen bir olgunluk modelidir (https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/cie-wp002_-en-p.pdf). Dört farklı boyutta Sanayi 4.0'a ulaşmaya yardımcı olabilecek teknolojiler belirlenmiştir. Bunlar; donanım ve yazılım da dahil olmak üzere *bilgi altyapısı, kontroller ve sensörler, aktüatörler, motor kontrolleri* gibi cihazlar ile *veriyi besleyen alanlar*, tüm bilgilerin değişimini kolaylaştıran *ağlar ve güvenlik politikaları* şeklindedir (Mittal vd., 2018a: 202). Bunun yanında modelde beş olgunluk seviyesi söz konusudur. Bunlar sırasıyla; Seviye 1: Değerlendirme, Seviye 2: Ağ kontrollerinin güvenliğinin sağlanması ve yükseltilmesi, Seviye 3: Tanımlanmış ve düzenlenmiş veri sermayesi, Seviye 4: Analitik ve seviye 5: İşbirliği'dir.

1.7.1.2. IMPULS Sanayi 4.0 Hazırlık Modeli

2015 yılında geliştirilmiş olan IMPULS Sanayi 4.0 Hazırlık çalışması, IMPULS Vakfı tarafından Alman Makine Mühendisleri Endüstri Birliği uzmanları ve bazı sektör temsilcileri tarafından kaleme alınmıştır (Lichtblau vd., 2015: 3). Model, genellikle imalat firmalarının Sanayi 4.0'a ne ölçüde hazır olduğunu ve hangi seviyede olduklarını görmeleri amacıyla anket kullanılarak ölçüm yapmayı amaçlamaktadır (Lichtblau vd., 2015: 10). Çalışma, 6 kriter 18 alt kriter ve 6 seviyeden oluşmaktadır (Lichtblau vd., 2015: 21). Strateji ve organizasyon ana kriteri altında; strateji, yatırımlar, inovasyon yönetimi alt kriterleri yer alırken, akıllı fabrika ana kriteri altında; dijital modelleme, ekipman altyapısı, bilgi kullanımı, BT sistemleri alt kriterleri, akıllı işlemler ana kriteri altında; bulut kullanımı, BT güvenliği, otonom süreçler, bilgi paylaşımı alt kriterleri, akıllı ürünler ana kriteri altında; veri kullanımı ve BİT hizmet işlevsellikleri alt kriterleri, veri odaklı hizmetler ana kriterleri altında; veri odaklı hizmetler, gelirlerin payı, kullanılan verilerin seviyesi alt kriterleri ve son olarak da çalışanlar ana kriteri altında; beceri edinme ve çalışan beceri setleri alt kriterleri yer almaktadır (Lichtblau vd., 2015: 22). Olgunluk seviyeleri ise; Seviye 0: Yabancı, Seviye 1: Yeni Başlayan, Seviye 2: Orta Seviye, Seviye 3: Deneyimli, Seviye 4: Uzman, Seviye 5: En iyi performansı göstermektedir (Lichtblau vd., 2015: 23). Tablo 2'de IMPULS kriterleri ve açıklamaları yer almaktadır.

Tablo 2: IMPULS Modelinde Sanayi 4.0 Kriterleri ve Açıklamaları

Kriterler	Açıklamaları
Strateji ve Organizasyon	İşletmelerin dijital dönüşümünün gerçekleşmesi öncelikle strateji ve organizasyon yapılarına bağlıdır. Bu açıdan gerçekleştirilmesi planlanan yatırım faaliyetleri, teknoloji ve inovasyonlar hakkında alınacak kararlar için işletmelerin Sanayi 4.0 stratejisi geliştirmeleri gerekmektedir. Bununla birlikte, söz konusu işletmelerin organizasyon yapıları da bu stratejiyle uyumlu olmalıdır.
Akıllı Fabrika	Akıllı fabrika, üretim ve lojistik sistemlerinin doğrudan BT sistemleriyle ve akıllı ürünlerle iletişim kurdukları, insan müdahalesi olmadan kendi kendini ayarlayabilen siber fiziksel sistemlere dayalı bir üretim kavramıdır. Akıllı fabrika kapsamında ekipman altyapısı, bilgi kullanımı ile dijital modelleme faaliyetleri ve bilgi teknolojileri sistemleri Sanayi 4.0 ile ilişkilendirilmiştir.
Akıllı İşlemler	Bir tesis içindeki tüm bileşenlerin ve sistemlerin entegrasyonu, Sanayi 4.0 dönüşümünün gerçekleştirilmesinde, değer zincirinin yatay ve dikey entegrasyonunun temel bir bileşendir. Bununla birlikte, akıllı işlemler kapsamında; bilgi paylaşımı ve bulut kullanımı faaliyetleri, bilgi teknolojilerinin güvenliği ile kullandıkları kendi kendine karar verebilen otonom süreçler değerlendirilmektedir.
Akıllı Ürünler	Akıllı ürünler akıllı fabrika ve akıllı işlemlerin temelidir. Akıllı fabrikanın birçok özelliği ve veri odaklı hizmetlerin potansiyel faydaları, belirli ürünler hakkında kapsamlı bilgilerin olup olmadığına dayanmaktadır. Akıllı ürünler kapsamında sipariş durumunun izlenmesi, ürünlerin optimize edilmesi, kendi kendini raporlama, entegrasyon, lokasyon belirleme, kimlik tespiti gibi fonksiyonlar değerlendirilirken kullanımda da çeşitli hizmet işlevsellikleri sunulabilir.
Veri Odaklı Hizmetler	İşletmelerin geleneksel iş modellerinden farklı olarak hem dijitalleşmesi hem de veri toplama ve analizinden kaynaklanan yeni iş modelleri aracılığıyla üretilen ürünler için satış sonrası geniş kapsamlı hizmetler sunulması anlayışına dayanmaktadır. Başta akıllı ürünler olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilecek veriler ürünlerin geliştirilmesine ve bu ürünlere ilişkin ek hizmetler sunulmasına imkan sağlamaktadır.
Çalışanlar	İşletmelerin dijital dönüşümlerini gerçekleştirmelerinde, yeni beceriler ve nitelikler kazanmaları açısından en önemli faktörlerden biri de çalışanlardır. Çalışanlara uygun ve sürekli eğitim verilerek değişime kolayca ayak uydurmaları sağlanmaktadır.

Kaynak: Lichtblau vd., 2015'den derlenmiştir.

Modelden elde edilen sonuçlar; Sanayi 4.0'ın güçlü kurumsal strateji ve kaliteli personel gerektirdiğini, veri odaklı hizmetler ve akıllı ürünlerin yeni iş modellerine imkan sağlaması şeklinde ifade edilebilir (Lichtblau vd., 2015).

Olgunluk oranını tanımladıktan sonra, teknoloji, çevre ve firma bağlamında hazır bulunuşluğun artırılması için bir eylem planı sunulur (Gökçalp ve Sener, 2017: 134). Firmanın olgunluk seviyesi, rakip kuruluşların olgunluk seviyesinden de etkilenir fakat; bu modelin değerlendirme yönteminin tanımına göre, yalnızca aynı pazardaki başka bir kuruluş araştırmayı gerçekleştirdiğinde tanımlanır, aksi halde göz ardı edilir (Gökçalp ve Sener, 2017: 134).

1.7.1.3. Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli

Price Waterhouse Coopers isimli danışmanlık işletmesi tarafından 2016 yılında yapılmış bir çalışma olup işletmelerin Sanayi 4.0 için dijital hazırlığa odaklanmıştır. Model; dijital acemi, dikey entegrasyon, yatay entegrasyon ve dijital şampiyon aşamalarından oluşmakta ve ayrıca yedi boyut içermektedir (Geissbauer vd., 2016: 28). Bunlar: dijital iş modelleri ve müşteri erişimi, ürün ve hizmet sunumlarının dijitalleştirilmesi, dijitalleşme, değer zinciri ve süreçler, temel veri analizi yeteneği, çevik BT mimarisi, uyumluluk, güvenlik, yasallık ve vergi, son olarak da işletme, çalışanlar ve dijital kültür şeklindedir. Çalışmada işletmelerin dijital başarı sağlamaları adına altı

basamak belirtilmiştir; Sanayi 4.0 stratejinizi haritalamak, pilot projeler oluşturmak, ihtiyacınız olan yetenekleri tanımlamak, veri analizinde usta (becerikli) olmak, dijital bir işletmeye dönüştürmek ve firma-çevre uyumunun aktif olarak planlanmasıdır (Geissbauer vd., 2016: 26). Çalışma 26 farklı ülkeden 2.000’den fazla katılımcıyla gerçekleştirilmiş ve dokuz büyük sanayi sektörüne uygulanmıştır (Geissbauer vd., 2016: 3). Tablo 3’de söz konusu modelin geniş bir özeti sunulmaktadır:

Tablo 3: Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli

	Dijital Acemi	Dikey Entegrasyon	Yatay Entegrasyon	Dijital Şampiyon
Dijital İş Modelleri ve Müşteri Erişimi	İlk dijital çözümler ve izole uygulamalar	Dijital ürün ve servis yazılım portföyü, ağ (M2M) ve verinin farklı etmen olması	Tedarik zinciri sınırlarını aşan entegre müşteri çözümleri, dış ortaklar ile ortak çalışma	Yenilikçi ürünler ve servis portföyü ile yeni iş modellerinin geliştirilmesi
Ürün ve Hizmet Sunumlarının Dijitalleştirilmesi	Çevrimdışı kanallardan ayrılmış bir çevrimiçi varlık, müşteri yerine ürün odaklı	Çevrimiçi ve çevrimdışı kanalların entegre kullanılmasıyla çok kanallı dağıtım; kurulmuş veri analitiği	Müşteriye bireysel yaklaşım ve etkileşim değer zinciri ortakları arasında etkileşim	Müşteri ile ilişki kurarak ve CRM aracılığıyla tüm dijitalde yönetim pazarlama ve satış kanallarında entegre müşteri yolculuğu yönetimi
Dijitalleştirme, Değer Zinciri ve Süreçler	Dijitalleştirilmiş ve otomatikleştirilmiş alt süreçler	Dikey entegrasyon ve işletme içindeki süreç ve veri akışının birleştirilmesi	Süreçler ve veri akışının müşteriler ve dış ortaklar ile yatay entegrasyonu	Kendi kendini optimize eden, dijitalleşmiş süreçler, tamamen ortak entegre ortak ekosistemi
Temel Veri Analizi Yeteneği	Analitik yetenekler temel olarak yarı manuel veri özetlerine dayanır; Seçilmiş izleme ve veri işleme, etkinlik yönetimi yok	Merkezi iş zekası (BI) sistemi tarafından desteklenen analitik yetenekler standartlaştırılmış karar destek sistemleri	İlgili tüm dahili ve harici bilgi kaynaklarını birleştiren merkezi iş zekası sistemi, bazı tahmine dayalı analitik Özel karar desteği ve etkinlik yönetimi sistemleri	Tahmini analizlerin gerçek zamanlı olarak merkezi kullanımı Etki analizi ve karar desteği sağlayan akıllı veritabanı ve kendi kendine öğrenme algoritmasıyla optimizasyon ve otomatik olay yönetimi
Çevik BT Mimarisi	Parçalara ayrılmış bir BT mimarisi	BT mimarisi	İşbirliği yaparak benzer BT mimarisi	İşbirliği ile hizmet yolları, güvenli veri değişimleri
Uyumluluk, Güvenlik, Yasallık ve Vergi	Dijitalleştirilmenin olmadığı geleneksel yapılar	Kapsamlı bir şekilde belirlenmemiş farkedilmiş dijital zorluklar	İşbirliği yapan ortaklar ile yasal risklerin istikrarlı bir şekilde belirlenmesi	Yasal uyumluluk, güvenlik ve vergi için optimize edilmiş değer zinciri ağı
İşletme, Çalışanlar ve Dijital Kültür	İşlevsel odağın olması	Henüz yapılandırılmamış ve uyumlu bir şekilde yürütülmeyen fonksiyonlar arası işbirliği	İşletme sınırlarını aşan işbirlikleri, paylaşımın teşvik edilmesi ve kültür haline gelmesi	Temel değer yaratan etkenin işbirliği olması

Kaynak: Geissbauer vd., 2016: 28

1.7.1.4. İmalat Firmaları için Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli

Schumacher ve diğerleri (2016) tarafından geliştirilmiş olan modelde; imalat firmalarının Sanayi 4.0 teknolojilerini benimsemeye hazır olma düzeyini hesaplamak için kullanılacak bir olgunluk endeksi önerilmektedir. Söz konusu endeks 9 kriter, 62 alt kritere dayanmaktadır. Kriterler; strateji, liderlik, müşteriler, ürünler, işlemler, kültür, insanlar, yönetim ve teknoloji olarak belirlenmiştir (Schumacher vd., 2016: 164). Değerlendirme, her bir kriterin Likert ölçeği kullanılarak derecelendirilmesine dayanır (Schumacher vd., 2016: 164). Modelin uygulanması kolaydır fakat sadece olgunluk seviyesini dikkate alan genel bir puanlamayı gösterdiğinden, değerlendirilen işletmelerin zayıf yanlarının üstesinden gelmek için bir eylem planı geliştirmeyi önermez (Gökalp ve Sener, 2017: 134). Tablo 4’de söz konusu modelin kriterleri ve örnek olgunluk kalemleri gösterilmektedir.

Tablo 4: İmalat Firmalarının Olgunluk Kriterleri ve Örnek Olgunluk Kalemleri

Olgunluk Kriterleri	Örnek Olgunluk Kalemleri
Strateji	Sanayi 4.0 yol haritasının uygulanması Dijitalleştirme ve akıllı otomasyon İş modellerinin adaptasyonu
Liderlik	Liderlerin Sanayi 4.0’ı benimseme istekliliği Dijital yeteneklerin ve yöntemlerin yönetimi Sanayi 4.0 için merkezi bir koordinasyonun varlığı stratejisi
Müşteriler	Müşteri verilerinin kullanılması Satış ve hizmetlerin dijitalleştirilmesi Müşterilerin dijital medya uzmanlığı
Ürünler	Ürünlerin kişiselleştirilmesi Ürünlerin dijitalleştirilmesi Diğer sistemlere ürün entegrasyonu
İşlemler	Süreçlerin ademi merkezileşmesi Modelleme ve simülasyon Bölümler arası işbirliği
Kültür	Bilgi paylaşımı Açık inovasyon ve işletmeler arası işbirliği BİT’in değeri
İnsanlar	Çalışanların BİT yetkinlikleri Çalışanların yeni teknolojilere açıklığı Çalışanların özerkliği
Yönetişim	Sanayi 4.0 için çalışma yönetmeliği Teknolojik standartların uygunluğu Fikri mülkiyetin korunması
Teknoloji	Modern BİT’in varlığı Mobil cihazların kullanılması M2M’den yararlanma

Kaynak: Mittal vd., 2018a: 199.

1.7.1.5. SIMMI 4.0 Olgunluk Modeli

SIMMI 4.0 (System Integration Maturity Model Industry 4.0: Sistem Entegrasyon Olgunluk Modeli Endüstrisi 4.0), bilgi teknolojilerini Sanayi 4.0 ile sınıflandırmak amacıyla geliştirilmiş olup beş aşama ve dört boyuttan oluşmaktadır. Aşamalar sırasıyla; temel dijitalleştirme, bölümlerarası dijitalleştirme, yatay ve dikey dijitalleştirme, tam dijitalleştirme ve optimize edilmiş tam dijitalleştirme (Leyh vd., 2016: 1298). Ayrıca, SIMMI 4.0'ın, dikey entegrasyon, yatay entegrasyon, dijital ürün geliştirme ve kesitsel teknoloji kriterleri olmak üzere dört boyutu ele alan bir öneri olduğu belirtilmektedir (Leyh vd., 2016: 1299). Modelin dezavantajı; Sanayi 4.0 olgunluğunun sadece bilgi teknolojileri alanına odaklanması ve bunun yanında işletme vizyonu, çalışanlar, rakipler, piyasa yapısı gibi yönlerini olgunluk değerlendirmesinde dikkate almamasıdır (Gökalp ve Sener, 2017: 7). Tablo 5'de SIMMI 4.0 ve açıklamaları gösterilmektedir.

Tablo 5: SIMMI 4.0 ve Açıklamaları

Olgunluk stratejisi	Açıklaması
1. Temel Dijitalleştirme	İşletme, Sanayi 4.0'a değinmez, teslimat süreci dijitalleştirilmez, sürekli veri mevcudiyeti temin edilemez, mevcut kurumsal BT sistemi sadece uygulama alanını destekler. Sonuç olarak, işlem boyunca birkaç veri adası bulunabilir.
2. Bölümlerarası Dijitalleştirme	İşletme, teslimat sürecine katkıda bulunan bölümlerde Sanayi 4.0 sorunlarını ele almaya başlar (lojistik, depolama ve müşteri hizmetleri), veriler tamamen tek bir kurumsal sisteme entegre edilmiştir. Farklı bölümler arasında bilgi alışverişi yapılabilir. Ancak, veri alışverişi otomatik değildir. İşletme, hizmet odaklı mimari prensiplerini takip etmeye başlar ve bilgi sistemleri arasında doğrudan bağlantı sağlanır.
3. Yatay ve Dikey Dijitalleştirme	Örgütsel sınırlar içerisinde teslimat süreci dijitalleştirilir, işletme içinde Sanayi 4.0 gereklilikleri uygulanır; veri akışları, bilgilerin sonraki veya önceki işlem adımları otomatikleştirilmiştir, veri alışverişi bulut ilkelerini izler, hizmetler işletme genelinde mevcuttur ve çalışanlar mobil cihazlar aracılığıyla her bilgiye erişebilir, nesnelere (ürünler, gönderiler) aktif olarak depolanmıştır.
4. Tam Dijitalleştirme	Teslimat sürecinin dijitalleştirilmesi kurumsal sınırların ötesinde gerçekleştirilir. Sanayi 4.0 ilkelerini aktif olarak tüm iş ortakları takip eder; dijitalleştirilmiş işletme, uçtan uca çözümler geliştirmek için müşteriler ve dış servis sağlayıcılarla işbirliği yapar, mevcut sipariş ve teslimat bilgileri müşteriler ve servis sağlayıcılar ile otomatik olarak paylaşılır. Hizmet odaklı ve bulut tabanlı platform, tedarik zinciri genelinde mevcuttur. Güvenli veri erişimini sağlamak için de uygun şifreleme ve doğrulama teknikleri mevcuttur.
5. Optimize Edilmiş Tam Dijitalleştirme	İşletmeler arası teslimat sürecinin tam dijitalleştirilmesi, müşteriler ve dış hizmet sağlayıcılarla güçlü işbirliğinin yanı sıra, otonom hareket eden kendini ayarlama ve kendi kendine optimizasyon yeteneklerini geliştirmenin temelidir. Mevcut veriler, işbirlikçi arıza teşhisinde ve karar vermede kullanılacak olan teslimat sürecinin gerçek zamanlı simülasyonuna izin verir. Yapay zeka ve kendi kendine öğrenme yetenekleri bilgi sistemlerine entegre edilmiştir.

Kaynak: Leyh vd., 2016: 1299; Asdecker ve Felch, 2018: 848.

1.7.1.6. ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi

ACATECH (National Academy of Science and Engineering: Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi) tarafından desteklenen model işletmelerin dijital dönüşümünü yönetmeyi

amaçlamaktadır (Schuh vd., 2017: 14). Model; bilgisayarlaştırma, bağlanabilirlik, görülebilirlik, şeffaflık, tahmini kapasite ve uyum yeteneği şeklindeki altı geliştirme stratejisini kapsamaktadır (Schuh vd., 2017: 15). Söz konusu stratejiler ve açıklamaları aşağıdaki tabloda yer almaktadır:

Tablo 6: ACATECH Sanayi 4.0 Geliştirme Stratejileri

Geliştirme Stratejisi	Açıklaması
Bilgisayarlaştırma	Geliştirme yolundaki ilk aşama bilgisayarlaşmadır, çünkü bu strateji dijitalleşmeye temel oluşturur. Bu aşamada, farklı bilişim teknolojilerinin üretim süreçlerine optimize edilmesi ile firma içinde birbirlerinden ayrı olarak kullanılması ve ayrıca, makinelerin ürettiği her türlü verilerin toplanması bu sürecin ana unsurunu oluşturmaktadır. Bilgisayarlaşma ile daha ucuz ve daha yüksek standartlarda üretim yapabilmektedir.
Bağlanabilirlik	Bağlanabilirlik aşamasında, bilgi teknolojisinin dağıtımı, bağlı bileşenlerle değiştirilir. Yaygın olarak kullanılan iş uygulamalarının tümü birbirine bağlıdır ve firmanın temel iş süreçlerini yansıtır. Operasyonel teknoloji (OT) sistemlerinin bazı kısımları bağlantı ve birlikte çalışabilirlik sağlar, ancak BT ve OT katmanlarının tam entegrasyonu henüz gerçekleşmemiştir. Bilgisayarları İnternete bağlama ve yapılandırma ile ilgili olan bağlantı geliştirme stratejisi ile veri işleme sistemlerini temel alıp iş süreçlerini desteklemeye yardımcı olur.
Görülebilirlik	Sensörler, işlemlerin baştan sona çok sayıda veri noktasıyla yakalanmasını sağlar. Düşen sensör, mikroçip ve ağ teknolojisi fiyatları, olayların ve durumların, eskiden olduğu gibi, üretim hücreleri gibi bireysel alanlarda değil, tüm firma boyunca ve ötesinde gerçek zamanlı olarak kaydedilemeyeceği anlamına gelmektedir. Bu, her zaman fabrikaların dijital bir modelini güncel tutmayı mümkün kılar. Bu aşamayı, firmanın dijital gölgesi olarak adlandırıyoruz. Dijital gölge, herhangi bir anda firmada neler olduğunu göstermeye yardımcı olabilir, böylece yönetim kararları gerçek verilere dayanabilir.
Şeffaflık	Üçüncü basamakta elde edilen görülebilirlik stratejisinin yorumlama ile birleştirilmesi ile oluşan strateji şeffaflık olarak ifade edilir. Mevcut elde edilen verilerin ve bu verilerde oluşan hataların neden kaynaklandığının araştırıldığı ve mühendislik yaklaşımı ile yorumlandığı stratejidir. Örneğin, şeffaflık ile makine ve ekipman durum izlemesi gerçekleştirilebilir. Kaydedilen parametreler, karşılıklı olaylar ve daha sonra makine veya ekipmanın durumunu yansıtan karmaşık olaylar üretmek üzere toplanan bağımlılıklar için aranır. Bunun yanı sıra, şeffaflık, tahmini kapasite için bir gerekliliktir.
Tahmini kapasite	Bu aşamaya geldiğinde, firma gelecekteki farklı senaryoları simüle edebilir ve en muhtemel olanları belirleyebilir. Bu, daha sonra oluşma ihtimalleri açısından değerlendirilebilecek çeşitli senaryoları göstermek için dijital gölgenin geleceğe yansıtılmasını içerir. Sonuç olarak, firmalar gelecekteki gelişmeleri önceden tahmin edip karar verebilirler ve uygun önlemleri zamanında alabilirler.
Uyum yeteneği	Uyum sağlama hedefi, bir firma mümkün olan en kısa sürede en iyi sonuçların ortaya çıkacağı kararları alması ve olası zor durumlarla mücadele edebilmek adına bir takım önlemler alması, yani insan yardımı olmadan, dijital gölgedeki verileri kullanabildiği zaman başarılı demektir.

Kaynak: Schuh vd., 2017'den derlenmiştir.

Ayrıca model, dört boyutlu dijital plan içermektedir. Bunlar; kaynaklar, bilgi sistemleri, organizasyon yapısı ve örgüt kültürüdür (Schuh vd., 2017: 20).

1.7.1.7. DREAMY Olgunluk Modeli

DREAMY (Digital REadiness Assessment MaturitY model: Dijital Hazırlık Değerlendirme Olgunluk modeli), imalat işletmelerinin Sanayi 4.0'a hazır olma durumunu ölçmek amacıyla geliştirilmiş bir modeldir. İki amacı vardır. Birincisi; bir imalat işletmesinin başlangıç için hazır

olma seviyesini değerlendirmektir. İkincisi ise, imalat işletmelerinin güçlü ve zayıf yönlerini, fırsatlarını, dijitalleşme yatırımlarını ve akıllı üretime geçişlerine yardımcı olabilecek bir yol haritası oluşturmaktır (De Carolis vd., 2017c: 26). DREAMY modelini tanımlamak için üretim ve işlem süreçleri; Tasarım ve Mühendislik, Üretim Yönetimi, Kalite Yönetimi, Bakım Yönetimi, Lojistik Yönetimi temel alanlarında gruplandırılmıştır (De Carolis vd., 2017c: 28). Bunun yanında işletmelerin Sanayi 4.0'a hazırlığı da süreç, izleme ve kontrol, teknoloji ve organizasyon boyutlarıyla belirlenmeye çalışılmıştır (De Carolis vd., 2017c: 28). Tablo 7'de DREAMY modeli için olgunluk düzeyleri tanımlanmıştır.

Tablo 7: DREAMY Olgunluk Seviyelerinin Tanımlanması

Seviye 1 Başlangıç	Bu süreç kötü kontrol edilmekte ya da hiç kontrol edilmemektedir.
Seviye 2 Yönetilen	Süreç kısmen planlanmış ve uygulanmıştır. Süreç yönetimi zayıf olduğundan organizasyon ve/veya etkinleştirme teknolojileri zayıftır.
Seviye 3 Tanımlı	Süreç planlama ile tanımlanır ve sürecin yönetimi sınırlıdır. Organizasyonel sorumluluklar üzerinde bazı teknolojiler, planlama ve uygulama boşlukları entegrasyon eksikliklerini vurgulamaktadır.
Seviye 4 Entegre ve birlikte çalışabilirlik	Süreç bilgi alışverişi üzerine kurulmuştur. Entegrasyon ve birlikte çalışabilirlik tamamen planlanmış ve uygulanmıştır.
Seviye 5 Dijital Oryantasyon	İşlem dijital olarak yönlendirilmiştir.

Kaynak: De Carolis vd., 2017a: 17; De Carolis vd., 2017c: 27.

1.7.1.8. M2DDM Olgunluk Modeli

M2DDM (Maturity for Data-Driven Manufacturing: Veri Odaklı İmalat İçin Olgunluk Modeli), imalat işletmelerinin bilgi teknolojisi mimarisini, hizmete yönelik bir gelişim yolu sağlamak amacıyla analiz etmektedir (Felch vd., 2019: 5167). Modelde beş seviye önerilmektedir. Bunlar; Seviye 0: Var olmayan BT Entegrasyonu, Seviye 1: Veri ve Sistem Entegrasyonu, Seviye 2: Çapraz Yaşam Döngüsü Verilerinin Entegrasyonu, Seviye 3: Hizmet Oryantasyonu, Seviye 4: Dijital İkiz, Seviye 5: Kendi Kendini Optimize Eden Fabrika olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu seviyeler ve açıklamaları Tablo 8'de özetlenmektedir (Weber vd., 2017: 177).

Tablo 8: M2DDM Olgunluk Seviyeleri ve Açıklamaları

Olgunluk Seviyeleri	Açıklamaları
Seviye 0: Var olmayan BT Entegrasyonu	Bu seviyede, BT ile entegre olmayan makineler, aletler ve iş parçaları gibi imalat ekipmanları söz konusudur. Özellikle küçük ve seri üretimde yaşanan zorluklar açısından, üretimi kontrol etmek ve geliştirmek için hızlı değişen bir ortama adapte olmak gerekmektedir.
Seviye 1: Veri ve Sistem Entegrasyonu	Veri ve sistem entegrasyonu olmadan veriler ilişkilendirilemez ve analiz yapılamaz. Bu seviyede, üretimin geleneksel bilgi piramidi uygulanır. Makineler İmalat Yönetim Sistemi (MES) tarafından entegre edilir ve yönetilir. Üretim siparişleri, zamanı korumak ve kaynakları tahsis etmek için doğrudan MES'e bağlı olan daha üst düzeyde bir ERP Sistemi ile yönetilir. İş zekası alanında, temel performans göstergelerini ölçmek ve görselleştirmeler üretmek için veri toplanır. Toplanan veriler kurumsal uygulamalarla entegre edilir ve elektronik tablolar aracılığıyla analiz edilir.
Seviye 2: Çapraz Yaşam Döngüsü Verilerinin Entegrasyonu	Bu aşamada, üretimle ilgili veriler satış sonrası, lojistik ve kitle iletişim araçlarından gelen diğer işletme verileriyle entegre edilir. Böylelikle kaynak sistemleri ve veri deposunda toplanan veriler elektronik tablolar üzerinden değerlendirilir.
Seviye 3: Hizmet Oryantasyonu	Veri sağlama, hizmet odaklı mimarilerin tanımlanması ve uygulanmasıyla sağlanır. Verimsiz noktadan noktaya iletişimi ortadan kaldırmak için, işletmelerde, üretim bölümleri arasında veriler bir hizmet sürücüsü üzerinden entegre edilir veya değiştirilir. Basit analiz için belirli veriler sorgulanır ve veri tabanına kaydedilir.
Seviye 4: Dijital İkiz	Veri odaklı fabrikadaki varlıkların işbirliği, tek tip bir veri modeli ile gerçekleşir. Bir ürünün dijital ikizi, ürünün gerçek fiziksel dünyadaki davranışlarını sergileyen sanal bir kopyasıdır. Dijital ikizler sorunların tespitinde, yeni ayarların test edilmesinde, her türlü senaryonun simüle edilmesinde, analiz edilmesi gereken verilerin analiz edilmesine ve fiziksel dünyada yapılması gereken her şeyin, sanal ürün üzerinde gerçekleştirilmesine yardımcı olur.
Seviye 5: Kendi Kendini Optimize Eden Fabrika	Bu seviye gelişmiş verilerle analiz yapabilmek için önemli bir seviyedir. Gerçek zamanlı analiz sağlamak için, kendi kendini denetleyen sensörler, sensör ve aktüatörlerin kendi çalışma sırası ve işlevlerini koordine ettiği çalışma istasyonları, kendi kendini yöneten ve optimize eden otonom ünitelere sahip üretim yapıları akıllı fabrikanın ortaya çıkışı, üretim ve iç lojistik süreçleri uygulamalarında bir paradigma değişikliği anlamına gelmektedir. Bunlar esas olarak gömülü cihazlar, bilgisayarlar ve sensörlerden gelen verileri toplayan üretim bölümündeki ağ geçitleridir.

Kaynak: Weber vd., 2017: 177'den derlenmiştir.

1.7.2. Olgunluk Modellerinin Karşılaştırılması

Tablo 9'da yukarıda bahsedilen olgunluk modellerinin karşılaştırılması sunulmaktadır.

Tablo 9: Sanayi 4.0'da Olgunluk Modelleri Karşılaştırması

Model	Yazar - Yıl	Çalışma odağı	Dezavantajlar/Eksiklikler
Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli	Rockwell Automation (2014)	Sanayi 4.0 için dört teknolojik boyut göz önünde bulundurulur. Bunlar sırasıyla; bilgi altyapısı, kontroller ve sensörler, veriyi besleyen alanlar, ağlar ve güvenlik politikaları şeklindedir. Sanayi 4.0 için önerilen beş seviyeli olgunluk düzeyi ise; (1) Değerlendirme, (2) ağ kontrollerinin güvenliğinin sağlanması ve yükseltilmesi, (3) Tanımlanmış ve düzenlenmiş veri sermayesi, (4) Analitik ve (5) İşbirliği şeklindedir.	Bu modelde, Sanayi 4.0 için değerlendirme metodu açıklanmamış, Sanayi 4.0 için bir KOBİ perspektifi de dikkate alınmamıştır. Ayrıca, Bilgi Teknolojileri açısından hazır olma durumu düşünüldüğünde organizasyon ve operasyon boyutları eksiktir.
IMPULS Sanayi 4.0 Hazırlık Modeli	Lichtblau ve diğerleri (2015)	Çalışma 6 kriter 18 alt kriter ve 6 seviyeden oluşmaktadır. Kriterler; strateji ve organizasyon, akıllı fabrika, akıllı işlemler, akıllı ürünler, veri odaklı hizmetler, çalışanlardır. Olgunluk seviyeleri ise; Seviye 0: Yabancı, Seviye 1: Yeni Başlayan, Seviye 2: Orta Seviye, Seviye 3: Deneyimli, Seviye 4: Uzman, Seviye 5: En iyi performansı göstermektedir. Modelde değerlendirme metodları ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.	Sanayi 4.0 için bir KOBİ perspektifi dikkate alınmamıştır.
Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli	Geissbauer ve diğerleri (2016)	Model; dijital acemi, dikey entegrasyon, yatay entegrasyon ve dijital şampiyon aşamalarından oluşmakta ve yedi boyutu ele almaktadır. Bunlar sırasıyla; dijital iş modelleri ve müşteri erişimi, ürün ve hizmet sunumlarının dijitalleştirilmesi, dijitalleşme, değer zinciri ve süreçler, temel veri analizi yeteneği, çevik BT mimarisi, uyumluluk, güvenlik, yasallık ve vergi, işletme, çalışanlar ve dijital kültür şeklindedir.	Sanayi 4.0'a ulaşmak için değerlendirme metodu ve olgunluğu ölçme özellikleri açıklanmamıştır. Sistem sonucu otomatik olarak vermektedir. Ayrıca modelde KOBİ perspektifi de dikkate alınmamıştır.
İmalat Firmaları için Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli	Schumacher ve diğerleri (2016)	Model 9 kriter, 62 alt kriterden oluşmaktadır. Kriterler: strateji, liderlik, müşteriler, ürünler, operasyonlar, kültür, çalışanlar, yönetim ve teknolojidir ve önerilen olgunluk endeksinin hesaplanması gerçekleştirilir.	Sanayi 4.0 açısından değerlendirilen işletmelerin zayıf yanlarının üstesinden gelmek için bir plan geliştirmeyi önermemiştir.
SIMMI 4.0 Olgunluk Modeli	Leyh ve diğerleri (2016)	Bilgi teknolojilerini Sanayi 4.0 ile sınıflandırmak amacıyla beş aşama ve dört boyuttan oluşmaktadır. Aşamalar sırasıyla; temel dijitalleştirme, bölümler arası dijitalleştirme, yatay ve dikey dijitalleştirme, tam dijitalleştirme ve optimize edilmiş tam dijitalleştirme. Boyutlar; dikey entegrasyon, yatay entegrasyon, dijital ürün geliştirme ve kesitsel teknoloji kriterleri şeklindedir.	Sanayi 4.0 olgunluğu sadece bilgi teknolojileri alanına odaklanmıştır. İşletme vizyonu, çalışanlar, rakipler, piyasa yapısı gibi alanlar olgunluk değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.
ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi	Schuh ve diğerleri (2017).	Sanayi 4.0 için bilgisayarlaştırma, bağlanabilirlik, görülebilirlik, şeffaflık, tahmini kapasite ve uyum yeteneği 6 aşamalı bir geliştirme stratejisi söz konusudur. Dört boyutlu dijitalleşme planı: kaynaklar, bilgi sistemleri, organizasyon yapısı ve örgüt kültürü şeklindedir. Modeldeki değerlendirme metodları ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.	Sanayi 4.0 için ölçme özellikleri açıklanmış ve KOBİ perspektifi dikkate alınmamıştır.
DREAMY Olgunluk Modeli	De Carolis ve diğerleri (2017c)	DREAMY modeli tasarım ve mühendislik, üretim yönetimi, kalite yönetimi, bakım yönetimi, lojistik yönetimi temel alanlarında gruplandırılmıştır. Ayrıca, işletmelerin Sanayi 4.0'a hazırlığı da süreç, izleme ve kontrol, teknoloji ve organizasyon boyutlarıyla belirlenmeye çalışılmıştır.	İşletmelerin, başlangıç ve hazır olma durumu ile yalnızca dijital alandaki yeterliliklerini ölçmek açısından eksiklikleri vardır.
M2DDM Olgunluk Modeli	Weber ve diğerleri (2017)	Söz konusu modelde altı seviyeli bir model önerilmiştir. Bunlar sırasıyla; (0) Var Olmayan BT Entegrasyonu, (1) Veri ve Sistem Entegrasyonu, (2) Çapraz Yaşam Döngüsü Verilerinin Entegrasyonu, (3) Hizmet Oryantasyonu, (4) Dijital İkiz, (5) Kendi Kendini Optimize Eden Fabrika şeklindedir.	Model sadece veri odaklı imalat için geliştirilmiş olup, Bilgi Teknolojilerine odaklanmaktadır.

Kaynak: Lichtblau vd., 2015; Geissbauer vd., 2016; Schumacher vd., 2016; Leyh vd., 2016; Schuh vd., 2017; De Carolis vd., 2017c; Gökalp ve Sener, 2017: 134; Weber vd., 2017; Colli vd., 2018: 1352; Mittal vd., 2018a: 208; Koyuncu, 2019'dan yararlanarak derlenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

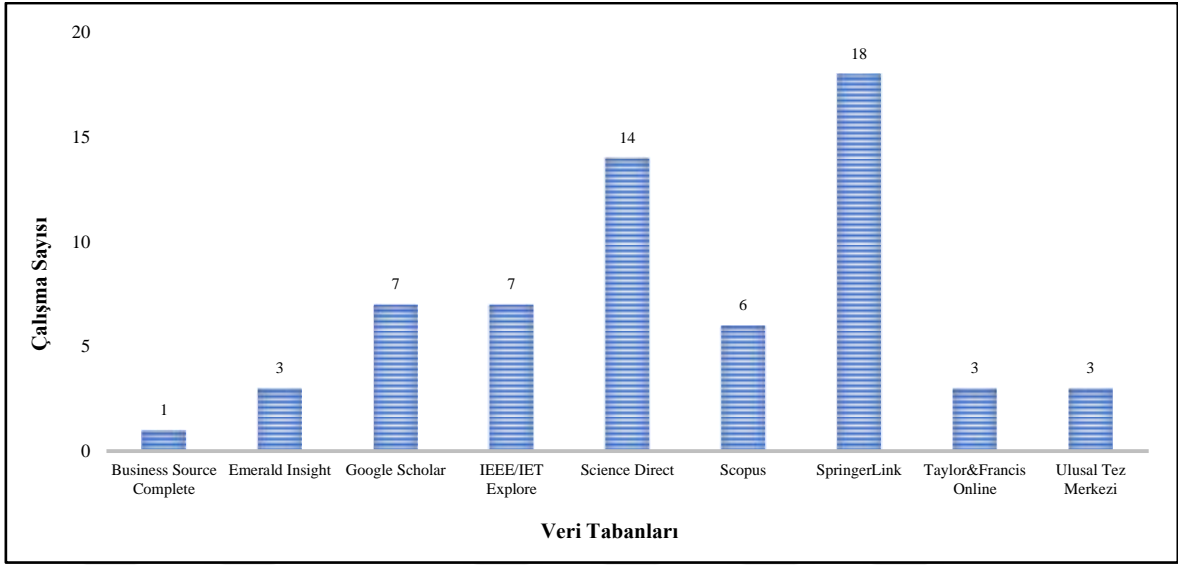
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sanayi 4.0 son zamanlarda birçok araştırmacı ve akademisyen tarafından incelenen güncel bir konudur. Bu çalışmada, Sanayi 4.0 kapsamında önerilen olgunluk modelleriyle ilgili daha önce yapılmış çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

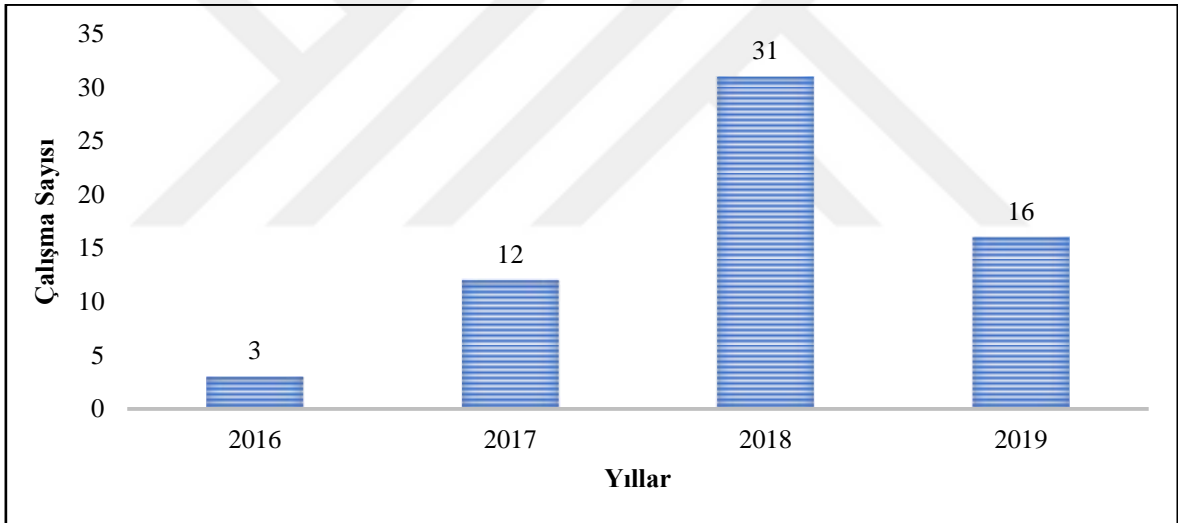
Yapılan literatür taraması ile toplamda 66 adet akademik çalışmanın olduğu tespit edilmiş bunlardan 4 tanesinin konu ile ilgili olmadığı görülmüştür. Bu kapsamda literatüre toplam 62 adet çalışma dahil edilmiş ve bunlara; Business Source Complete, Emerald, Google Scholar, IEEE/ IET Explore Digital Library, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Taylor & Francis Online, Yök Tez Tarama veri tabanları, hakemli dergiler ve konferans metinlerinde yer alan çalışmalar incelenerek ulaşılmıştır. Veri tabanlarında yapılan aramalar esnasında “industry 4.0 maturity model”, “industry 4.0 maturity model analysis”, “industry 4.0 and maturity model”, “industry 4.0 and maturity model assessment”, “industry 4.0 and readiness model”, “the fourth industrial revaluation and maturity model analysis”, “4th industrial revaluation and maturity model analysis” ve ayrıca bu kelimelerin Türkçe karşılıkları da anahtar kelimeler olarak kullanılmıştır. Ayrıca, aynı veri tabanlarında “logistics 4.0 maturity model”, “logistics 4.0 maturity model analysis”, “logistics 4.0 and maturity model”, “logistics 4.0 and maturity model assessment”, “supply chain 4.0 maturity model”, “supply chain 4.0 maturity model analysis”, “supply chain 4.0 and maturity model”, “supply chain 4.0 and maturity model assessment” anahtar kelimeleri ile kullanılarak taramalar gerçekleştirilmiş ancak herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

İncelenen çalışmalar kaynaklarına göre değerlendirildiğinde; 31 tane konferans metni, 25 tane makale, 4 tane yüksek lisans tezi ve son olarak 2 tanesi de kitap bölümü olarak kaleme alınmıştır. Ayrıca incelenen bu çalışmaların 59 tanesi İngilizce olup, 3 tanesi Türkçe tez çalışmasıdır. Son olarak yapılan literatür taraması 2019 yılının Kasım ayına kadar olan süreci kapsamaktadır.

Grafik 1: Çalışma Sayısının Veri Tabanlarına Göre Gösterimi



Grafik 2: Çalışmaların Yıllara Göre Gösterimi



Grafik 1’de çalışmaların veri tabanlarına göre dağılımı yer almaktadır. Buna göre en çok çalışmanın SpringerLink veri tabanında yer aldığı görülmektedir. Literatür taraması kapsamında incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı ise grafik 2’de gösterilmiştir ve Sanayi 4.0 kapsamında olgunluk modeli ile ilgili en çok çalışmanın da 2018 yılında yapıldığı görülmektedir.

Yapılan literatür araştırması iki ana başlık altında toplanabilir. İlk olarak teorik çalışmalara sonrasında uygulamalı çalışmalara yer verilmiştir.

2.1. Teorik Çalışmalar

Ganzarain ve Errasti (2016) yapmış oldukları çalışmada işletmeleri Sanayi 4.0'a yönlendirmek ve eğitmek adına üç aşamalı bir süreç ile iş alanlarını çeşitlendirme stratejisindeki değişim sürecine odaklanmaktadır. Üç aşamalı süreç; vizyon tanımlamak, bir yol haritası oluşturmak, eğitim ve risk yönetimini sağlayan Sanayi 4.0 projelerini uygulamaktır. Bu aşamaların her birinin beş adımı vardır. Bunlar; başlangıç, yönetilen, tanımlı, dönüşüm ve detaylı bilgi yönetimi şeklindedir. Yapılan analizler işletmelerin iş alanlarının çeşitlendirilmeye ihtiyacı olduğunu ve bu işletmelerin Sanayi 4.0 yaklaşımı ile ilgili tüm bilgilerini geliştirmeleri gerektirdiğini ortaya çıkarmaktadır.

Tonelli ve diğerleri (2016) yapmış oldukları çalışmada, yeni bir imalat değeri modellemesi gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Değer modellemesi ile ilgili çalışmalarını SIEMENS'in İmalat Yönetim Sistemi (Manufacturing Execution System) bölümü ile işbirliği içinde yapmışlardır. Sanayi 4.0 bağlamında İmalat Değer Modelleme Metodolojisi (The Manufacturing Value Modeling Methodology) 5 adımdan oluşmaktadır. Bunlar; Değer Haritası, Olgunluk Modeli, Fark ve Süreç Analizi, Doğrulama ve Gelişim Alanları Tanımıdır. Çalışmanın uygulamasının İtalyan bir otomotiv firmasının durumunu ölçmek adına Gartner Olgunluk Modeli kullanılabileceği belirtilmiştir. Gartner Olgunluk Modelinde işletmelerin; faaliyetlere odaklanması, tedarik zinciri planlarının tahmin edilmesi, işletmelerin olgunluk sürecine entegre edilmesi, olgunluğu yakalayan işletmelerle işbirliği yapılması ve arz ve talep arasındaki engelleri koordine etmek şeklinde hedefleri vardır.

Barata ve Cunha (2017) çalışmasında Sanayi 4.0'ın gelişimi ve literatürde yer alan olgunluk modelleri hakkında bilgi vermeyi amaçlamıştır. Ana hedef, Sanayi 4.0'ın farklı sanayi sektörleri için uygun olma olasılığını değerlendirmektir. Sanayi 4.0 son yıllarda gelişim gösterdiği için uygulama alanı az olmakla birlikte, Sanayi 4.0'ın farklı sektörlerde ortaya çıkarabileceği yeni sorunların olgunluk modelleri ile çözümlenebileceği belirtilmektedir. Çalışmadan çıkarılacak sonuç, ülke çapında ve sektöre özel olgunluk modellerinin geliştirilmesinde hükümetlerin diğer kurumlara yardımcı olabileceğidir. Sanayi 4.0'ı uygulamak için bir yol haritası oluşturulmalı ve uygulayıcıları, oluşabilecek her türlü soruna çözüm bulmaya teşvik etmelidir.

De Carolis ve diğerleri (2017a) çalışmalarında Akıllı İmalat Sistemleri Özellikleri (Smart Manufacturing Systems Characterization: SMSC)'nin gerektirdiği farklı perspektifleri 3 farklı olgunluk modeli ile incelemişlerdir. Bunlar; Dijital Hazırlık Değerlendirme Olgunluk Modeli (Digital REadiness Assessment Maturity model: DREAMY), Akıllı İmalat Hazırlık Seviyesi (Smart Manufacturing Readiness Level: SMSRL) ve İmalat Operasyon/İşlemler Yönetimi (Manufacturing Operations Management: MOM/CMM)'dir. Bu yöntemlerin karşılaştırmasına dayanarak akıllı üretime doğru bir yol haritası geliştirmek amaçlanmıştır.

De Carolis ve diğeri (2017c) çalışmasında olgunluk modeli oluşturarak imalat firmalarının dijitalleşmeye hazır olup olmadığını ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle Bütünleşik Yetenek Olgunluk Modeli (Capability Maturity Model Integration: CMMI) önerilmiştir. Bunun yanında firmaların; Tasarım ve Mühendislik, Üretim Yönetimi, Kalite Yönetimi, Bakım Yönetimi ve Lojistik Yönetimi işlem alanları göz önünde bulundurularak değerlendirilecektir. İmalat firmalarının olgunluğu süreç, izleme ve kontrol, teknoloji ve organizasyon boyutları ile ölçülecektir. Bu analiz boyutları göz önünde bulundurulduğunda ilgili süreçler dikkate alınarak Dijital Hazırlık Değerlendirme Olgunluk Modeli (Dijital REadiness Assessment Maturity model: DREAMY) oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda; modelin amacının üretime yardımcı olmak olduğunu vurgulanmıştır. Ayrıca, bu modelle firmaların dijitalleşmeye ne kadar hazır olduklarını anlamak için süreçlerin değerlendirilmesi, Sanayi 4.0'a dönüşüm için yol haritası geliştirilmesinde yardımcı olacaktır.

Gökalp ve Sener (2017) çalışmasında firmaların Sanayi 4.0 teknolojisine geçişine yardımcı olmak ve yeteneklerini geliştirmek adına onlara rehberlik etmek için bir olgunluk modeli geliştirmeye ihtiyaç olduğunu dile getirmişlerdir. Yapılan incelemenin sonucunda toplam yedi olgunluk modeli tanımlanmış ve önceden belirlenmiş kritere dayanarak modellerin özellikleri karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Mevcut modellerin güçlü ve zayıf yanlarını gözlemledikten sonra hiç birinin beklenen tüm kriterleri karşılamadığı ve geliştirilmeleri gerektiği sonucuna varılmıştır. Sanayi 4.0-MM olarak adlandırılan Sanayi 4.0 için Yazılım Süreci Uygulaması ve Yetenek Belirleme (Software Process Improvement And Capability Determination: SPICE) tabanlı yeni bir olgunluk modeli önerilmiştir. Modelin amacı, bir üreticinin mevcut Sanayi 4.0 olgunluk aşamasını değerlendirmek ve Sanayi 4.0'ın ekonomik faydalarını en üst düzeye çıkarmak için daha yüksek bir olgunluk aşamasına erişmelerine yardımcı olacak somut önlemleri belirlemek için bir araç sağlamaktır. Ayrıca, Sanayi 4.0-MM varlık yönetimi, veri yönetimi, uygulama yönetimi, süreç dönüşümü ve organizasyonel uyum alanlarının değerlendirilmesinden oluşan bütünsel bir yaklaşıma sahiptir.

Häberer ve diğeri (2017) çalışmasında Almanya'daki KOBİ'lerin Sanayi 4.0 değerlendirmesini amaçlamışlardır. Her ne kadar Sanayi 4.0 terimi Almanya'da ortaya çıkmış olsa da, yapılan analizlerle işletmelerin Sanayi 4.0 dönüşümüne ayak uydurmaları açısından çeşitli eksiklerinin olduğu belirlenmiş ve mevcut yöntemlerin hiçbirinin bu eksiklikleri gidermediği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle işletmelerin ihtiyaçları belirlenmiş ve "Sanayi 4.0 Hızlı Kontrol" (Industrie 4.0 Quick CheckUp) yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, beş aşamadan oluşmaktadır 1. Aşama: Standartlar, 2. Aşama: Büyük veri, 3. Aşama: Akıllı veri, 4. Aşama: Karanlık fabrika, 5. Aşama: Endüstriyel ekosistemdir. Bu yöntemle, işletmelerin kendilerini tanımlarına ve ihtiyaçlarını gidermelerine yardımcı olmak adına dijitalleşmenin Alman endüstrisi için önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Klötzer ve Pflaum (2017) çalışmasında imalat sanayinde akıllı ürünler ve Siber Fiziksel Sistemler yoluyla dijitalleşmeyi hedefleyen firmalar için en uygun olgunluk modelinin geliştirilmesini hedeflemiştir. Dijital dönüşümün akıllı ürün oluşturma ve akıllı ürün uygulaması şeklinde gerçekleşeceği belirtilen çalışma dokuz kriter ve beş olgunluk seviyesinden oluşur. Kriterler; strateji geliştirme, müşteriye teklif, akıllı ürün, tamamlayıcı bilgi teknolojileri sistemi, işbirliği, yapısal organizasyon, süreç organizasyonu, yeterlilikleri, yenilik kültürü olmakla beraber olgunluk seviyeleri; dijitalleşme bilinci, akıllı ağ bağlantılı ürünler, hizmet odaklı işletme, hizmet sistemlerinde düşünme ve veri odaklı işletme şeklindedir. Oluşturulan yeni modelle birlikte olgunluk sürecinin eksiksiz, şeffaf ve hesap verebilir olacağı belirtilmekte ve günümüz firmalarının ve tedarik zincirlerinin dijital dönüşümünü desteklemek için de uygun olacağı belirtilmiştir.

Leyh ve diğerleri (2017) bilgi teknolojilerini Sanayi 4.0 ile sınıflandırmak adına literatürde bir boşluk olduğunu görmüş ve bu boşluğu doldurmak için işletmelerin bilgi teknolojilerini Sanayi 4.0 ile sınıflandırmasına imkan sağlayan olgunluk modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. İşletmenin Sistem Entegrasyon Olgunluk Modeli Endüstrisi 4.0 (System Integration Maturity Model Industry 4.0: SIMMI 4.0) adını verdiği süreç 5 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; temel dijitalleştirme, bölümlerarası dijitalleştirme, yatay ve dikey dijitalleştirme, tam dijitalleştirme ve optimize edilmiş tam dijitalleştirmedir ve bu aşamalardan her biri, bir işletmenin kendini değerlendirmesine izin veren çeşitli dijitalleştirme özelliklerini açıklamaktadır. Ayrıca; Sistem Entegrasyon Olgunluk Modeli Endüstrisi 4.0'ın, dikey entegrasyon, yatay entegrasyon, dijital ürün geliştirme ve kesitsel teknoloji kriterleri olmak üzere dört boyutu ele alan bir öneri olduğu belirtilmektedir.

Stich ve diğerleri (2017) çalışmasında Sanayi 4.0'da bilgi yönetiminin belirli olgunluğa ulaşması için çeşitli yeteneklere sahip olması gerektiğini yani; bilgi yönetimi ve Sanayi 4.0 yeteneklerinin olgunluk modeli ile nasıl entegre olabileceğini incelemiştir. Konu ile ilgili yapılan literatür incelemesinden Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi (National Academy of Science and Engineering: ACATECH) tarafından alınan bilgilerle bilgi yönetiminin başarılı olabilmesi için görülebilirlik, şeffaflık, tahmini kapasite ve uyum yeteneklerini sağlamış olması gerektiği belirtilmiştir. Görülebilirlik; olgunluk seviyesinin amacının, verilerin işlenip görüntülenmesi olduğu, şeffaflık olgunluk seviyesinin neden sonuç ilişkileri ile tanımlanabileceği ve Korelasyon analizinin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Tahmini kapasite olgunluk seviyesi, gelecekteki olayları tahmin eder ve Simülasyon ve Regresyon yöntemleri ile analizler gerçekleştirilebilir. Son olarak uyum yeteneği olgunluk seviyesinin ise, öneriler gerektirdiğine ve optimizasyon algoritmaları kullanılabilmesine dikkat çekilmektedir.

Weber ve diğerleri (2017) çalışmasında veri odaklı imalat için olgunluk modeli sunmuştur. Öncelikle mevcut olgunluk modellerinin veri odaklı üretime bakış açılarını değerlendirmek adına Sanayi 4.0 hedefleri (veri depolama ve hesaplama, hizmet odaklı mimari, bilgi entegrasyonu, dijital

ikiz, gelişmiş analizler, gerçek zamanlı yetenekler) ile birlikte üç referans mimarisini (Endüstriyel İnternet Referans Mimarisi (Industrial İnternet Reference Architecture: İİRA), Referans Mimarisi Modeli Endüstrisi 4.0 (Reference Architecture Model Industrie: 4.0: RAMİ) ve İmalat için Stuttgart Mimarisi (Stuttgart İT Architecture for Manufacturing: SİTAM) incelenmiştir. Daha sonra çeşitli uzmanlarla birlikte çalışılarak veri güdümlü imalat için altı üretim seviyesinden oluşan bir olgunluk modeli sunulmuştur. Bunlar; Seviye 0: Var olmayan BT Entegrasyonu, Seviye 1: Veri ve Sistem Entegrasyonu, Seviye 2: Çapraz Yaşam Döngüsü Verilerinin Entegrasyonu, Seviye 3: Hizmet Oryantasyonu, Seviye 4: Dijital İkiz, Seviye 5: Kendi Kendini Optimize Eden Fabrikadır. Bahsedilen Sanayi 4.0 için hazırlık değerlendirmeleri farklı özelliklere sahip sektörlere elektronik tablolar veya el ile veri entegrasyonu gibi analitik araç setlerinin kullanımı ile uygulanabileceği belirtilmiştir. Ayrıca bu verilerle veri madenciliği modelleri oluşturularak gelecekte yapılacak çalışmalara da ışık tutulacağı belirtilmiştir.

Basl (2018) çalışmasındaki temel amaç, Sanayi 4.0'a hazır olma endeksleri ve Sanayi 4.0 olgunluk modellerinin analizi ile bir şirketin bilgi sistemi açısından ne kadar hazır olduğunu gösterme derecesini belirlemektir. Ayrıca çalışmada yapılan literatür araştırması firmaların kurumsal bilgi sistemi perspektifinden Sanayi 4.0 hazırlığının analiz edilmediğini göstermiştir. Bu sebeple söz konusu Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ERP perspektifinden analiz edilmiş ve incelenen hazırlık endeksleri ve olgunluk modelleriyle; otomotiv, gıda ve kimya endüstrileri gibi endüstri sektörleri için ve de ayrıca KOBİ'ler gibi farklı türdeki firmalar için henüz tam olarak geliştirilmiş olgunluk modellerinin bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

Brozzi ve diğerleri (2018) çalışmasında imalat ve inşaat sektöründeki KOBİ'leri hedef alan ve kamu tarafından finanse edilen iki Avrupa Birliği projesi çerçevesinde, Sanayi 4.0 hazırlık düzeylerinin belirlenmesi için öz değerlendirme araçlarının tasarlanması amacıyla metodolojik bir yaklaşım geliştirilmeyi amaçlamaktadır. Geliştirilen model 3 kriter ve 23 alt kriterden oluşmaktadır. Kriterler; Üretim ve operasyonlar, dijitalleşme ve ekosistem olarak belirlenmiştir. Her bir kriterin değerlendirmesi, 1 ila 5 arasında değişen bir Likert ölçeğine dayandırılmaktadır. Çalışmanın sonucu özellikle KOBİ'leri hedef alan öz değerlendirme araçlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir.

Canetta ve diğerleri (2018) çalışmasında üretim sektöründe dijitalleşme ile ilgili olgunluk modeli geliştirme konusunda kapsamlı bir literatür incelemesine yer vermişlerdir. Yapılan literatür incelemesiyle elde edilen Sanayi 4.0 ile ilgili boyutlar strateji, süreçler, ürünler ve hizmetler, teknolojiler ve insanlar olarak belirlenmiş, olgunluk seviyeleri ise yokluk, acemi, orta seviye ve uzman olarak değerlendirilmiştir.

Colli ve diğerleri (2018) çalışmasında Problem Tabanlı Öğrenme (Problem Based Learning: PBL) modelinin dijital olgunluk değerlendirme süreci ile entegrasyonunu değerlendirmektedir. Bu

değerlendirmeyi yapabilmek adına yeni bir dijital olgunluk değerlendirme yaklaşımı olan 360 Dijital Olgunluk Değerlendirmesi (360 Dijital Maturity Assessment: 360DMA) önerilmektedir. Dijital yetenekleri ölçmek için dijital kriterler olarak adlandırılan beş alan söz konusudur. Bunlar; yönetim, teknoloji, bağlantı, değer yaratma, yetenek alanlarıdır. Bununla birlikte dijitalleştirme düzeyini değerlendirmek için kullanılan olgunluk ölçeği hiçbir, temel, şeffaf, farkında, otonom, entegre seviyelerinden oluşmaktadır.

Galaske ve diğerleri (2018) çalışmasında, bir işletmenin mevcut durumunu insan faktörleri açısından sınıflandırmaya yardımcı olmayı ve insan faaliyetlerinin gerekli olduğu kategorileri tanımlayarak dijital üretimin faydalarını en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. Çalışma Sanayi 4.0'da insan faktörünün entegrasyonu ile ilgili (Toolbox Workforce Management 4.0: İşgücü Yönetimi 4.0 Araç Çubuğu) bir yöntem kullanılmıştır. İşletmelerin işgücü yeterlilikleri şu dört kategoriye ayrılmıştır: Sert (zor) beceriler, yumuşak beceriler, kullanılabilirlik ve çalışabilirlik, çalışma ortamıdır.

Gärtner (2018) çalışmasında, işletmelere yol göstermek amacıyla geliştirilmiş olan (National Academy of Science and Engineering: Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi) ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi en iyi yazılımı geliştirmek amacıyla, çalıştığı yazılım işletmesine uyarlamayı amaçlamıştır. Geliştirilen endeks sadece dijital dönüşümün durumunu değerlendirmekte ve Sanayi 4.0'a giden yolda alınması gereken önlemlerin önceliklendirilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu endeksin sadece KOBİ'ler için uygun olması da önemli bir özelliğidir. Geliştirilen olgunluk endeksinin kaynaklar, bilgi sistemleri, organizasyon yapısı ve kültür alanlarında önemli olduğu belirtilmiştir.

Kampker ve diğerleri (2018) çalışmasında çevik endüstriyel hizmet işletmeleri için olgunluk düzeylerini geliştirmeyi amaçlamıştır. Yapılan literatür araştırmasından şimdiye kadar işletmelerin mevcut durumunu değerlendiren çeşitli olgunluk modellerinin olduğu, bu olgunluk modellerinin Sanayi 4.0'a özel hazırlanmış bir dijital yol haritası geliştirmeyi mümkün kıldığını ortaya çıkarmıştır. Çalışmada, endüstriyel hizmet işletmelerinin gelişim aşamasını tanımlayan dört kriterin olduğu dikkate alınmıştır. Bunlar; görülebilirlik, şeffaflık, tahmini kapasite ve uyum yeteneğidir. Her bir gelişim aşaması da teknolojik, örgütsel ve kültürel boyutlar dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Leineweber ve diğerleri (2018) çalışmasında Sanayi 4.0'da teknoloji, organizasyon ve çalışanlar kriterlerini göz önünde bulundurarak bir olgunluk modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Ana hedef, özellikle KOBİ'lerin, dış danışmanlık kullanmadan Sanayi 4.0 yönünde gelişmelerine katkıda bulunmaktır. Geliştirilen model yardımıyla, işletmeler mevcut durumlarını farklı üretim kriterlerine göre belirleyebilecek, kriterlerin çeşitli özellikleri ile işletmeler için Sanayi 4.0'a giden yoldaki olası adımları ve daha sonra yapılması gerekenler hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktadır.

Methavitakul ve Santiteerakul (2018) çalışmasında Tayland gıda endüstrisinin Sanayi 4.0 dönüşümünde kriter ve alt kriter seçiminin bir parçası olarak olgunluk modeli ile performans ölçümü sunulmaktadır. Performans ölçümünün; Sanayi 4.0 çalışmalarının incelenmesi, literatür araştırması, Sanayi 4.0 çerçevesi geliştirme ile kriter ve alt kriterlerin gruplandırılması adımlarından geçerek gerçekleştirildiği vurgulanmıştır. Yapılan çalışmalarla belirlenen 7 kriter 31 alt kriter söz konusudur. Kriterler; strateji, teknoloji, imalat ve operasyon, tedarik zinciri, çalışanlar, ürünler ve müşteri yer almaktadır. Sonuçta; bu değerlendirmeye oluşturulan kriter ve alt kriterlerle olgunluk modeli kullanılarak firmaların performans ölçümleri gerçekleştirilebilir, kriter ve alt kriterler daha da geliştirilebileceği söylenebilmektedir.

Mittal ve diğerleri (2018a) çalışmasında şu anda mevcut olan Akıllı imalat ve Sanayi 4.0 olgunluk modellerini kapsamlı literatür araştırmasıyla eleştirel olarak incelenmiş ve KOBİ'lerin Sanayi 4.0 olgunluk modelleri türünden uygunluklarını analiz etmiştir. Bu sebeple bu çalışma KOBİ'ler için karakteristik özellikler sunmaktadır. Çalışma sonucunda akıllı imalat konusunda Sanayi 4.0 yol haritalarının sınırlı sayıda olduğu ortaya çıkmaktadır.

Mittal ve diğerleri (2018b) çalışmasında KOBİ'ler için yeni bir akıllı üretim olgunluk modeli önermektedir. Önerilen modele göre KOBİ'ler akıllı üretim ve Sanayi 4.0'a üç boyutta geçebilirler. Bunlar; organizasyonel boyutlar, araç kutuları (Toolbox) ve olgunluk seviyeleridir. Her bir boyuta değerlendirme yapabilmek adına alt boyutlar atanmıştır. Organizasyonel boyut için alt boyutlar; finans, insan, strateji, süreç ve üründen oluşur. Araç kutuları için 7 alt boyut söz konusudur; imalat/fabrikasyon, tasarım ve simülasyon, robotik ve otomasyon, sensörler ve bağlantı, bulut/depolama araç kutusu, veri analitik araç kutusu ve iş yönetimi araç kutusu. Olgunluk seviyeleri için alt boyutlar ise; acemi, başlangıç düzeyi, öğrenci, orta seviye ve uzman olarak belirlenmiştir. Modelin uygulaması sadece bulut/depolama araç kutusuna dayalı bir örnek durumla değerlendirileceği belirtilmiştir.

Münih Uygulamalı Bilimler Üniversitesinde geliştirilen bir diğer çalışma Puchan ve diğerleri (2018) tarafından gerçekleştirilmiş ve Sanayi 4.0 olgunluk modeline dayanan kavramsal bir çalışma olmasıyla dikkat çekmiştir. Çalışma imalat sektöründeki KOBİ'lerin endüstriyel gelişimine odaklanmaktadır. Ayrıca çalışmada, Sanayi 4.0 kavramının dijital dönüşüm sürecindeki firmalar arasında gerçekleşen bilgi alışverişi ile nasıl desteklenebileceği konusunda fikir vermektedir.

Rajnai ve Kocsis (2018) çalışmalarında işletmelerin Sanayi 4.0 hazırlığının değerlendirilmesi amacıyla çeşitli olgunluk modelleri hakkında bilgi vermiştir. Bunlardan ilki 2016 yılında PwC tarafından Sanayi 4.0 araştırması için oluşturulmuş Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modelidir. Burada yedi boyut dört olgunluk seviyesiyle söz konusudur. Boyutlar; dijital iş modelleri ve müşteri erişimi, ürün ve hizmet sunumlarının dijitalleştirilmesi, dijitalleştirme, değer zinciri ve süreçler, temel veri analizi yeteneği, çevik bilgi teknoloji mimarisi, uyumluluk, güvenlik, yasallık

ve vergi, işletme, çalışanlar ve dijital kültürdür. Olgunluk seviyeleri ise; dijital acemi, dikey entegrasyon, yatay entegrasyon, dijital şampiyondur. Bir diğer model; FORRESTER dijital olgunluk modelidir ve dört boyutu kapsar: kültür, teknoloji, organizasyon ve kaynaklardır. Üçüncü olarak ACATECH olgunluk modeli karşımıza çıkmakta ve dijitalleşme stratejisi olarak; bilgisayarlaştırma, bağlanabilirlik, görülebilirlik, şeffaflık, tahmini kapasite ve uyum yeteneği olarak belirlenmiş ve bu modelin iş süreçlerinin mevcut durumu belirlemek amacıyla kullanıldığına kısaca değinilmiştir. Son olarak IMPULS Sanayi 4.0 hazırlık modelinden bahsedilmekte ve modelin altı kriter, on sekiz alt kriter ve 5 seviyeden oluştuğuna dikkat çekmektedir.

Rübel ve diğerleri (2018) yaptıkları literatür incelemesiyle daha önce Sanayi 4.0'da iş modellerini tanımlayan hiçbir çalışmaya rastlanmamış ve dolayısıyla bu konuyla ilgili olgunluk modellerinin de yaygın olmadığını tespit etmişlerdir. Olgunluk modeli için iş modeli yönetimi şu dokuz esasa dayandırmışlardır; müşteri segmenti, değer önerisi, kanallar, müşteri ilişkileri, gelir kaynağı, anahtar kaynaklar, anahtar faaliyetler, önemli ortaklar ve maliyet yapısıdır. Bu esasların çalışmanın uygulaması söz konusu olduğunda t testi, faktör ve veri analizleri ve müşterilere yapılan anketlerden elde edilebileceği belirtilmiştir.

Sjödin ve diğerleri (2018) çalışmalarında akıllı fabrika uygulaması ve süreç yeniliği konusunda bir olgunluk modeli önermişlerdir. Önerilen modelde akıllı fabrika uygulamasının temel ilkelerinin; insanlar, süreç ve teknoloji olduğu belirtilmiştir. Olgunluk değerlendirmesi dört seviyede söz konusudur; Seviye 1: Bağlantılı/ilişkili teknolojiler, Seviye 2: Yapılandırılmış veri toplama ve paylaşma, Seviye 3: Gerçek zamanlı süreç analizi ve optimizasyonu, Seviye 4: Akıllı ve öngörülebilir üretim şeklinde belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, akıllı fabrikaların faydaları; artan süreç verimliliği, daha yüksek işletme verimliliği, artan ürün kalitesi, artan güvenlik ve sürdürülebilirlik şeklinde sıralanmıştır. Bunun yanında, akıllı fabrika uygulamasına geçmeyi planlayan işletmelerin; daha yüksek satış beklentisiyle büyümeyi hedeflerken, daha geniş bir pazar alanı ve işletmenin artan karlılığı ile daha yüksek satış beklentisi avantajlarına odaklanmaları gerektiği ve bu avantajları elde etmek için dijital insanlar yetiştirmek, çevik süreçler tanımlamak, üretimi optimize etmek için de modüler teknolojileri yapılandırmak şeklinde üç temel prensip tasarımları gerektiği belirtilmiştir.

Wienbruch ve diğerleri (2018) çalışmasında; işletmelerin (özellikle KOBİ'lerin), Sanayi 4.0 konusunda bilgi sahibi olmaları ve konu hakkında tüm sektör katılımcılarına ve öğrencilere eğitim vermek amacıyla 9 özellikli genel bir öğrenme fabrikası modülü sunmaktadır. Öğrenme fabrikası modülünün aşamaları sırasıyla; Sanayi 4.0'a giriş, genel bakış prosedür modeli, hedeflerin belirlenmesi, denetim, olgunluk modeli, önlemlerin azaltılması, değerlendirilme, yinelemeli, tekrar olarak belirtilmiştir. Araştırma sonuçları, elde edilen önlemlerin ekonomik verimliliğini değerlendirmek için özellikle sosyo-teknik boyutlardaki karşılıklı bağılıkları dikkate alınmanın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Sanayi 4.0 modelini kullanarak açıklanan yaklaşım,

KOBİ'lere somut çözümler ve yeni sosyo-teknik gelişmeler hakkında bilgi edinme fırsatı verirken, Öğrenme Fabrikası kavramı, modelde açıklanan boyutlar arasındaki karmaşık ilişkileri tanımlama yeteneği için gerekli olan bütünsel yaklaşımı desteklemektedir.

Wiesner ve diğerleri (2018) çalışmasında dijitalleşmenin KOBİ'ler üzerinde yarattığı zorluklara genel bir bakış sunmuştur. Literatür incelendiğinde daha önce yapılan çalışmaların ihtiyacı karşılamadığı ve yeni bir Sanayi 4.0 olgunluk modeli geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmış ve yeni bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model özellikle KOBİ'lerin doğru teknolojileri seçmelerine yardımcı olacak, aynı zamanda akıllı hizmetleri geliştirmek için rehberlik sağlayacaktır. Modelin ana hedefi, üretimde faaliyet gösteren İtalyan KOBİ'leridir.

Zeller ve diğerleri (2018) çalışmasında, ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksini anlatmayı amaçlamıştır. İşletmenin yapısal alanları olarak kaynaklar, bilgi sistemleri, kültür ve organizasyonel yapı belirlenmiştir ve her bir yapısal alan 6 geliştirme stratejisi ile değerlendirilmiştir. Bunlar sırasıyla; bilgisayarlaştırma, bağlanabilirlik, görülebilirlik, şeffaflık, tahmini kapasite ve uyum yeteneğidir. Yapılan bu değerlendirmelerle her bir alanın ve her bir fayda odaklı gelişim seviyelerinin art arda beceriler oluşturduğu ve bu becerinin üretim işletmelerinin daha da geliştirilmesine yardımcı olacağı ortaya çıkmaktadır. Uygulama aşamasında ise ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi'nin üç ardışık aşamadan oluştuğu görülmektedir. Birinci aşama: mevcut Sanayi 4.0 olgunluk aşamasının tanımlanması, ikinci aşama: geliştirilmesi gereken yeteneklerin neler olduğunu belirlenmesi ve üçüncü aşama ise: belirlenen yeteneklerin geliştirilmesi için bir yol haritası sağlamaktır. Bu aşamaların bir üretim işletmesine anket yoluyla uygulanması ile modelin kullanılabilirliği ölçülmüş olacaktır.

Bauer ve diğerleri (2019) çalışmasında tasarım düşünce süreci yaklaşımı olarak adlandırılan ve firmaların ihtiyaçlarına göre uyarlanmış farklı Sanayi 4.0 kullanım durumlarını insan merkezli bir bakış açısıyla ortaya koymakta ve geliştirme sürecinde yenilik ve yaratıcılığa izin veren bir dizi yeni paradigma sunmayı amaçlamaktadır. Tasarım Düşünce Süreci yaklaşımı; anlayış, empati kurma, tanımlama, fikir, prototip ve test adımlarından oluşmaktadır. İlk üç adımda, proje sorun alanında çalışmaktadır. Kullanıcıların ihtiyaçlarını ve sorunun algısını anlamak için kullanıcılarla bağlantı kurulur, sorunları tanımlanır. Fikir adımının başlangıcıyla birlikte proje ekibi, hedef grupta fikir üretmeye, prototipleri geliştirmeye ve test etmeye odaklandıkları çözüm alanına doğru ilerlemektedir. Çalışmada sunulan yaklaşımın bazı danışmanlık firmalarının desteğiyle makine mühendisliği, otomotiv, ev eşyalar gibi farklı sektörlerde faaliyet göstermekte olan on proje ile desteklenmesi planlanmaktadır.

Çin İmalatı 2025 planı teorisine dayanan başka bir çalışmada Hu ve Gao (2019), Çin Akıllı Üretim Yetenek Olgunluk Modelini önermektedir. Akıllı üretim; olgunluk seviyesi, kapasite faktörü ve olgunluk gereksinimleri olarak üç açıdan ele alınmıştır. Olgunluk beş seviyede

değerlendirilmiştir. Bunlar; Seviye 1: Planlama, Seviye 2: Örnek Oluşturan, Seviye 3: Entegre, Seviye 4: Optimize edilmiş ve Seviye 5: Ön seviyedir. Bunun yanında Çin'in akıllı üretim sistem mimarisi; yaşam döngüsü, sistem seviyesi ve akıllı işlevler boyutlarından oluşmaktadır. Bu modelin değerlendirme sonuçlarına göre; temel olarak Çin'in imalat endüstrisinin ulusal koşullarına uygun olduğu doğrulandığı için imalat firmaları için referans olabileceği söylenmektedir. Ayrıca, üretim şirketlerinin akıllı üretim yeteneklerini belirlemelerine ve geliştirmelerine yardımcı olabilmekte, tedarikçileri seçmek için de bu modelin temel alınabileceği, son olarak da tedarikçilerin akıllı üretim yeteneklerini bu model aracılığıyla değerlendirebilecekleri belirtilmiştir.

Kolla ve diğerleri (2019) çalışmasında ilk olarak imalatçı bir KOBİ'nin özelliklerini ele almış, ardından Yalın Üretim Sistemleri ve Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili de bir literatür taramasına yer vermiştir. Bir üretim KOBİ'sine her olgunluk modelinin uygunluğu değerlendirilmiş ve KOBİ'lerin Yalın Üretim Sistemleri ile Sanayi 4.0 dönüşümü tartışılmıştır. Son olarak, KOBİ'lerin özellikleriyle Yalın ve Sanayi 4.0 üretim sistemleri eşleştirilerek mevcut literatürdeki araştırma boşluklarını ele alan bir öz değerlendirme modeli geliştirmek amaçlanmıştır.

Li ve Lau (2019) çalışmasında işletmelerin mevcut durumunu belirlemek için Sanayi 4.0 olgunluk modelleri mekanizmasını bilgi teknolojileri türünden incelemiştir. Çalışmada olgunluk modellerini; mevcut olgunluk modelleri, bilgi teknolojileri açısından mevcut Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ve insan merkezli bir yaklaşım olarak olgunluk modelleri şeklinde değerlendirmektedir.

Odważny ve diğerleri (2019) çalışmasında sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından olgunluk seviyelerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Yazarlar, her biri çeşitli özelliklerle tanımlanan beş olgunluk seviyesi tanımlamıştır (Seviye 1: Resmi bir yaklaşım yok, Seviye 2: Reaktif organizasyon, Seviye 3: Kararlı, formalize yaklaşım, Seviye 4: Sürekli iyileştirme yaklaşımı, Seviye 5: Dünya standartlarında üretim). Sonuçta; sürdürülebilir kalkınma alanındaki olgunluk seviyesinin analizi, tedarik zinciri gelişimindeki mevcut eğilimleri dikkate almak zorunda olduğu, Sanayi 4.0 uygulamasının sadece ileri teknoloji ve yapay zekanın kullanılmasını değil aynı zamanda iyi tasarlanmış ağ altyapısını, uygun analizleri kullanmak için yeterli analiz yazılımını ve akıllı kontrol cihazlarını gerektirdiği özellikleri ortaya çıkmakta ve tüm bu özelliklerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı destekleyeceği görülmektedir.

Perez-Lara ve diğerleri (2019) çalışmasında amaç, Sanayi 4.0'ın özelliklerini tanımlamak, tanımlayıcı ve karşılaştırmalı araştırma yöntemi ile tedarik zinciri ilkelerine göre bir ölçüm sistemi önermektir. Firmanın Sanayi 4.0 seviyesini belirlemek ve yeni teknolojilerin gelişme potansiyelini değerlendirmek için önceden tanımlanmış kriterler, değer yaratma modüllerinin geliştirmesine göre, yatay entegrasyon değerine göre, yüzde başına dikey entegrasyonun ölçüldüğü yerlerde değerlendirilir, tedarikçileri ve müşterileriyle olan bütünleşmesine göre şirket mevcut dört seviyeden birine yerleştirir. Araştırmanın sonuçları olarak; Sanayi 4.0, sistemlere otonom süreçler

sağlamak, verimlilik düzeylerini artırmak, müşteri hizmetlerini ve sürdürülebilirliği artırmak için teknolojileri, araçları, becerileri ve mevcut bilgileri içeren bir bakış açısıyla bütünleştirici olarak kabul edilmekte, firmaların yeni faaliyet tarzlarına dahil edilmesi, yeni üretken faaliyetler yürütme şeklinin anlaşılmasını ve uygulanmasını sağlayan bilgilerin yayılmasını gerektirmekte, yeni hizmet ve ürünlerin araştırılması ve geliştirilmesi süreci, teknolojik ve sürdürülebilir bir bakış açısıyla analiz edilebileceği belirtilmektedir.

Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili kapsamlı bir literatür çalışması yapmayı amaçlayan Sony ve Naik (2019) kuruluşların Sanayi 4.0'ın için hazır olup olmadığını, bu hazır olma faktörleri arasında var olan ilişkilerin ve araştırma bulgularının göz önüne alındığında gelecekteki araştırmaların nasıl devam etmesi gerektiğini değerlendirmek için temel bileşenleri belirlemektir. Bu çalışma, kuruluşlara Sanayi 4.0'ı bir işletmeye uygulamadan önce eleştirel olarak kullanmaları gereken faktörleri belirleme konusunda da yardımcı olacaktır.

Trotta ve Garengo (2019) çalışmasında KOBİ'lerin büyük şirketler için tasarlanan olgunluk modellerini kullanarak Sanayi 4.0 olgunluk seviyelerini değerlendirmede karşılaştıkları zorluklar vurgulanmış ve bu sebeple KOBİ'ler için yeni bir olgunluk ölçeği geliştirmeyi amaçlamıştır. Önerilen model için strateji, teknoloji, üretim, ürünler ve insan kriterleri söz konusudur. Her bir kriter 1'den 5'e kadar değişen bir Likert ölçek ile değerlendirilecektir. Model, firmaların olgunluk seviyelerinin kontrol edilmesine ve düşük seviyeli kriterlerin iyileştirilmesine yönelik düzenlemelerin yapılmasına izin vermektedir.

Sonuç olarak, teorik çalışmalar incelendiğinde; çalışmaların 5 tanesinin literatür incelemesi (Barata ve Cunha, 2017; Canetta ve diğerleri, 2018; Mittal ve diğerleri, 2018a; Rajnai ve Kocsis, 2018; Sony ve Naik, 2019) olduğu, 32 tanesinin ise yeni bir Sanayi 4.0 olgunluk modeli önerisi (Ganzarain ve Errasti, 2016; De Carolis ve diğerleri, 2017a; Gökalp ve Sener, 2017; Häberer ve diğerleri, 2017; Klötzer ve Pflaum, 2017; Weber ve diğerleri, 2017; Colli ve diğerleri, 2018; Leineweber ve diğerleri, 2018; Methavitakul ve Santiteerakul, 2018; Mittal ve diğerleri, 2018b; Sjödın ve diğerleri, 2018; Hu ve Gao, 2019; Trotta ve Garengo, 2019) olduğu dikkat çekmektedir.

2.2. Uygulamalı Çalışmalar

Literatürde yapılmış olan çalışmalar içerisinde ele alınan ilk uygulamalı çalışma Schumacher ve diğerleri (2016) çalışması olup bu çalışmada yeni bir model önerilmiş ve endüstriyel işletmelerin Sanayi 4.0 olgunluğunu değerlendirmek için 9 kriter ve 62 alt kriter tanımlanmıştır. Kriterler; Ürünler, Müşteriler, Operasyonlar, Teknoloji, Strateji, Liderlik, Yönetişim, Kültür ve İnsanlar olarak belirlenmiştir. Model, Avusturyalı havacılık/uzay malzemeleri tasarlayan ve üreten bir firmadaki yaklaşık 400 çalışana anket uygulanarak Likert ölçeğiyle değerlendirilmiştir. Yapılan

analizler *ürünler* kriterinin 5 üzerinden 5 olgunluk düzeyi ile en yüksek olgunluğa sahip olduğunu, *strateji* kriterinin de 2,7 ile en düşük olgunluk düzeyinde olduğunu göstermektedir.

De Carolis ve diğerleri (2017b) çalışması imalat firmalarının Sanayi 4.0 dijital teknolojilerine yatırım yapmadan önce mevcut durumlarının ne olduğunu değerlendirmek ve bu dönüşüme ayak uydurmak için ihtiyaçların neler olduğunu belirlemek amacıyla yapılmış bir çalışmadır. Çalışmada DREAMY ve CMMI ilkelerine dayanan modeller kullanılmıştır. Firmaların hazırlığı 4 boyut ile değerlendirilmiştir. Bunlar; süreç, izleme ve kontrol, teknoloji ve organizasyondur. Modelin uygulanması ve bilgi toplanması için yaklaşık 200 sorudan oluşan bir anket yapılmıştır. Makalede teorik olarak üç ayrı örnek olay incelenmiştir ve imalat firmalarının işlem alanları beş ana grupta toplanmıştır: Tasarım ve Mühendislik, Üretim Yönetimi, Kalite Yönetimi, Bakım Yönetimi, Lojistik Yönetimidir. Birinci örnek olay, gıda endüstrisinde faaliyet gösteren, şekerleme ürünlerinin üretimi ve yüksek kaliteli çikolata üretimi üzerinde uzmanlaşmış bir firmadır. İkinci örnek olay, mühendislik alanında faaliyet gösteren ve üç farklı ürün çeşidi üretiminde uzmanlaşmış bir firmadır. Üçüncü örnek olay ise, elektrik enerjisi üretiminde uzmanlaşmış bir firmadır. Yapılan analizler sonucunda firmaların Sanayi 4.0 hakkında daha kapsamlı bilgiye ihtiyacı olduğu, tedarikçilerle daha sistematik ve işbirliği içinde çalışması gerektiği şeklinde ihtiyaçları olduğu ortaya çıkmıştır.

Jæger ve Halse (2017) üretim işletmelerinin Nesnelerin İnterneti (Internet of Things: IoT) teknoloji olgunluk seviyesini ölçmek adına IoT Teknolojik Olgunluk Değerlendirme Puan Kartı geliştirilmiştir. IoT teknolojilerinin sekiz seviye ile bir olgunluk ölçeğinde nasıl kullanılması gerektiği gösterilmiş ve bu modelin küresel olarak rekabet eden dört Norveçli üretim işletmesinde kullanılabilirliği ölçülmüştür. Belirtilen üretim işletmeleri sırasıyla; mobilya üreticisi, endüstriyel boru üreticisi, gemi ekipman üreticisi ve tersanedir. Çalışma verileri; görüşmeler, toplantılar ve işletmelerde tartışma yoluyla toplanmıştır. Makale sonucunda; mobilya üreticisi işletme, gemi ekipman üreticisi işletme ve tersanelerin üçüncü seviyedeki olgunluğa uygun olduğu ve sadece endüstriyel boru üreticisi işletmenin dördüncü seviyedeki olgunluğu karşıladığı görülmektedir.

Zhu (2017) tez çalışmasında firmaların Akıllı Endüstri perspektifinden iş ve üretim süreçlerindeki performans seviyelerini belirlemelerine yardımcı olacak bir araç geliştirmeyi ve uygun teknolojiler ve yöntemler seçmeleri için firmalara rehberlik edecek Akıllı Endüstri Olgunluk Modelini (Smart Industry Maturity Model: SIMM) geliştirmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen bu yeni model beş kriter on yedi alt kriterden oluşmaktadır. Kriterler; Pazar analizi ve İndirimler/Promosyon, Tasarım/mühendislik ve İmalat operasyonları, Gelen ve Giden Lojistik, Hizmet ve son olarak da Kurum/Kültürdür. Akıllı Endüstri Olgunluk Modeli için Bütünleşik Yetenek Olgunluk Modeli (Capability Maturity Model Integration: CMMI) esas alınarak beş seviye söz konusu olmuştur. Bunlar sırasıyla; başlangıç, farkındalık, görünürlük, geliştirilebilirlik ve optimize edilmişlik olarak belirlenmiştir. Model üç farklı sektörden firmaya uygulanmıştır. A

firması, yüz yıllık geçmişi olan, sağlık hizmetleri için ürün ve hizmetler sunan büyük bir şirkettir. B firmasında yüz yıldan fazla bir geçmişi olan ve elektrik enerjisi için ürün ve hizmetler sunan büyük bir şirkettir. C firması ise, sürdürülebilir enerji için ürün ve hizmetler sunan, beş yıldan az bir tarihe sahip küçük bir yenilikçi şirkettir. Anket ile yapılan analizler C şirketinin olgunluk seviyesi her SIMM süreç grupları için A ve B şirketinden daha yüksek olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Yani, C şirketindeki iş ve üretim süreçleri Akıllı endüstri paradigmasıyla daha uyumludur ve A ve B şirketi, süreç yeniliğinin rekabet gücünü artıracak şekilde süreçleri nasıl yeniden tasarlayabileceklerini planlamaları gerekmektedir.

Akdil ve diğerleri (2018) çalışmasında çeşitli olgunluk modelleri hakkında bilgiler vermekle birlikte bu modellerden hareketle yeni bir olgunluk modeli önermeyi amaçlamıştır. Önerilen modelde akıllı ürünler ve hizmetler, akıllı iş süreçleri, strateji ve organizasyon ana kriterleri söz konusudur. Bu kriterleri değerlendirmek adına 4 seviyeli olgunluk ölçeği; Seviye 0: Yokluk, Seviye 1: Mevcut, Seviye 2: Hayatta kalma, Seviye 3: Olgunluk şeklindedir. Model Türkiye’de perakende sektöründe faaliyet göstermekte olan bir firmaya uygulanmıştır. Firmaya Likert ölçeğe göre hazırlanmış bir anketle çeşitli sorular sorulmuş, verilen cevaplara göre ilgili alan ve boyutlara ilişkin puanlar hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalardan; *akıllı ürünler ve hizmetler* ana kriterinin 2,50 ile ikinci seviye olgunluğa sahip olduğu görülürken, *akıllı iş süreçlerinin* 1,60 ile birinci seviye olgunlukta olduğu ve son olarak *strateji ve organizasyon* kriterinin de 1,14 birinci seviye olgunluğa sahip olduğu belirtilmiştir.

Asdecker ve Felch (2018) tedarik zincirlerinde Teslimat Süreci Olgunluk Modeli (Delivery Process Maturity Model 4.0: DPMM 4.0) ismiyle yeni bir olgunluk modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Söz konusu model temel dijitalleştirme, bölümlerarası dijitalleştirme, yatay ve dikey dijitalleştirme, tam dijitalleştirme ve optimize edilmiş tam dijitalleştirme bölümlerinden oluşmaktadır. Modelin uygulanması açısından Sanayi 4.0 yaklaşımları entegre veritabanı, entegre arayüzler, tutarlı veri/bilgi akışı, mobil cihazlar, dijital haritalama, otomatik izleme, makine öğrenmesi, otomatik optimizasyon, iş ortaklığı entegrasyonu olarak belirlenmiştir. Bunun yanında modelde tedarik zinciri işlemleri; sipariş işleme, depolama ve nakliye şeklinde değerlendirilmiştir. Sanayi 4.0 yaklaşımları ile tedarik zinciri uygulamaları arasındaki fark “Tek Yönlü Anova” ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, sorgulanan tüm Sanayi 4.0 yaklaşımlarının sipariş işleme ve nakliye için son derece ilişkili görünmesine rağmen, yaklaşımların depolama için uygun olmadığını göstermektedir. Modelin uygulaması sektörde 43 uzmana yapılan anketlerle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen olgunluk modelinin değerlendirilmesinde kalite kriterleri; anlaşılabilirlik, kapsamlılık, uygunluk, tutarlılık, sistematik yapı, detaylılık, kavramsal güvenilirlik, uygulanabilirlik şeklindedir. Özetle model, bir kuruluşun teslimat işlemlerindeki mevcut olgunluk seviyesinin belirlenmesine, iş birimleri ve/veya işletmelerle karşılaştırılmasına, teslimat lojistiğinde mükemmellik için kurumsal bir vizyon geliştirmeye, potansiyel iyileştirme önlemleri alınmasına ve firmalara kalkınma yolunda rehberlik sağlamayı amaçlamaktadır.

Ataman (2018) tez çalışmasında, savunma sanayinin Sanayi 4.0 olgunluk parametrelerinin tereddütlü bulanık AHP yöntemi ile önceliklendirilmesini amaçlamıştır. Söz konusu modelde strateji, ürün ve teknoloji, operasyon, insan ve Ar-Ge kültürü, yönetim ve organizasyon ana kriterleri yer almaktadır. Konu ile ilgili 3 uzmanla görüşülmüş ve en yüksek ağırlığa sahip kriterin 0,343 ile *strateji* olduğu sonucuna varılmıştır.

Bibby ve Dehe (2018) çalışmalarında savunma sektöründe faaliyet gösteren 12 işletmenin Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmeyi ve test etmeyi amaçlamıştır. Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek amacıyla üç ana kriter ve on üç alt kriter belirlenmiştir. Kriterler; geleceğin fabrikası, insan ve kültür ve strateji olarak belirlenmiştir. Olgunluğu ölçmek adına iki değerlendirme modelinden yararlanılmıştır. Bunlar; IMPULS ve Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modelidir. Bu iki modelden hareketle dört olgunluk seviyesi belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla; en düşük seviye, büyüme seviyesi, tanımlama seviyesi ve mükemmellik seviyesidir. Yapılan analizler sonucunda odak işletmenin *geleceğin fabrikası* ana kriterlere göre olgunluğu; 39,8; *insan ve kültür* ana kriterine göre 8,49 ve *strateji* ana kriterine göre 11,78 olarak belirlenmiştir. Toplam olgunluk seviyesi ise 54,35 olarak hesaplanmıştır. Son olarak aynı tedarik ağına sahip bu on iki işletmenin geleceğin fabrikası ana kriterine göre en gelişmiş ve en çok kullanılan teknolojilerin; *büyük veri*, *3D yazıcı*, *nesnelerin interneti ve siber fiziksel sistemler* olduğu görülürken; *bulut ve sensör teknolojilerinin* daha az kullanıldığı görülmektedir.

Bittighofer ve diğerleri (2018) çalışmasında toplamda 24 Alman ve Fransız işletmenin (küçük ölçekli 1, orta ölçekli 6 ve büyük ölçekli 17 işletme) Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmeyi amaçlamış ve her iki ülke açısından da Sanayi 4.0'ın zorlukları üzerinde durulmuştur. Olgunluk düzeyini değerlendirmek için Sanayi 4.0 ile ilgili tanımlayıcı kriterler kullanılarak bir anket çalışması yapılmıştır. Kişisel görüşmeler ve konferans görüşmeleri yoluyla 30 çalışanla görüşülmüştür. Ankete katılan işletmeler; otomasyon, elektronik, imalat, mekanik, mühendislik, tıp ve proses endüstrisi sektörlerindedir. Bunun yanında olgunluk modeli de 6 boyuta ayrılmıştır. Bunlar; ürün geliştirme süreci, yönlendirme ve kontrol, operasyon ve üretim, büyük veri entegrasyonu, organizasyon yapısı ve akıllı hizmetlerdir. Sonuçta işletmelerin boyutları ve olgunluk düzeyleri dikkate alınarak yapılan analizlerle *büyük veri* olgunluğunun 2,6 ile en yüksek olgunluk olduğu ve *akıllı hizmetler* olgunluğunun ise 1,4 ile en düşük seviye olgunluk olduğu sonucu elde edilmiştir.

Dos Santos ve diğerleri (2018) çalışmasında Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi Olgunluk Modelleri ile Sanayi 4.0 arasındaki ilişkiyi göstermeyi amaçlamıştır. Bu sebeple çalışmanın ilk adımında; Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi olgunluk modellerini belirlemek için Bilgi Geliştirme Süreci Yapıcı (ProKnow-C) metodolojisi üzerine bir literatür incelemesi yapılmıştır. Yapılan literatür incelemesi ile altı adet ilgili PLM (Product Life Cycle: Ürün Yaşam Döngüsü) olgunluk modeli olduğunu göstermiştir. Bunlar; Batenburg, Saaksvuori ve Immonen, Schuh ve arkadaşları,

Stark, Kärkkäinen ve arkadaşları, Terzi olgunluk modelleridir. Çalışmanın ikinci adımında ise, PLM olgunluk modelleri ile Endüstri 4.0 arasındaki ilişkinin nasıl karakterize edildiği üzerine bir araştırma yapılmış, bu araştırma için RAMI 4.0 (Referans Mimari Modeli Industrie 4.0) referans olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın sonucunda AHP analiziyle RAMI 4.0 katmanları ile olgunluk modellerinin özellikleri üzerinde bir ağırlıklandırma yapılmış, olgunluk modellerinden en yüksek puanı alan ve Sanayi 4.0 boyutlarına en fazla uyumlu olan modelin *Batenburg* olgunluk modeli (% 18,83) olduğu, *Kärkkäinen* modelinin (% 17,71) ikinci en yüksek puanı aldığı, *Terzi* modelinin (% 17,47) üçüncü en yüksek puanı alan model olduğu sonucuna varılmıştır.

Fettermann ve diğerleri (2018) çalışmalarında Sanayi 4.0 teknolojilerinin üretim/işlemler yönetimine nasıl katkıda bulunabileceğini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla Sanayi 4.0 teknolojilerini beş kategoride sınıflandırmıştır. Bunlar; teknoloji yönetimi, tam zamanında üretim, tedarik zinciri yönetimi, operasyon stratejisi ve kalite yönetimi olarak belirlenmiştir. Sanayi 4.0 teknolojisi olarak da; IoT, CPS, Mobil Cihazlar, Bulut Bilişim, Veri Analizi ve İşleme, Artırılmış Gerçeklik ve Eklemeli İmalat belirlenmiştir. Belirlenen bu teknolojiler 38 büyük firma üzerinde analizler yapılarak değerlendirilmiş ve bu firmaların hangi teknolojiye uygun oldukları, hangi operasyon alanlarında uzmanlaşabilecekleri ve hangi olgunluk seviyesinde oldukları değerlendirilmiştir. Olgunluk düzeyleri ile üretim/işlemler yönetimi alanları arasındaki ilişkiyi belirlemek için ki-kare testi ile analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda belirlenen teknolojilerle üretim/işlemler yönetimi alanları arasında en fazla kullanılan teknolojinin *IoT* olduğu ve onu takip eden teknolojilerin sırasıyla *CPS* ve *mobil cihazlar* olduğu görülmektedir.

Hamidi ve diğerleri (2018) yapmış oldukları çalışmada, Malezya'daki Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerin (KOBİ) Sanayi 4.0 dijital dönüşümüne hazır olup olmadığını araştırmışlardır. Bu sebeple Sanayi 4.0'a yönelik IMPULS olgunluk değerlendirme modelinden esinlenerek yedi kriterli bir model oluşturulmuştur. Bu modeldeki kriterler; strateji ve organizasyon, çalışanlar, dikey ve yatay entegrasyon, dağıtım kontrolü, akıllı ürün, veri odaklı hizmetler ve çalışanlardır. Ölçüm puanlarının ağırlıklandırılması için anket kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en yüksek olgunluğa sahip kriterin 7,8 ile *akıllı ürün* olduğu, en yüksek olgunluğa sahip ikinci kriterin ise 7,1 ile *çalışanlar* kriteri olduğu sonucuna varılmıştır. Malezya KOBİ'leri arasında en düşük olgunluğa sahip kriter olarak değerlendireceğimiz kriter ise 0,79 ile *dağıtım kontrolü* kriteridir. İkinci en düşük kriterin ise 2,25 olgunluk düzeyi ile *strateji ve organizasyon* olduğu belirtilmiştir.

Issa ve diğerleri (2018) çalışmasında, dijitalleşme sürecinde üretim işletmelerinin Sanayi 4.0 uygulamalarını değerlendirmek ve onları yönlendirmek amacıyla bir yol haritası geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yapılan literatür incelemesinden elde edilen bulgularla dijital dönüşümü; olgunluk ve sıralama-entegrasyon alanlarına ayırmıştır. Her bir alan kendi içinde çeşitli süreçler içermektedir. Çalışmada önerilen Sanayi 4.0 yol haritası süreçleri ise; görev gücü kurulumu, dijitalleştirme değerlendirmesi, odak tanımı, kullanım durumu fikir üretimi, kullanım durumu etki

tahmini, kullanım durumu seçimini aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamalar tıbbi ürünler üreten bir üretici firmaya çeşitli görüşmeler gerçekleştirilerek uygulanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde; geliştirilen yol haritasının firmanın dijital dönüşüm faaliyetlerine ilişkin kendi bakış açısıyla uyumlu olduğu, benzer sanayi sektördeki firmalar arasında basit bir kıyaslamanın dijital dönüşüm çabaları için çok yararlı olacağı ve geliştirilen yol haritası daha fazla şirkete uygulandığında ve daha fazla veri toplandığında da kullanılabileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Kaltenbach ve diğerleri (2018) çalışmasıyla 30 Alman işletmesi içinden en iyi performans göstermiş olan 3 imalat işletmesinin seçilmesinden hareketle, akıllı hizmetler alanında analizler yapılmış ve bu işletmelerin olgunluğunu ölçmek amaçlanmıştır. Olgunluk modeli 6 boyuta ayrılmıştır. Bunlar; ürün geliştirme süreci, yönlendirme ve kontrol, operasyon ve üretim, büyük veri entegrasyonu, organizasyon yapısı ve akıllı servislerdir. Ayrıca; akıllı hizmet değerlendirmesi şu kategorilere ayrılarak şu şekilde ağırlıklandırılmıştır; *akıllı hizmetler sunmak* 1,8; *gelecek planları* 2,0; *akıllı servis sayısı* 1,8; *otomasyon seviyesi* 2,4; *eşzamanlı mühendislik* 2,2 şeklindedir. Söz konusu işletmelerden en iyi sonuca olgunluk düzeyi 4,8 olan A işletmesi ulaşmıştır. En düşük sonuç ise 3,7'lik bir olgunlukta olan C işletmesi olmuştur.

Lu ve Weng (2018) çalışmasında akıllı imalat konusunda literatürü kapsamlı bir şekilde incelemiş ve mevcut ve gelecekteki akıllı ortamlarda önemli rol oynayan on dokuz teknolojinin olgunluğunu tanımlamış ve incelenmiştir. Tayvanda bu teknolojilerin olgunlaşma tahminleri yapılmakta ve tahminler bir teknoloji korelasyon matrisiyle düzenlenmektedir. Teknoloji öğelerinin çoğu için, teknoloji olgunluğu pazar olgunluğundan önce gelmekte, sensör cihaz entegrasyonu, makine araçları entegrasyonu, ekipman bileşenleri, risk yönetimi entegrasyon platformu, üretim planlaması optimizasyon teknolojisi ve pazar olgunluğu arasında anlamlı bir ilişki olmadığı, bu öğelerin takım tezgahlarının, ekipmanların veya bileşenlerin entegrasyon katmanının sensör cihazlarıyla entegrasyonu ve imalat çizelgeleme optimizasyonunun da bir yıl içinde olgunlaşması gerektiği öngörülmüştür.

Stich ve diğerleri (2018) çalışmasında imalat firmalarının Sanayi 4.0 durumları ile ilgili 2015 yılındaki mevcut durum ve 2020 yılında gerçekleşecek tahmini durumlarını ACATECH olgunluk endeksi ile belirlemeyi amaçlamıştır. İlk olarak, uygulama durumu ve Sanayi 4.0 kavramının gelecekteki perspektifleri hakkında Çin, Fransa, Almanya, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan 433 imalat firmasına küresel bir anket sunulmuştur. Katılımcılardan mevcut olgunluk seviyelerini ve 2020 hedeflerini dört puanlık bir ölçekte belirtmeleri istenmiştir (Farkında olmama, Kavramsal olarak bilinen, Kısmen uygulandı, Sistematik olarak uygulandı). Elde edilen sonuçlar, ankete dahil olan firmaların 2015 yılında %39'luk bir oranla Sanayi 4.0'ı kısmen uyguladığını göstermekte, 2020 yılı tahminleri ise firmaların %48'inin Sanayi 4.0'ı sistematik olarak uygulayacağını göstermektedir. Ayrıca, ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi'nin

firmalara öğrenen ve çevik bir şirkete dönüşüm için destekleyici bir araç sunduğu ve geleneksel olarak yapılandırılmış ve de imalat temelli firmalar için daha uygun olduğunu sonucuna varılmıştır.

Türkoğlu (2018) tez çalışmasında Bursa’da üretim yapan işletmelerin Sanayi 4.0 kavramını nasıl uyguladıklarını incelemiştir. 20 farklı sektörden, 70 farklı işletmenin yönetim kademesinde bulunan kişilerle anket aracılığıyla işletmelerin hazırlık düzeyleri tespit edilmiştir. Veriler arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda; Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) kullanım seviyesinin Sanayi 4.0 olgunluğu ile güçlü pozitif ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Araştırma sonucunda otomotiv sektörünün en yüksek değere sahip sektör olduğu saptanmıştır. Otomotiv sektörü ile ilişkisi olan otomotiv yan sanayi ve hammadde sektörlerinin de yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Elnagar ve diğerleri (2019) çalışmasında Sanayi 4.0 için Çevik İhtiyaç/Gereksinim Mühendisliği Olgunluk Modeli (Agile Requirement Engineering Maturity Model for Industry 4.0: AREMMI 4.0) olarak adlandırılan yeni bir olgunluk modeli sunmaktadır. Sunulan model, literatürde yer alan üç olgunluk modelinin bütünleştirilmesiyle oluşturulmuştur ve bir şirketin Sanayi 4.0’a geçmeye hazır olup olmadığını ölçen hazırlık değerlendirme için kullanılmıştır. Model 9 kriter ve 62 alt kriterden oluşmaktadır. Kriterlerin her biri, 1 ile 5 arasında Likert skoruyla değerlendirilir. Her olgunluk uygulamasının önemine bağlı olarak 1 ile 4 arasında bir ağırlıklandırma faktörü vardır. Model, Sanayi 4.0 için gerekli olan minimum olgunluk seviyelerini tanımlar, daha sonra gereksinim mühendisliği ve çevik uygulamalarının tahmini olgunluğu, Sanayi 4.0 kriterlerinin olgunluk seviyesine göre hesaplanır. AREMMI 4.0, Sanayi 4.0 için bir proje geliştirmeden önce ve sonra bir şirket için gerekli olgunluk seviyelerini değerlendirdiği için tanımlayıcı bir modeldir. Modelin uygulaması bir firmaya yapılmış ve firma ilk olarak teknoloji, yönetim, operasyon ve insanlar boyutlarında anketle değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlar en yüksek boyutun *teknoloji ve operasyonlar* olduğunu, en düşük boyutun ise *insanlar* olduğunu göstermiştir. İkinci olarak firmanın ihtiyaç analizi yapılmış her bir boyut için gerekli olan ortalama olgunluk seviyesi 2,68 olarak belirlenmiştir.

Felch ve diğerleri (2019) çalışmasında kapsamlı bir literatür incelemesi ile mevcut Sanayi 4.0 olgunluk modellerine genel bir bakış sunmayı ve bu modellerin iş uygulamalarında yaygın kullanımlarını test etmeyi amaçlamaktadır. Literatür taramasıyla elde edilen olgunluk modellerinin iş dünyasında ne kadar yaygın kullanıldığını ve bilindiğini ölçmek amacıyla profesyonel katılımcılara hitap etmek için Alman Sanayi birliklerine ve profesyonel sosyal ağlar kullanılarak çeşitli firmalara anket uygulanmıştır. Uygulanan anket sonucunda en çok bilinen olgunluk modelleri arasında McKinsey’in Dijital Yetenekler Olgunluk Modeli, IBM’in Büyük Veri Analizi Olgunluk Modeli ve PWC’nin Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli bulunmaktadır.

Keskin ve diğeri (2019) çalışmasında Sanayi 4.0 hazırlık düzeyini değerlendirmek amacıyla bir model önermeyi amaçlamıştır. Çalışmada altı ana kriter, kırk dört alt kriter söz konusudur. Kriterler sırasıyla; ürün ve hizmetler, üretim ve operasyonlar, strateji ve organizasyon, tedarik zinciri ve sanayi 4.0 entegrasyonu, iş modeli ve yasal hususlardır. İlgili ana ve alt kriterler ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla AHP yöntemi kullanılmıştır. TOPSIS ile de firmanın Sanayi 4.0 için hazırlık/olgunluk düzeyi belirlenmiştir. Model konfeksiyon sektöründe faaliyet gösteren bir işletmeye uygulanmış ve *üretim ve operasyonlar* kriterinin %37 ile Sanayi 4.0'a en çok hazır olan kriter olduğu görülmüştür. *Strateji ve organizasyon* kriteri %30 ile ikinci sırada yer alırken; diğer boyutların sırasıyla *ürünler ve hizmetler*, *tedarik zinciri ve sanayi 4.0 entegrasyonu*, *iş modeli ve yasal hususlar* olduğu karşımıza çıkmaktadır.

Koyuncu (2019) ise yüksek lisans tezinde en iyi Sanayi 4.0 olgunluk modelini seçmeyi amaçlamıştır. Bu sebeple Sanayi 4.0 hazırlık seviyesinin ölçülmesi için Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak üç uzman karar verici ile beş alternatif olgunluk modeli (VDMA Alman Mühendisler Federasyonu) Sanayi 4.0 Rehberi, IMPULS, ACATECH, Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli ve Bağlantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli) seçilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar IMPULS olgunluk modelinin en iyi model olduğunu göstermiştir. Panel üretimi yapan bir firmaya IMPULS modeli uygulanmış ve olgunluk seviyesinin 2,42 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma sonucunda mevcut firmanın mevcut durumu ve iş süreçleri tanımlanmış, firma için gelecek durum analizi yapılmış, mevcut modeldeki yenilikleri ve iyileştirmeleri içeren bir model geliştirilmiş ve benzetim tabanlı bir analiz yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Machado ve diğeri (2019) imalat sanayinin dijital dönüşüme hazırlığını ölçmek ve Sanayi 4.0'ın zorlukları, engelleri ve kolaylaştırıcılarını bir öz değerlendirme aracı ile belirlemeyi amaçlamıştır. Öz değerlendirme aracının uygulanmasıyla havacılık, işleme süreçleri, plastik ambalaj, ağır araçlar ve otomobil sektörlerini kapsayan yedi firmada vaka incelemesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, hazırlık düzeyini ve firmalar arasındaki karşılaştırmayı, artan dijitalleşmeye yönelik uygulamaları içermektedir. Ayrıca, firmaların çoğunluğun birinci olgunluk düzeyinde olduğu da tespit edilmiştir.

Pacchini ve diğeri (2019) çalışmasında, bir firmanın Sanayi 4.0 ilkelerini ve uygulamalarını benimsemeye hazır olma derecesini değerlendirmek amacıyla kavramsal bir yaklaşım önermektedir. Bu sebeple ilk olarak, Sanayi 4.0 teknolojileri ile ilgili yapılan literatür incelemesi mevcut literatüre dayanarak en ilişkili olan sekiz teknoloji belirlenmiş ve ardından Brezilya'nın Sao Paulo eyaletinde bulunan çok uluslu bir dizel motor üreticisi firmada uygulaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar söz konusu firmanın hazır olma derecesinin 0,7569 olduğunu göstermektedir. Bu sonuç firmanın Sanayi 4.0 uygulamasını desteklemek için gereken teknolojilerin % 75,7'sine sahip olduğu anlamına gelmektedir. Firmanın Sanayi 4.0 teknolojilerinden en iyi durumda olduğu teknolojisi *eklemeli imalat* olduğu; buna karşılık, en fazla

çaba gerektiren Sanayi 4.0 teknolojisi ve bu teknolojinin benimsenme derecesi % 44,4 ile *otonom robotlar* olduğu belirtilmiştir.

Schumacher ve diğerleri (2019) yapmış oldukları çalışmada endüstriyel imalat firmalarını hedefleyerek yeni bir Sanayi 4.0 olgunluk modeli önermişlerdir. Söz konusu model 8 kriter 65 alt kriterden meydana gelmektedir. Kriterler; teknoloji, ürünler, müşteriler, değer yaratma süreçleri, veri ve bilgi, kurumsal standartlar, çalışanlar ve strateji olarak belirlenmiştir. Makalenin uygulama kısmında ise olgunluk düzeyi; Avusturya, Çin ve Hindistan'daki üç tesiste 65 soruluk anketle ölçülmüştür. Yapılan analizlerle Hindistan ve Çin'de yer alan tesislerde en son teknolojiyi kullanmaları açısından *değer yaratma süreçleri* ile *veri ve bilgi* kriterlerinin yüksek olgunluk gösterdiği, Avusturya'da ise *çalışanlar*, *kurumsal standartlar* ve *müşteriler* kriterlerinin yüksek olgunluk gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Temur ve diğerleri (2019) IMPULS modelini kullanarak ve tüm kriter ağırlıklarının eşit olduğunu kabul ederek üç farklı sektörden firmanın Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmeyi amaçlamışlardır. Yapılan analizler inşaat firmasının 3,75 ile deneyimli firma olduğunu, tekstil firmasının 1,96 ile yeni başlayan bir firma olduğunu, tel üretim firmasının ise 2,1 ile yeni başlayan bir firma olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Özetle, yapılan 62 çalışmanın 25 tanesi uygulamaya yönelik olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki bulgulara ve sonuçlara ulaşılabılır:

- İncelenen çalışmalardan IMPULS modelinin uygulandığı üç çalışmaya (Hamidi ve diğerleri, 2018; Koyuncu, 2019; Temur ve diğerleri, 2019), ACATECH modelinin uygulandığı bir çalışmaya (Stich ve diğerleri, 2018) rastlanmıştır. Diğer çalışmalar ise çoğunlukla araştırmacılar tarafından önerilen modellerden (Schumacher ve diğerleri, 2016; Jæger ve Halse, 2017; Zhu, 2017; Akdil vd., 2018; Asdecker ve Felch, 2018; Bibby ve Dehe, 2018; Bittighofer ve diğerleri, 2018; Dos Santos ve diğerleri, 2018; Issa ve diğerleri, 2018; Kaltenbach ve diğerleri, 2018; Elnagar ve diğerleri, 2019; Keskin ve diğerleri 2019; Schumacher ve diğerleri, 2019) oluşmaktadır.
- Olgunluk modellerinin en sık uygulandığı sektörlerin; elektronik (De Carolis ve diğerleri, 2017b; Zhu, 2017; Bittighofer ve diğerleri, 2018; Pacchini ve diğerleri, 2019), havacılık ve otomobil (Schumacher ve diğerleri, 2016; Türkoglu, 2018; Schumacher ve diğerleri, 2019; Machado ve diğerleri, 2019), tekstil (Akdil ve diğerleri, 2018; Keskin ve diğerleri, 2019; Temur ve diğerleri, 2019) ve savunma (Ataman 2018; Bibby ve Dehe, 2018) olduğu görülmektedir.
- Öte yandan, olgunluk düzeyinin ölçümünde çoğunlukla Likert ölçeğinin kullanıldığı (Lichtblau ve diğerleri, 2015; Geissbauer ve diğerleri, 2016; Schumacher ve diğerleri, 2016; Akdil ve diğerleri, 2018; Türkoglu, 2018; Felch ve diğerleri, 2019; Schumacher ve

diğerleri, 2019), bazı çalışmalarda ise; Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin kullanıldığı (Ataman, 2018; Dos Santos ve diğerleri, 2018; Keskin ve diğerleri, 2019, Koyuncu, 2019) dikkat çekmektedir.

- Ayrıca, uygulamalı çalışmaların dördünde (Fettermann ve diğerleri, 2018; Bibby ve Dehe, 2018; Lu ve Weng, 2018; Pacchini ve diğerleri, 2019) Sanayi 4.0'ın temel yapı taşlarının (CPS, IoT gibi) firmalardaki kullanımlarının hangi olgunlukta olduğu değerlendirilmiştir.

İlgili literatür incelendiğinde; bu tez çalışmasının üç yönden farklılık gösterdiği söylenebilir. Birincisi, lojistik sektörünün ve firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmeye yönelik daha önce yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmaması bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayırmaktadır. İkincisi, bu çalışmada AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı bütünleşik kullanılarak firmaların olgunluğu ölçülmüş ve sıralama yapılmıştır. Üçüncüsü ise; önerilen yeni yaklaşımla AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemleri ile firmaların sıralamasının yapılabileceğinin görülmüş olmasıdır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE SANAYİ 4.0 OLGUNLUK DÜZEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI

Çalışmanın üçüncü bölümü, çalışmanın önemi ve amacı, çalışmada kullanılan yöntemler, uygulama ve tartışma olarak dört başlık altında gerçekleştirilmiştir.

3.1. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Rekabete dayalı dinamik bir sektör olan lojistik sektöründe yer alan firmaların hayatta kalabilmeleri için sahip oldukları finansal ve fiziksel tüm kaynakları etkili ve verimli bir şekilde kullanmaları gerekmektedir. Bununla birlikte teknoloji ve inovasyon alanındaki gelişmeleri takip etmeli, yeteneklerini de sürekli olarak geliştirmeleri gerektirmektedir. Lojistik faaliyetlerin hem dış ticarete hem de GSYİH'da hızlı bir büyüme performansı yakalaması, imalat sanayisindeki süreçler içerisinde yer alması, rekabet gücü üzerinde önemli etkisi olması ve çevreyle sürekli etkileşimde olması nedeniyle sanayinin gelişimi ve dönüşümünde güçlü etkisinin olduğu bir gerçektir (<https://www.ulk.sakarya.edu.tr/wp-content/uploads/2018/05/Ula%C5%9Ft%C4%B1rma-ve-Lojistik-Sekt%C3%B6r-Raporu-2018.pdf>). Bu yönü ile değerlendirildiğinde Sanayi 4.0'ın, bilişim teknolojilerini ürün yaşam döngüsüne ve tüm süreçlere dâhil eden lojistik sektörüne önemli ölçüde etki edeceği görülmektedir. Ayrıca, ülkemizin coğrafi konumu birçok ülkeye taşımacılık faaliyetleri ile kolay erişim sağlama imkanı sunarken, Türkiye'de lojistik sektörü milli gelirden yaklaşık %13'lük bir paya sahiptir (<https://www.ulk.sakarya.edu.tr/wp-content/uploads/2018/05/Ula%C5%9Ft%C4%B1rma-ve-Lojistik-Sekt%C3%B6r-Raporu-2018.pdf>).

İlgili literatür incelendiğinde Sanayi 4.0 için olgunluk düzeylerinin ölçülmesi amacıyla lojistik sektörünün ve firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmek amacıyla gerçekleştirilen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin AHP ile bütünleşik olarak kullanıldığı ve firmaların sıralandığı herhangi bir çalışmanın olmadığı da görülmüştür. Bu sebeple; IMPULS modeline dayalı olarak belirlenen kriterler ve alt kriterler kullanılarak lojistik sektörünün ve firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeyleri ölçülmüş ve firmaların sıralanmasına yönelik bütünleşik bir Çok Kriterli Olgunluk Yaklaşımı önerilmiştir. Ayrıca, çıkan sonuçlar IMPULS modeline göre değerlendirilmiş ve firmalara yönetsel önerilerde bulunulmuştur. Üç aşamada gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk

aşamasında; AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile lojistik sektörünün ve firmaların olgunluk düzeyleri ayrı ayrı hesaplanmış, firmalar sıralanmış ve her bir firmaya yönelik yönetimsel önerilerde bulunulmuştur. İkinci aşamada firmalar TOPSIS yöntemi ile sıralanmış ve son olarak da VIKOR yöntemi ile sıralama yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Korelasyon analizi ve Duyarlılık analizi de yapılarak çıkan sonuçların geçerliliği tartışılmıştır.

3.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

3.2.1. AHP Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1970'li yılların başında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve karmaşık karar problemlerinin çözümünde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir (An vd., 2007: 2574; Dağdeviren vd, 2007: 792). AHP, karar vericilerin tercihlerinde, grup veya bireyin önceliklerini de dikkate alan, çoklu nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir (Perçin, 2009: 591). Bu yöntemde karmaşık gibi görünen karar problemleri, belirlenen ana hedeften kriterlere ve alt kriterlere uzanan hiyerarşik bir yapı içerisinde gösterilebilmektedir (Saaty ve Ozdemir, 2003a: 1064). AHP yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Shyjith vd., 2008: 379; García vd., 2014: 65; Oğuz ve Ustasüleyman, 2015: 27).

1. Adım: Problemin Tanımlanması ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: Karar problemi tanımlandıktan sonra hiyerarşik yapının oluşturulması AHP sürecinin temelini oluşturur. Aslında hiyerarşik gösterim unsurlar arasındaki ilişkiyi gösterir. Öncelikle oluşturulan hiyerarşinin en tepesinde probleme ilişkin nihai amaç yer alırken, amacın altında, gerekli kriterler; varsa kriterlerin alt kriterleri ve son olarak da hiyerarşinin en alt seviyesinde alternatiflere yer verilmektedir.

2. Adım: İkili Karşılaştırmalar: AHP yönteminin ikinci ve en temel adımı olarak kabul edilen bu adımda, hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra tüm kriterlerin birbiri üzerindeki göreceli önemlerinin tespiti için ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu matrisler oluşturulurken karar verici, Saaty (1994) tarafından geliştirilen ve aşağıda yer alan 1-9 skalasını temel alarak önem derecelerinin belirlenmesine karar vermektedir.

Tablo 10: AHP’de Kullanılan İkili Karşılaştırma Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Her iki kriterin hedefe eşit derecede katkısının olması durumudur.
3	Orta derecede önemli	Karşılaştırılan iki kriterinin birinin diğerine göre biraz daha fazla katkısının olması durumudur.
5	Güçlü derecede önemli	Kriterlerden birinin diğerinden fark edilebilir şekilde katkısının olması durumudur.
7	Çok güçlü derecede önemli	Kriterlerden birinin diğerine göre çok güçlü derecede katkısının olması durumudur.
9	Son derece önemli	Kriterlerden birinin diğerinden olabilecek en yüksek düzeyde katkısının olması durumudur.
2,4,6,8	Ara değerler	Önem seviyesi belirlenirken uzlaşma gerektiren iki kriter arasında kalan değer için kullanılır.

Kaynak: Saaty, 1994: 26

Farklı kriterlerin ikili karşılaştırmaları Tablo 10’da görüldüğü gibidir. Karşılaştırma matrisleri n sayıda kriter, $i=1,2,\dots,n$ ’e kadar ve $j=1,2,\dots,n$ ’e kadar olmak üzere satır ve sütunlarda sıralı bir şekilde oluşturulmaktadır. Aşağıdaki eşitlik (1)’de görüldüğü gibi matristeki $1/a_n$ terimi, karşılaştırma matrisinde amaca ulaşmada i. kriterin j. kriterden ne kadar daha önemli olduğunu ifade etmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & 1 & \dots & \vdots \\ 1/a_n & 1/a_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.Adım: Kriterlerin Göreli Önemlerinin Belirlenmesi: İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra AHP hesaplamalarına devam etmek adına elde edilen matrisleri her bir sütun toplamı 1,00 olacak şekilde normalize etmek gerekmektedir. Normalizasyon işlemi için öncelikle her bir karşılaştırma matrisinin sütun toplamaları alınır ve her bir sütun değeri sütun toplamına bölünerek normalleştirilir. Son adım olarak, satırlarda yer alan değerlerin ortalamaları alınarak ağırlıklar elde edilmiş olur.

4. Adım: Tutarlılık Oranının Hesaplanması: AHP yönteminde karar matrislerini oluşturan karar vericilerden tutarlı davranmaları beklenmektedir. Burada tutarlılıktan kastedilen; kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin ikili karşılaştırılmalarının belirlenmesinde verilen kararların uyumluluk içinde olmasıdır. Saaty (1994) tutarlılığı ölçmek amacıyla aşağıdaki eşitlikleri önermiştir:

$$\text{Tutarlılık göstergesi (CI)} = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (2)$$

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\text{Tutarlılık Göstergesi}}{\text{Rassallık Göstergesi}} = CI/RI \quad (3)$$

Tutarlılık göstergesinin hesaplanabilmesi için eşitlik (2)'den yararlanılmaktadır. Burada λ_{\max} en büyük öz vektör değeri, n ise matris boyutudur. Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için ise eşitlik (3)'ten yararlanılmaktadır. Söz konusu eşitlikteki RI değerleri Tablo 11'de görüldüğü gibi en fazla 15 boyutlu matrisler için hesaplanmaktadır.

Tablo 11: Rassal İndeks Göstergeleri

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Kaynak: Saaty ve Özdemir, 2003b: 241

Genel olarak, tutarlılık oranı'nın 0,10'dan küçük olması, ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlı ve kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

3.2.2. Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı

Yapılan literatür araştırmasıyla Sanayi 4.0'da olgunluk analizini kolaylaştırmak ve söz konusu modelleri bir değerlendirme aracına dönüştürmek için ilk olarak Schumacher (2016) tarafından önerilen eşitlik (4) kullanılmaktadır. (Canetta vd., 2018: 5; Kaltenbach vd., 2018: 6; Schumacher vd., 2019: 412; Temur vd., 2019: 418).

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n g_i * f_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlik yardımıyla olgunluk skoru oluşturmak için olgunluk kriterlerinin ağırlıklı ortalaması her bir kategorinin puanlaması ile çarpılır ve tüm kategorilerin toplamı ağırlık faktörüne bölünür (Kaltenbach vd., 2018: 6). Eşitlikte, g_i değeri ağırlık değerini ifade ederken, f_i değeri her bir olgunluk kriterinin ağırlıklı ortalaması için puanlama değerini ifade etmektedir. Bu eşitlik yardımıyla firmaların Sanayi 4.0 hazırlık düzeyleri belirlenmektedir.

3.2.3. TOPSIS Yöntemi

1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, pozitif ideal çözümden en kısa mesafeye ve negatif ideal çözümden en uzak mesafeye sahip en iyi alternatifi seçmeye dayanan tutarlı ve sistematik bir ÇKKV tekniğidir (Shyjith vd., 2008: 381). Pozitif ideal çözüm maliyet kriterini minimize edip fayda kriterini maksimize ederken, negatif ideal çözüm maliyet kriterini maksimize edip fayda kriterini minimize etmektedir (Shyjith vd., 2008: 381; Behzadian vd., 2012: 13052).

TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Opricovic ve Tzeng, 2004: 449; Shyith vd., 2008: 381; Perçin ve Sönmez, 2018: 571)

1. Adım: Başlangıç Karar Matrisinin (A) Oluşturulması: Karar verici tarafından oluşturulan başlangıç karar matrisinde m tane karar birimi sayısı ve n tane karar kriteri olmak üzere (mxn) boyutlu A karar matrisi eşitlik (5)'deki gibi oluşturulur.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1j} \\ a_{12} & a_{22} & a_{2j} \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{ij} \end{bmatrix} \quad (5)$$

2. Adım: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin (R) Oluşturulması: Başlangıç karar matrisi kullanılarak matris içindeki her bir elemana eşitlik 6'da yer alan işlem uygulanarak yeni bir R matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (6)$$

3. Adım: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisinin (V) Oluşturulması: Normalize edilmiş karar matrisindeki her bir değer ilgili kriter ağırlıkları (W_j) ile çarpılarak eşitlik (7)'de görüldüğü gibi ağırlıklandırılmış normalize matrisi oluşturulur.

$$V_{ij} = r_{ij} \times W_j \quad (7)$$

4. Adım: Pozitif İdeal (A^+) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması: Pozitif ideal çözüme ulaşabilmek için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin (V_{ij}) her sütunundaki maksimum değerler dikkate alınır. Negatif ideal çözüme ulaşabilmek için ise; V_{ij} matrisindeki minimum değerler dikkate alınır. Pozitif ideal çözüm (A^+) ve negatif ideal çözüm (A^-) sırasıyla eşitlik (8) ve (9) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (8)$$

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (9)$$

5. Adım: Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Noktalarına Olan Uzaklıkların Hesaplanması: Alternatiflerin her bir karar noktasına ilişkin pozitif ideal (S_i^+) ve negatif ideal (S_i^-) çözüm noktalarına olan uzaklıklarının hesaplanması amacıyla Oklid uzaklıkları kullanılır ve (10) ve (11) nolu eşitliklerden faydalanılarak hesaplanmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad (10)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (11)$$

6. Adım: İdeal Çözüme Olan Görelî Yakınlığın Hesaplanması: Her bir alternatifin ideal çözüme olan görelî yakınlığının (C_i) hesaplanmasında pozitif ve negatif yakınlıklar dikkate alınır ve de eşitlik (12) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (12)$$

$0 \leq C_i \leq 1$ ve 1'e yakınlık pozitif ideal çözüme, 0'a yakınlık negatif ideal çözüme mutlak yakınlığı ifade eder. Bununla birlikte alternatiflerin büyükten küçüğe sıralanması ve yüksek değerin daha çok başarıyı ifade ettiği tercih sırası belirlenir.

3.2.4. VIKOR Yöntemi

1998 yılında Opricovic tarafından uygulanabilir bir yöntem olarak karşımıza çıkan VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, karar verici tarafından belirlenen alternatiflerin sıralanması amacıyla ve birbiriyle çelişen kriterlerin varlığı halinde alternatifler arasından seçim yapmayı sağlayan bir ÇKKV yöntemidir (Opricovic ve Tzeng, 2004: 447; Opricovic ve Tzeng, 2007: 515). Yöntemin amacı, uzlaşmacı bir çözüm ile maksimum grup faydası (çoğunluk kuralı) ve minimum bireysel pişmanlığı sağlayacak çözüm anlayışıyla ideale en yakın sonuca ulaşmaktır (Fu vd., 2015: 65; Yıldız ve Deveci, 2013: 429).

VIKOR yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2004: 447; Opricovic ve Tzeng, 2007: 515; Çakır ve Perçin, 2013: 81):

1. Adım: Başlangıç Karar Matrisindeki En İyi (f_i^+) ve En Kötü (f_i^-) Değerlerin Hesaplanması: Başlangıç karar matrisindeki kriterlerin en iyi ve en kötü değerleri, fayda ve maliyet yönlü olması açısından eşitlik (13) ve (14)'de görüldüğü gibi hesaplanabilmektedir.

$$f_i^+ = \max_j f_{ij}, f_i^- = \min_j f_{ij} \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{fayda kriteri için}) \quad (13)$$

$$f_i^+ = \min_j f_{ij}, f_i^- = \max_j f_{ij} \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{maliyet kriteri için}) \quad (14)$$

2. Adım: S_j ve R_j Değerlerinin Hesaplanması

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^+ - f_{ij}) / (f_i^+ - f_i^-) \quad (15)$$

$$R_j = \max \left[\frac{w_i (f_i^+ - f_{ij})}{(f_i^+ - f_i^-)} \right] \quad (16)$$

Yukarıdaki eşitliklerden yararlanarak grup faydası (S_j) ve kişisel pişmanlık (R_j) değerleri hesaplanmaktadır. Ayrıca eşitlik (15) ve (16)'da yer alan w_i değeri kriter ağırlıklarını ifade etmektedir.

3. Adım: Q_j Değerinin Hesaplanması: Q_i değerleri eşitlik (17) yardımıyla her bir alternatif veya değerlendirme birimi için hesaplanır.

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^+)}{(S^- - S^+)} + (1 - v) \frac{(R_j - R^+)}{(R^- - R^+)} \quad (17)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan $S^+ = \min_j S_j$; $S^- = \max_j S_j$; $R^+ = \min_j R_j$; $R^- = \max_j R_j$ değerlerini ifade etmektedir. Denklemden yer alan v değeri ise, maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı belirtirken, $(1-v)$ değeri ise karar vericilerin minimum pişmanlığının ağırlığını temsil etmektedir. Literatürde genellikle $v=0,5$ olması tercih edilmektedir.

4. Adım: Uzlaşık Çözüm için Q_j , S_j ve R_j Değerlerinin Sıralanması: VIKOR yönteminde elde edilen Q_j , S_j ve R_j değerleri azalan bir şekilde sıralanır ve en küçük Q_j değerine sahip alternatif en iyi seçenek olarak belirlenir.

5. Adım: Uzlaşık Çözümün (En İyi Alternatifin) Bulunması: Sıralama işleminin doğruluğunu test etmek adına minimum Q_j değerine sahip alternatifin uzlaşık çözüm olarak önerilebilmesi için aşağıdaki iki koşulu sağlayıp sağlamadığı test edilir.

1. Koşul - Kabul edilebilir avantaj: Eşitlik (18)'de yer alan A_1 değeri ilk sırada yer alan en iyi alternatifi gösterirken, A_2 değeri ikinci sırada yer alan en iyi alternatifi göstermektedir. Bunun yanında eşitlik (19)'da yer alan J değeri ise alternatif sayısını göstermektedir.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ \quad (18)$$

$$DQ = 1/(J - 1) \quad (19)$$

2. *Koşul* - Kabul edilebilir istikrar: Önerilen uzlaşık çözümün istikrarlı olup olmadığının belirlenebilmesi için (A_1), S ve R değerleri cinsinden yapılan sıralamalardan en az birinde en iyi değere sahip olmalıdır.

Yukarıdaki iki koşuldan birinin sağlanamaması durumunda aşağıda belirtilen uzlaşık çözüm seti önerilmektedir.

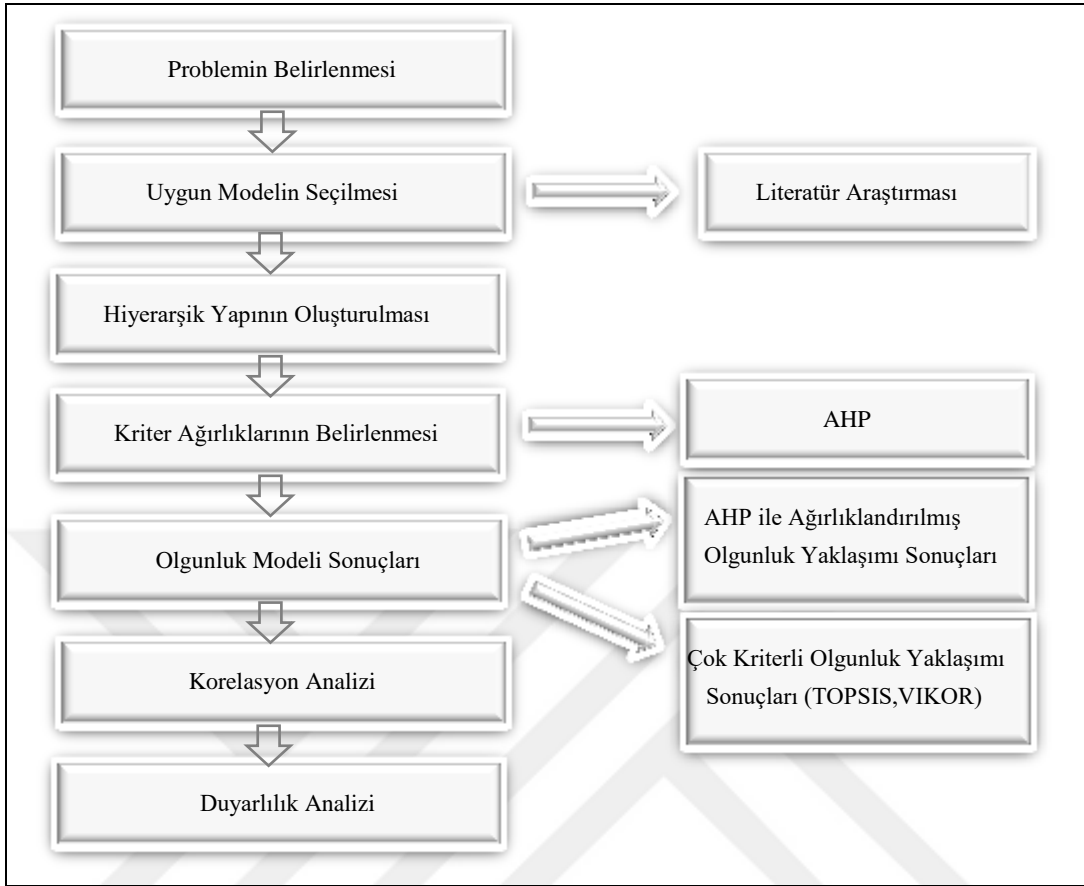
- Koşul 2 sağlanamazsa A_1 ve A_2 alternatifleri,
- Koşul 1 sağlanamazsa A_1, A_2, \dots, A_m alternatifleri için A_m alternatifi için aşağıdaki ilişkinin sağlanması sonucu elde edilir.

$Q(A_m) - Q(A_1) < DQ$ Elde edilen bu eşitlikteki alternatiflerin pozisyonu yakınlık kriterine göre. Q değerlerine göre yapılan uzlaşık çözüm sıralamasına göre en iyi alternatif, en düşük Q değerine sahip alternatiflerden biridir.

3.3. Uygulama

Bu çalışmada, IMPULS modelinin değerlendirme kriterleri baz alınarak AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile firmaların olgunluk düzeyleri belirlenerek firmalar sıralanmış ve önerilen bütünlük Çok Kriterli Olgunluk Yaklaşımı (AHP-TOPSIS, AHP-VIKOR) ile de firmaların olgunluk düzeyleri ölçülmüştür. Son olarak firmalara IMPULS modeline göre yönetsel önerilerde bulunulmuştur. Çalışma kapsamında seçilen firmalar, Capital dergisinde 2018 yılı ciro sıralamasında ilk 500 firma arasında yer alan ve sektörde faaliyet gösteren 22 firma içerisinde isminde lojistik kelimesi geçen 11 firmadır. Ancak bir firma katılmayacağını belirttiğinden 10 firma çalışmaya dahil edilmiştir. Firma değerlendirmeleri için iki ayrı anket hazırlanmıştır. İlk anket, kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla lojistik ve Sanayi 4.0 konularında deneyimli olan 11 akademisyen tarafından cevaplanan AHP anketidir. İkinci anket ise, değerlendirmeye katılan firmalarda, firma algısını doğru temsil edeceği düşünülen, her firmadan bir Sanayi 4.0 yetkilisi tarafından cevaplanan Olgunluk Düzeyi anketidir. Uygulama süreci Şekil 2'de gösterilen adımlarla gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2: Uygulama Sürecinin Akış Şeması



3.3.1. Problemin Belirlenmesi

Çalışmanın problemi; lojistik sektörünün Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin ölçülmesi, firmaların sıralanması ve firmaların genel durumları hakkında bilgi sahibi olunması olarak belirlenmiştir.

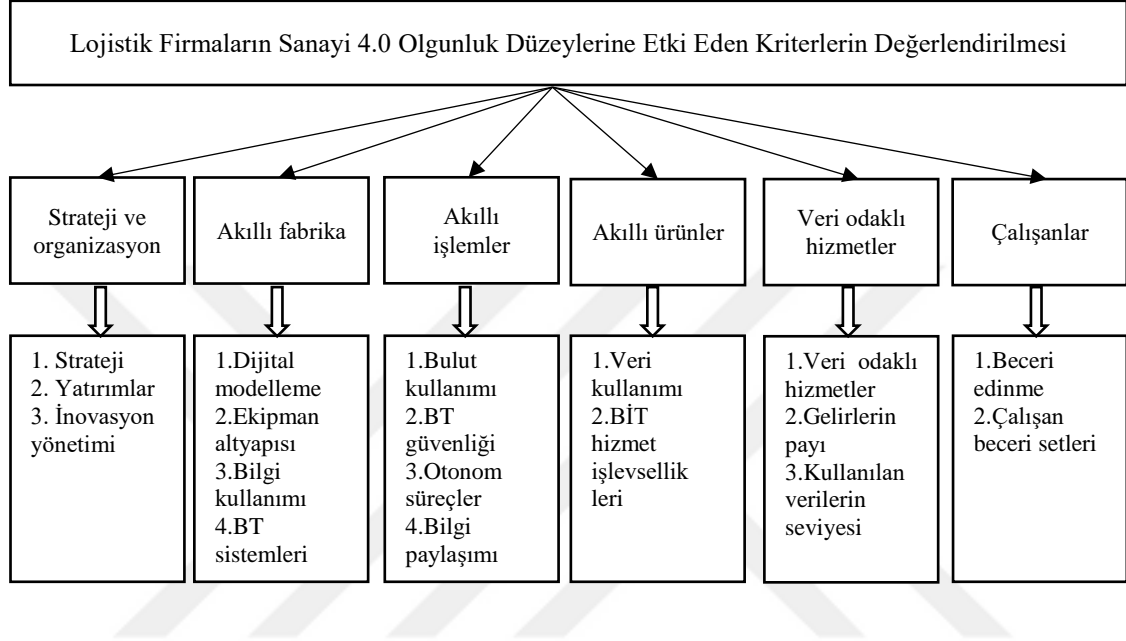
3.3.2. Uygun Modelin Seçilmesi

Yapılan literatür araştırması birçok farklı olgunluk modelinin olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada IMPULS modelinin tercih edilme sebebi; modelin değerlendirme ölçütlerinin Sanayi 4.0'daki yeni bilişim teknolojileri ile lojistik uygulamalarda meydana gelecek birçok yenilik ve değişim için uygun olması vurgulanmış, ayrıca akıllı işlemler ile veri odaklı hizmetlerle yeni lojistik ağlar tasarlanacağı ve bunun da firmalarda büyük oranda verimlilik artışı sağlayacağı IMPULS modeli incelendiğinde görülmüştür (Lichtblau vd., 2015: 34). Öte yandan, IMPULS modelinin literatürde en yaygın kullanılanlardan biri olması ve Koyuncu (2019) tarafından yapılan çalışmada en iyi model olarak seçilmesi de tercih edilme sebeplerini güçlendirmiştir.

3.3.3. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin IMPULS modeline dayalı kriter ve alt kriterleri için oluşturulan hiyerarşik yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir.

Şekil 3: Lojistik Firmalar için Sanayi 4.0 Olgunluk Düzeyi Hiyerarşik Yapısı



Çalışmada kullanılan kriterler, IMPULS Vakfının Alman Makine Mühendisleri, Endüstri Birliği uzmanları ve bazı endüstri temsilcileri tarafından geliştirilen IMPULS modelinin ölçütleridir. Bu kapsamda modelde kullanılan alt kriterlerin açıklamaları Tablo 12'de gösterilmektedir.

Tablo 12: Çalışmada Kullanılan Kriter ve Alt Kriterler

Kriter/Alt kriter	Açıklama
1. Strateji ve Organizasyon	
Strateji	Sanayi 4.0 stratejisinin uygulanma durumu
Yatırımlar	Sanayi 4.0 alanında yapılacak yatırım faaliyetleri
İnovasyon yönetimi	Sanayi 4.0 yönünde firmanın geliştireceği ya da ekleyeceği teknoloji ve inovasyonlar hakkında strateji geliştirmesi
2. Akıllı fabrika	
Dijital modelleme	Üretim süreçlerinin entegrasyonu ve dijital olarak modellenmesi
Ekipman altyapısı	Veri toplamak için sensör teknolojisi, aktüatörler, makineler ve robotlar gibi teknolojik ekipmanlar ile entegre çalışma
Bilgi kullanımı	Tüm faaliyetlerle ilgili bilgilerin toplanması ve kullanılması
BT sistemleri	Firma sistemlerinde doğrudan MES, ERP, SCM gibi akıllı operasyon faaliyetlerinin kullanımı
3. Akıllı işlemler	
Bulut kullanımı	Bulut bilişim teknolojisinin kullanım düzeyi
BT güvenliği	Bilgi teknolojisinde kullanılan verilerin korunması
Otonom süreçler	Kendi kendini kontrol eden ve karar verebilen iş parçaları ile planlanan süreçler
Bilgi paylaşımı	Firma faaliyetlerinin iyi takip ve koordine edilebilmesi için insanlar, süreçler ve nesnelere arasında faaliyetlerin işleyişi ve süreçler hakkında bilgi paylaşımı
4. Akıllı ürünler	
Veri kullanımı	Ürün durumunun izlenmesi, optimize edilmesi ile kendi kendini raporlama, entegrasyon, lokasyon belirleme, otomatik kimlik tespiti ve izleme gibi fonksiyonların analizi
BİT hizmet işlevsellikleri	Süreçlerin geliştirilmesine ilişkin Bilgi İletişim Teknolojilerine dayalı hizmetler sunulması
5. Veri odaklı hizmetler	
Veri odaklı hizmetler	Firmaların sağladıkları hizmetlere ek olarak, satış sonrası geniş kapsamlı hizmetler sunulması
Gelirlerin payı	Yenilikçi iş modelleri veya süreçlerinin geliştirilmesi ile elde edilen gelirlerin payı
Kullanılan verilerin seviyesi	Müşteri faydasını artırmak için yenilikçi iş modelleri ve dijitalleştirilmiş süreçler ile ilgili kullanılan verilerin payı
6. Çalışanlar	
Beceri edinme	Çalışanların yeni bilişim teknolojilerine (veri kaydı, transferi, manipülasyonu, kullanımı ve yorumlanması için geliştirilmiş teknolojiler) yönelik beceriler edinmesi
Çalışan beceri setleri	Çalışanların yeni bilişim teknolojilerine yönelik sahip olduğu beceri setleri

Kaynak: Lichtblau vd. 2015'den derlenmiştir.

3.3.4. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterler ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla kullanılan AHP yöntemi, ikili karşılaştırmaya önem veren ve uygulanması kolay bir yöntem olması sebebiyle tercih edilmiştir. Bu sebeple, lojistik ve Sanayi 4.0 konularında deneyimli olan 11 akademisyene AHP anketi uygulanmıştır. Bu kapsamda oluşturulan anket Ek 1'de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen göreceli ve global ağırlıklar Tablo 13'de görüldüğü gibidir.

Tablo 13: Kriterlerin Görelî ve Global Ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları	Global Ağırlık
Strateji ve Organizasyon	0,447	Strateji (K1)	0,629	0,281
		Yatırımlar (K2)	0,215	0,096
		İnovasyon Yönetimi (K3)	0,156	0,070
Akıllı Fabrika	0,194	Dijital Modelleme (K4)	0,352	0,068
		Ekipman Altyapısı (K5)	0,325	0,063
		Bilgi Kullanımı (K6)	0,199	0,038
		BT Sistemleri (K7)	0,124	0,024
Akıllı İşlemler	0,132	Bulut Kullanımı (K8)	0,274	0,036
		BT Güvenliği (K9)	0,331	0,044
		Otonom Süreçler (K10)	0,172	0,023
		Bilgi Paylaşımı (K11)	0,222	0,029
Akıllı Ürünler	0,087	Veri Kullanımı (K12)	0,811	0,071
		BİT Hizmet İşlevsellikleri (K13)	0,189	0,017
Veri Odaklı Hizmetler	0,068	Veri Odaklı Hizmetler (K14)	0,584	0,040
		Gelirlerin Payı (K15)	0,244	0,017
		Kullanılan Verilerin Seviyesi (K16)	0,172	0,012
Çalışanlar	0,073	Beceri Edinme (K17)	0,685	0,050
		Çalışan Beceri Setleri (K18)	0,315	0,023

Tablo 13 incelendiğinde; en önemli ana kriterin 0,447'lik ağırlığı ile *strateji ve organizasyon* olduğu, en düşük ağırlığa sahip kriterin ise 0,068'lik ağırlık değeri ile *veri odaklı hizmetler* olduğu görülmektedir. Öte yandan, yapılan tüm ikili karşılaştırmalar sonucunda karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranlarının 0,10'dan küçük olması sebebiyle verilerin tutarlı olduğu söylenebilir.

3.3.5. Olgunluk Modeli Sonuçları

Bu bölümde, ilk olarak AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile firmaların olgunluk düzeylerinin ölçümü gerçekleştirilmiş ve firmalar sıralanmıştır. Daha sonra firmaların önerilen Çok Kriterli Olgunluk Yaklaşımı, AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemleri kullanılarak sıralaması gerçekleştirilmiştir.

3.3.5.1. AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı Sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde Schumacher ve diğerleri (2016) tarafından önerilen eşitlik (4)'den yararlanılarak 10 lojistik firmaya uygulanan olgunluk düzeyi değerlendirme anketiyle, firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeyleri ölçülmüştür. Eşitlikte AHP yöntemiyle elde edilen ağırlık değerleri ve her alt kriter için sorulara verilen puanlar çarpılarak elde edilen değerler toplanmış ve sonuç toplam ağırlık değerlerine bölünmüştür.

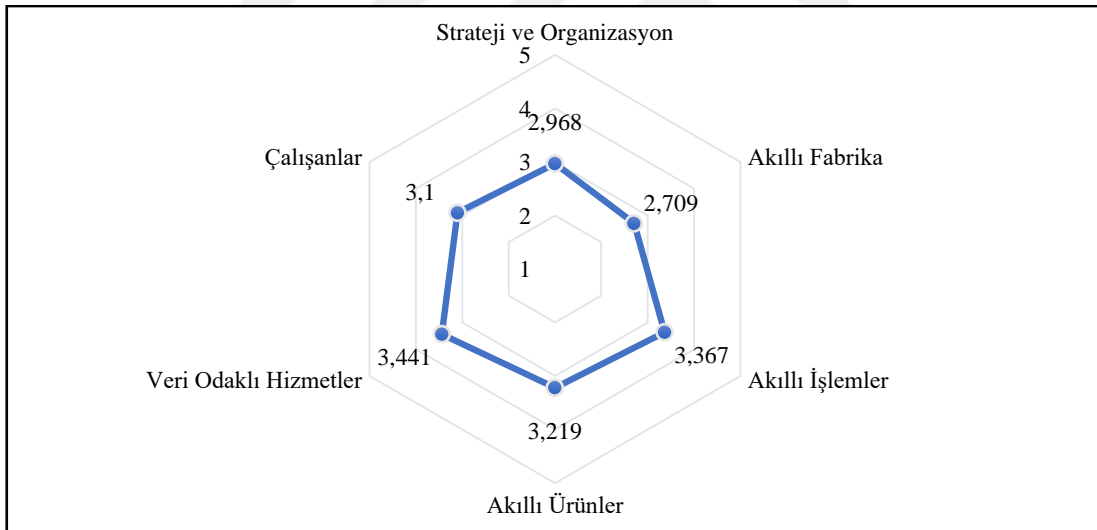
Olgunluk düzeyi eşitliğinden (4) yararlanarak lojistik sektörünün belirlenen Sanayi 4.0 olgunluk düzeyi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$M = \frac{0,281*2,900+0,096*3,000+0,070*3,200+0,068*2,800+0,063*2,500+0,038*2,900+0,024*2,700+0,036*3,200+0,044*4,000+0,023*2,500+0,029*3,300+0,071*3,200+0,017*3,300+0,040*3,500+0,017*3,400+0,012*3,300+0,050*3,100+0,023*3,100}{1,000} = 3,035$$

Lojistik sektörünün AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile değerlendirilmesi sonucunda; Grafik 3'te görüldüğü gibi firmaların *veri odaklı hizmetler*, *akıllı işlemler* ve *akıllı ürünler* kriterleri açısından olgunluk düzeyinin yüksek olduğu; *akıllı fabrika*, *strateji ve organizasyon* ile *çalışanlar* kriterinin ise olgunluk düzeyinin son sıralarda yer aldığı göze çarpmaktadır.

Lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin ölçülmesi amacıyla kullanılan anket Ek 2'de verilmiştir. Bunun yanında olgunluk düzeyi değerlendirme anketi, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile firmaların sıralanması için de kullanılmıştır.

Grafik 3: Lojistik Sektörünün Ana Kriterler Açısından Radar Diyagramı



Değerlendirmeye katılan firmaların herbiri için hesaplanan olgunluk düzeyi puanları ise Tablo 14'de görüldüğü gibidir. Bu tabloya göre, olgunluk düzeyi en yüksek olan firmanın A2 olduğu en düşük olgunluk düzeyine sahip firmanın ise A9 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 14: Firmaların Olgunluk Düzeyleri ve Sıralanması

Firmalar	Olgunluk Düzeyi(M)	Sıra
A1	4,219	2
A2	4,530	1
A3	2,217	8
A4	2,397	7
A5	2,157	9
A6	3,728	4
A7	2,551	6
A8	4,044	3
A9	1,774	10
A10	2,736	5

3.3.5.2. Çok Kriterli Olgunluk Yaklaşımı Sonuçları

3.3.5.2.1. TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

Çalışmanın bu bölümünde AHP yöntemi ile elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak ilgili firmaların Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi ile sıralanması gerçekleştirilmiştir. TOPSIS yöntemi hesaplamadaki kolaylığı, rasyonelliği, kolay kavranabilirliği ve ayrıca literatürde en fazla kullanılan yöntemlerden biri olması sebebiyle tercih edilmiştir (Çakır ve Perçin, 2013: 80). Firmalar arasındaki sıralamanın belirlenebilmesi amacıyla her bir firmadan elde edilen veriler dikkate alınarak Ek 3’de yer alan karar matrisi oluşturulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 15’de değerlendirme sonuçları ile alternatif firmaların sıralaması görülmektedir. Bu sonuçlara göre, A2 alternatifinin (0,781) ilk sırada yer aldığını, A9 alternatifinin ise (0,123) son sırada yer aldığını göstermektedir.

Tablo 15: İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri ve Sıralanması

Alternatifler	C_i	Sıra
A1	0,780	2
A2	0,781	1
A3	0,446	6
A4	0,301	8
A5	0,278	9
A6	0,572	4
A7	0,327	7
A8	0,765	3
A9	0,123	10
A10	0,479	5

3.3.5.2.2. VIKOR Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

Çalışmanın bu bölümünde ise, AHP yöntemi ile elde edilen ağırlık değerlerini kullanarak VIKOR yöntemi ile firmaların olgunluk düzeylerine göre sıralanması amaçlanmıştır. VIKOR yöntemi, birbiriyle çelişen kriterlerin yer aldığı karar verme problemlerinde ortak bir karara varmayı sağlayan, ideale en yakın alternatif çözümü veren bir yöntem olması sebebiyle tercih edilmiştir (Çakır ve Perçin, 2013: 81). Bu amaçla, elde edilen verilerden hareketle uygulama aşamaları sonuçları Ek 4’de verilmiştir. Tablo 16 ve 17’de ise VIKOR yönteminin nihai sonuçları verilmiştir.

Tablo 16: S_j , R_j ve Q_j Değerleri ve Sıralanması

Alternatifler	S		R		Q	
	Değer	Sıralama	Değer	Sıralama	Değer	Sıralama
A1	0,161	2	0,070	2	0,164	2
A2	0,062	1	0,018	1	0,000	1
A3	0,739	8	0,141	4	0,672	6
A4	0,665	7	0,211	7	0,758	8
A5	0,751	9	0,211	8	0,814	9
A6	0,270	4	0,141	5	0,368	4
A7	0,629	6	0,211	9	0,735	7
A8	0,189	3	0,070	3	0,182	3
A9	0,833	10	0,281	10	1,000	10
A10	0,582	5	0,141	6	0,570	5

S_j , R_j ve Q_j değerlerinin sıralanmasından sonra sonuçların geçerliliğinin test edilmesi amacıyla en küçük Q_j değerine sahip alternatifin kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Kabul edilebilir avantaj koşulunun test edilmesi Tablo 17’de gösterilmektedir.

Tablo 17: En İyi İki Seçenek Arasındaki Fark $Q(A_2)-Q(A_1)$ Değerleri

Alternatifler	Q Sıralaması	$Q(A_2)-Q(A_1)$ Değerleri
A2	0,000	0,164
A1	0,164	0,018
A8	0,182	0,186
A6	0,368	0,202
A10	0,570	0,102
A3	0,672	0,063
A7	0,735	0,023
A4	0,758	0,056
A5	0,814	0,186
A9	1,000	

Kabul edilebilir avantaj koşulunun sağlanabilmesi, en iyi iki seçenek arasındaki fark değerinin en az DQ değeri kadar olması koşuluna bağlıdır. $(Q(A_2) - Q(A_1) \geq D(Q) (0,111))$. Elde edilen çözümde en küçük Q değerine sahip A_2 alternatifi bu koşulu sağlamakta ve aynı zamanda A_2 alternatifinin, S ve R sıralamalarında da birinci sırada yer alması sebebiyle kabul edilebilir avantaj koşulunu sağlamış olduğu görülmektedir. Son olarak, VIKOR yönteminin önerdiği uzlaşık çözüm kümesi, Tablo 17’de görüldüğü gibi en iyi alternatiften en kötü alternatife doğru; $A_2 > A_1 > A_8 > A_6 > A_{10} > A_3 > A_7 > A_4 > A_5 > A_9$ şeklinde sıralandığı sonucuna varılmaktadır.

3.3.6. Korelasyon Analizi

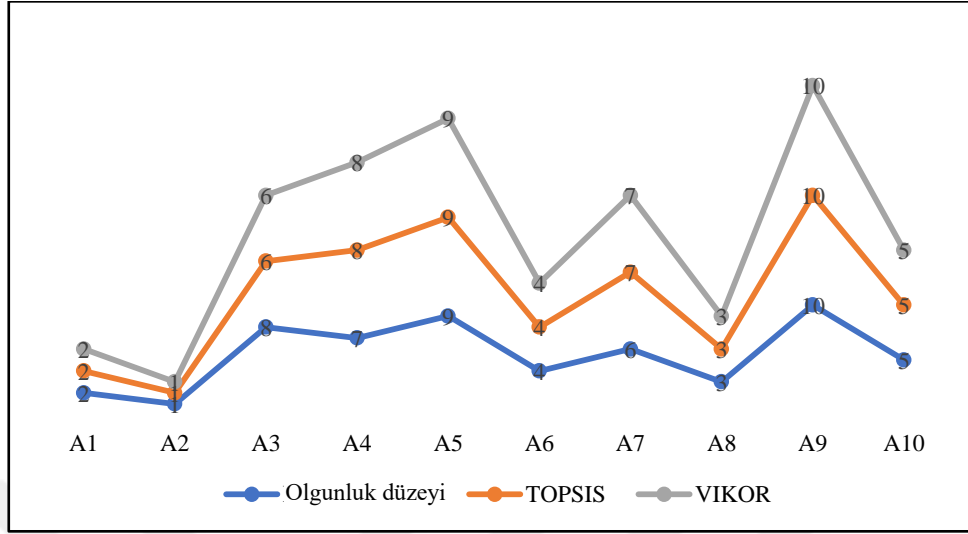
Firmaların Sanayi 4.0 Olgunluk düzeyine göre sıralanmasına ilişkin sonuçlar arasında ilişki olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile elde edilen sıralamalar kullanılarak korelasyon analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda Tablo 18 ve Grafik 4 incelendiğinde, alternatiflerin her üç yöntemde de belirlenen sıralamalarında benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Tablo 18: AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS ve VIKOR Sıralamaları

Alternatifler	AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı Sıralaması	AHP-TOPSIS Sıralaması	AHP-VIKOR Sıralaması
A1	2	2	2
A2	1	1	1
A3	8	6	6
A4	7	8	8
A5	9	9	9
A6	4	4	4
A7	6	7	7
A8	3	3	3
A9	10	10	10
A10	5	5	5

Alternatif firmaların TOPSIS ve VIKOR yöntemleri sıralamalarına bakıldığında tüm firmaların birebir aynı sıralamada olduğu görülmektedir. AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı sıralamasında ise ilk beş sırada yer alan A_1, A_2, A_8, A_6 ve A_{10} firmalarının ve son iki firma olan A_9 ve A_{10} alternatiflerinin sıralamalarının değişmediği görülmektedir.

Grafik 4: AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS ve VIKOR Sıralamalarının Karşılaştırılması



Çalışma kapsamında uygulanan her üç yöntem için SPSS24 programında Spearman sıra korelasyonu yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 19’da görülmektedir. Korelasyon analizinden elde edilen sonuçlara göre, AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı-TOPSIS, AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı-VIKOR korelasyon katsayısının 0,964 olduğu görülmektedir. Öte yandan, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde aynı sıralamalar elde edildiğinden korelasyon katsayısı 1 olarak elde edilmiştir. Buradan hareketle, bu karşılaştırmaların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Tablo 19: Korelasyon Analizi Sonuçları

	Olgunluk Düzeyi Sıralaması	TOPSIS Sıralaması	VIKOR Sıralaması
Spearman’s rho AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı Korelasyon Katsayısı	1,000	,964**	,964**
Çift yönlü Anlamlılık	.	,000	,000
N	10	10	10
TOPSIS Sıralaması Korelasyon Katsayısı	,964**	1,000	1,000**
Çift yönlü Anlamlılık	,000	.	.
N	10	10	10
VIKOR Sıralaması Korelasyon Katsayısı	,964**	1,000	1,000
Çift yönlü Anlamlılık	,000	.	.
N	10	10	10

**0,01 düzeyinde anlamlılık (çift yönlü)

3.3.7. Duyarluluk Analizi

Bu bölümde, çalışmada AHP yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıklıklarının yer değiştirmesi sonucunda firmaların sıralanmasında meydana gelecek farklılıkları görebilmek amacıyla duyarluluk analizi yapılmıştır. Bu sebeple, Mevcut Durum (MD), bütün kriterlerin eşit ağırlıkta değerlendirildiği Senaryo 1 (S1) ve en yüksek ağırlığa sahip kriterle en düşük ağırlığa sahip kriter ağırlıklarının değiştirilerek değerlendirildiği Senaryo 2 (S2)'ye ait ağırlıklar Tablo 20'de görüldüğü gibidir.

Tablo 20: Duyarluluk Analizi İçin Kriter Ağırlıkları

	Mevcut Durum	Senaryo 1	Senaryo 2
K1	0,281	0,056	0,012
K2	0,096	0,056	0,096
K3	0,070	0,056	0,070
K4	0,068	0,056	0,068
K5	0,063	0,056	0,063
K6	0,038	0,056	0,038
K7	0,024	0,056	0,024
K8	0,036	0,056	0,036
K9	0,044	0,056	0,044
K10	0,023	0,056	0,023
K11	0,029	0,056	0,029
K12	0,071	0,056	0,071
K13	0,017	0,056	0,017
K14	0,040	0,056	0,040
K15	0,017	0,056	0,017
K16	0,012	0,056	0,281
K17	0,050	0,056	0,050
K18	0,023	0,056	0,023

İki farklı senaryoya göre AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı için yapılan duyarluluk analizi ile mevcut durum, Senaryo 1 ve Senaryo 2 sonucunda elde edilen sıralamalar karşılaştırılmış ve meydana gelen değişim Tablo 21'de gösterilmektedir. Bu tablo incelendiğinde; AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı için yapılan duyarluluk analizi ile ilgili olarak A2, A4, A5, A7 ve A10 alternatifleri her iki senaryo karşısında değişim göstermemektedir. Bununla birlikte; Senaryo 1'deki sıralama sonucunda ağırlık değişimine en çok A3 ve A9 alternatifinin duyarluluk gösterdiği, Senaryo 2 sonucunda ise A6 alternatifinin ağırlık değişimine en çok duyarluluk gösterdiği dikkat çekmektedir.

Tablo 21: AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı Duyarlılık Analizi Sonuçları

Alternatifler	Mevcut Sıralaması	Senaryo 1 Sıralaması	Senaryo 2 Sıralaması
A1	2	2	3
A2	1	1	1
A3	8	10	10
A4	7	7	7
A5	9	9	9
A6	4	3	2
A7	6	6	6
A8	3	3	4
A9	10	8	8
A10	5	5	5

TOPSIS yöntemi için yapılan değerlendirme sonucunda ise iki farklı senaryoya göre alternatiflerin sıralamasında meydana gelen değişim Tablo 22’de gösterilmektedir. Tablo 22 incelendiğinde; Senaryo 1 ve Senaryo 2 sonucunda A3 alternatifinin ağırlık değişimine en çok duyarlılık gösteren alternatif olduğu görülmektedir.

Tablo 22: TOPSIS Yöntemi Duyarlılık Analizi Sonuçları

Alternatifler	Mevcut Sıralama	Senaryo 1 Sıralaması	Senaryo 2 Sıralaması
A1	2	1	2
A2	1	3	4
A3	6	10	9
A4	8	7	8
A5	9	9	10
A6	4	4	1
A7	7	5	6
A8	3	2	3
A9	10	8	7
A10	5	6	5

Çalışmada son olarak VIKOR yöntemi içinde duyarlılık analizi yapılarak sıralamalar karşılaştırılmıştır. İki farklı senaryoya göre yapılan değerlendirme sonucunda alternatiflerin sıralamasında meydana gelen değişim Tablo 23’de gösterilmektedir. Bu tabloya göre; A2, A5 ve A10 alternatifleri için her iki senaryoda da değişim olmadığı görülmektedir. Bunun yanında; Senaryo 1 ve Senaryo 2 sonucunda A3 alternatifinin ağırlık değişimine duyarlılık gösterdiği görülmektedir.

Tablo 23: VIKOR Yöntemi Duyarlılık Analizi Sonuçları

Alternatifler	Mevcut Sıralama	Senaryo 1 Sıralaması	Senaryo 2 Sıralaması
A1	2	4	2
A2	1	1	1
A3	6	10	10
A4	8	7	8
A5	9	9	9
A6	4	3	2
A7	7	6	7
A8	3	2	4
A9	10	8	6
A10	5	5	5

3.4. Tartışma

Lojistik sektörünün Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin ölçülmesi ve değerlendirilmesine yönelik belirlenen kriterlerin AHP yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bulgulara göre (Tablo 13) *strateji ve organizasyon* kriterinin en önemli kriter olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç, lojistik firmaların Sanayi 4.0 dönüşümünü başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmesi ve bu dönüşüme yönelik yeni bir yol haritası çizilmesinde *strateji ve organizasyon* kriterinin önemli bir rol oynadığı düşüncesini ortaya çıkarmaktadır.

Lojistik sektörü AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımına göre değerlendirildiğinde; sektörün Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin 3,035 değeriyle deneyimli olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda Türkiye’de lojistik sektöründe Sanayi 4.0 ile ilgili yatırımlar yapıldığı, BİT sistemlerinin kullanımı ile veri toplanarak süreçlerin desteklendiğini, mevcut ekipmanların gelecekteki teknolojik ekipmanlara uyum sağlayacak hale getirilmeye başlandığı, bilgi paylaşımının sisteme entegre edildiği ve BİT ile ilgili güvenlik tedbirlerinin sağlandığı söylenebilir.

Lojistik sektöründeki firmalar genel olarak değerlendirildiğinde (Grafik 3); firmaların *akıllı işlemler* (3,367) ile *veri odaklı hizmetler* (3,441) kriterleri açısından olgunluk düzeyinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada değerlendirilen 10 firmadan çoğunun sensör teknolojileri, mobil cihaz ve bulut teknolojilerini kullandığı firmalarla yapılan görüşmelerden anlaşılmıştır. Bu teknolojiler akıllı işlemler ile veri odaklı hizmetlerin dijital dönüşüm altyapısının oluşturulmasına yönelik teknolojilerdir. Bu doğrultuda akıllı işlemler ile veri odaklı hizmetler değerinin yüksek çıkması bunu destekler niteliktedir. Bunun yanında, *strateji ve organizasyon* (2,968) kriterinin olgunluk düzeyinin son sıralarda yer aldığı göze çarpmaktadır. Bu durum firmaların Sanayi 4.0’a yönelik belirlediği stratejiler doğrultusunda yol haritası geliştirmede ve yeni iş gücü planlamasında başarısız olduğu şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca, *akıllı fabrika* kriteri açısından da olgunluk düzeyinin düşük çıkması bilgisayar destekli sistemler ile IoT’a dayalı bir altyapıda otomatik ve

esnek lojistik çözümlerin sağlanamadığının bir göstergesi olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında, akıllı fabrika kriterinin teknolojik ekipmanların birbiriyle entegre çalışması konusunda yapılacak iyileştirmelerle artırılabilirliği düşünülmektedir.

Lojistik firmalar IMPULS modeli kriterleri ve olgunluk seviyeleri dikkate alınarak AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımına göre tek tek değerlendirildiğinde ise, olgunluk düzeyleri, çalışmada kullanılan her bir kriterlere göre firmaların aldığı olgunluk puanları, ölçüm seviyesi ve yönetsel önerilere ilişkin Tablo 24'deki sonuçlara ulaşılabilir.

Tablo 24: Firmaların Olgunluk Puanı ve Yönetimsel Öneriler

Firmalar	Olgunluk Puanı (M)	Kriterler						Ölçüm Seviyesi	Yönetimsel Öneriler
		Strateji ve Organizasyon	Akıllı Fabrika	Akıllı İşlemler	Akıllı Ürünler	Veri Odaklı Hizmetler	Çalışanlar		
A1	4,219	4,157	4,674	4,098	3,807	4,333	4,000	Uzman	<ul style="list-style-type: none"> • Ürünlerin durumunun izlenmesi ile ilgili süreçler ve BİT hizmetlerine dayalı süreçler geliştirilmeli
A2	4,530	4,785	4,197	4,606	4,000	4,174	4,685	Uzman	<ul style="list-style-type: none"> • Sektörün öncü firması olarak Sanayi 4.0 teknolojilerinde meydana gelecek değişiklikler takip edilmeye devam edilmeli
A3	2,217	2,843	1,000	1,886	3,000	1,420	2,000	Orta seviye	<ul style="list-style-type: none"> • Firma, bilgisayar sistemlerini güçlendirmeli, mevcut ekipman altyapısını Sanayi 4.0 yönünde geliştirmeli, hizmet süreçleri ve teknolojik ekipmanlar arasında entegrasyon sağlamalı, MES, ERP ve SCM kullanımı artırılmalı • Akıllı işlemlerin kullanımını artırmak amacıyla, bulut teknolojilerinin kullanım düzeyi artırılmalı, otomatik ve esnek lojistik çözümler dikkate alınmalı, departmanlar arası entegrasyon sağlanmalı • Yenilikçi iş modelleri ve süreçleri geliştirilmeli • Firma çalışanlarına Sanayi 4.0 ile ilgili eğitimler vermeli
A4	2,397	2,157	2,549	2,947	2,000	3,406	2,000	Orta seviye	<ul style="list-style-type: none"> • Sanayi 4.0 yönünde yeni stratejiler geliştirmeli • Ekipman altyapısı güçlendirilmeli ve akıllı araçların kullanımı artırılmalı • Otonom süreçlerin kullanımı artırılmalı • Ürünlerin durumunun izlenmesi ile ilgili süreçler ve BİT hizmetlerine dayalı süreçler geliştirilmeli • Firma çalışanlarına Sanayi 4.0 ile ilgili eğitimler vermeli
A5	2,157	2,000	2,000	0,482	2,807	2,000	2,000	Orta seviye	<ul style="list-style-type: none"> • Sanayi 4.0 yönünde yeni stratejiler geliştirmeli • Ekipman altyapısı güçlendirilmeli, sensör teknolojilerinin ve akıllı araçların kullanımı artırılmalı • Bulut teknolojilerinin kullanım düzeyi artırılmalı, otomatik ve esnek lojistik çözümler dikkate alınmalı, departmanlar arası entegrasyon sağlanmalı, MES, ERP ve SCM kullanımı artırılmalı

Tablo 24: (Devam)

Firmalar	Olgunluk Puanı (M)	Kriterler						Ölçüm Seviyesi	Yönetimsel Öneriler
		Strateji ve Organizasyon	Akıllı Fabrika	Akıllı İşlemler	Akıllı Ürünler	Veri Odaklı Hizmetler	Çalışanlar		
A5									<ul style="list-style-type: none"> • Ürünlerin durumunun izlenmesi ile ilgili süreçler ve BİT hizmetlerine dayalı süreçler geliştirilmeli • Yenilikçi iş modelleri ve süreçleri geliştirilmeli • Firma çalışanlarına Sanayi 4.0 ile ilgili eğitimler vermeli
A6	3,728	3,371	3,000	4,333	5,000	5,000	4,000	Deneyimli	<ul style="list-style-type: none"> • Ekipman altyapısı, gelecekteki teknolojilere uyum sağlamak amacıyla yükseltilmeli
A7	2,551	2,371	2,674	2,826	2,193	2,826	3,000	Orta seviye	<ul style="list-style-type: none"> • Sanayi 4.0 yönünde yeni stratejiler geliştirilmeli • Ekipman altyapısı güçlendirilmeli ve akıllı araçların kullanımı artırılmalı • Departmanlar arası entegrasyon sağlanmalı, otonom süreçlerin kullanımı artırılmalı • Ürünlerin durumunun izlenmesi ile ilgili süreçler ve BİT hizmetlerine dayalı süreçler geliştirilmeli • Yenilikçi iş modelleri ve süreçleri geliştirilmeli
A8	4,044	4,000	4,000	4,333	4,000	4,000	4,000	Uzman	<ul style="list-style-type: none"> • Otonom süreçler desteklenmeli
A9	1,774	1,000	2,000	3,258	1,386	3,246	2,315	Yeni başlayan	<ul style="list-style-type: none"> • Sektördeki en düşük düzeyli firma olarak, Sanayi 4.0 ile ilgili yol haritası geliştirilmeli • Ekipman altyapısı güçlendirilmeli, sensör teknolojilerinin ve akıllı araçların kullanımı artırılmalı • Ürünlerin durumunun izlenmesi ile ilgili süreçler ve BİT hizmetlerine dayalı süreçler geliştirilmeli • Firma çalışanlarına Sanayi 4.0 ile ilgili eğitimler vermeli
A10	2,736	3,000	1,000	2,727	4,000	4,000	3,000	Orta seviye	<ul style="list-style-type: none"> • Firma, bilgisayar sistemlerini güçlendirmeli, mevcut ekipman altyapısını Sanayi 4.0 yönünde geliştirmeli, MES, ERP ve SCM kullanımı artırılmalı • Departmanlar arası entegrasyon sağlanmalı, otonom süreçlerin kullanımı artırılmalı

* IMPULS modeline göre olgunluk seviyeleri; Seviye 0: Yabancı, Seviye 1: Yeni Başlayan, Seviye 2: Orta Seviye, Seviye 3: Deneyimli, Seviye 4: Uzman, Seviye 5: En iyi performansı göstermektedir.

Bu çalışmada lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesine yönelik olarak üç farklı yöntemin kullanılması ile yeni bir yaklaşım önerilmektedir. AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile lojistik sektörünün ve firmaların olgunluk düzeyleri ayrı ayrı hesaplanmış, firmalar sıralanmış ve her bir firmaya yönelik yönetimsel önerilerde bulunulmuştur. Bunun yanında AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemlerinin bütünleşik kullanımı ile de firmalar sıralanarak çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sıralama sonuçlarına bakıldığında; her üç yöntemde sıralamaların paralel sonuçlar ortaya çıkardığı, TOPSIS ile VIKOR yöntemleriyle elde edilen sıralamaların ise tamamen aynı olduğu göze çarpmaktadır. Yapılan korelasyon analizi

sonucunda ise (Tablo 19) alternatiflerin sıralamaları arasında pozitif yönde yüksek derecede bir ilişki olduğu tespit edilmiş bu doğrultuda, sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Bu durum, önerilen yaklaşımın geçerli olduğunu göstermektedir.

Son olarak, AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin kriter ağırlık değişikliklerine karşı hassasiyetinin ölçülmesi ve sonuçların doğruluğu için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu sebeple AHP yöntemi ile hesaplanmış mevcut kriter ağırlıklarının yanı sıra, ilk olarak bütün kriterler eşit olarak ağırlıklandırılmış (Senaryo 1), ikinci olarak ise; en yüksek ağırlığa sahip kriterle en düşük ağırlığa sahip kriterin ağırlık değerleri değiştirilerek (Senaryo 2) ele alınmıştır. Duyarlılık analizi sonuçlarında her üç yöntemde de sıralamaların çok fazla değişmediği tespit edilmiştir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletme faaliyetlerinin her aşamasında Sanayi 4.0 teknolojilerinin kullanımı, müşteri istek ve beklentilerine uygun, daha az maliyetle ve daha kaliteli ürün ve hizmetlerin üretilmesini, tüketiciye daha hızlı hizmet verilmesini, yeni ürünlerin geliştirilmesi ve pazara girmesini hızlandırarak firmaların rekabet avantajı elde etmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, firmaların değişen çevre koşullarında yaşamını sürdürebilmesi için yeni teknolojiler ile faaliyetleri entegre etmesi kaçınılmazdır.

Sanayi 4.0 teknolojileri sağladığı avantajlar yanında dönüşüm sürecinde firmalar büyük maliyetlere katlanmak durumunda kalmakta ve uyum sürecinde zorluklar yaşamaktadır. Bazı firmalar dijital dönüşüm süreci için büyük harcamalar yapmakta fakat beklentilerini karşılayamamaktadır. Bunun sebebi firmaların alt yapısının dijital teknolojilerin uygulama süreciyle uyumlu olmamasıdır. Bu doğrultuda, firmaların Sanayi 4.0 teknolojilerini uygulamadan önce yeni teknolojilere hazır olma durumunu değerlendirmesi, olgunluk düzeylerinin belirlenmesi ve olgunluk düzeyi düşükse yeni teknolojilere uyum için gerekli tedbirleri alması firmaların amaçlarına ulaşması açısından önemlidir.

İlgili literatür incelendiğinde, Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin ölçümünde kullanılan olgunluk modellerine ilişkin çok sayıda çalışma olduğu ve bu çalışmaların çoğunlukla teorik çalışmalar olduğu görülmüştür. Öte yandan, ülkemizde uygulamaya yönelik sınırlı sayıda çalışma gerçekleştirilmiş ve ayrıca ÇKKV yöntemleri ile Olgunluk Modelinin bütünlük kullanıldığı az sayıda çalışmaya (Ataman, 2018; Keskin vd., 2019; Koyuncu, 2019) rastlanılmıştır. Buradan hareketle bu çalışmada lojistik sektörünün ve firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin ölçümü gerçekleştirilmiş ve firmaların sıralanmasına yönelik yenilikçi bir ÇKKV yaklaşımı geliştirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla, ayrıntılı bir literatür incelemesi gerçekleştirilmiş ve Sanayi 4.0'a yönelik olgunluk modelleri incelenmiştir. Bu modellerden literatürde IMPULS'ın en çok kullanılan olgunluk modellerinden biri olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda, IMPULS modelinin değerlendirme ölçütleri çalışmanın kriterleri olarak belirlenmiş ve değerlendirme kriterlerinin lojistik firmalar açısından önem düzeylerinin farklı olabileceği düşünüldüğü için AHP yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılmıştır. İlk olarak, AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile lojistik sektörünün ve firmaların olgunluk düzeyleri ayrı ayrı hesaplanmış, firmalar sıralanmış ve her bir firmaya yönelik yönetimsel önerilerde bulunulmuştur. İkinci olarak, AHP ile TOPSIS yöntemlerinin bütünlük kullanımıyla firmaların sıralaması gerçekleştirilmiştir. Son olarak da firmaların AHP-VIKOR yöntemi ile sıralaması gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Öte yandan, her üç yöntemdeki sıralamalar arasında farklılık olup

olmadığını belirlemek amacıyla korelasyon analizi yapılmış ve son olarak da kriter ağırlıklarının değiştirilmesi sonucunda firmaların sıralanmasında meydana gelen değişimleri görmek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır.

Kriterlerin AHP yöntemi ile elde edilen ağırlıkları incelendiğinde; önem düzeyine göre en yüksek kriter *strateji ve organizasyon* olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni lojistik firmalarında Sanayi 4.0 dönüşümünün uygulanması için strateji geliştirilmesi ve bu stratejilere yönelik yeni bir yol haritası çizilmesi, firmaların dönüşümü başarılı bir şekilde gerçekleştirmesi açısından önem arz etmesidir. En önemli alt kriterlerin ise *strateji (K1)*, *yatırımlar (K2)* ve *inovasyon yönetimi (K3)* olduğu ve en önemli kriter olan *strateji ve organizasyon* kriterinin alt kriterleri olduğu tespit edilmiştir. Önem düzeyi en düşük kriterin ise *veri odaklı hizmetler* olduğu görülmüştür.

Literatürde Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesinde Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımının az sayıda kullanıldığı dikkat çekmektedir (Schumacher vd., 2016; Canetta vd., 2018; Kaltenbach vd., 2018; Schumacher vd., 2019; Temur vd., 2019). Bizim çalışmamızda ise AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımının kullanımı ile firmaların olgunluğu ölçülmüş ve sıralanmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları IMPULS modeline göre yorumlandığında; sektörde uzman olan firmaların A2, A1 ve A8, *deneyimli* olan firmanın A6, *orta seviyede* olan firmaların A3, A4, A5, A7 ve A10 ve son olarak *yeni başlayan* firmanın A9 olduğu görülmüştür. Öte yandan, önerilen Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımından hareketle firmaların belirlenen kriterler açısından sıralanmasını sağlayan TOPSIS ve VIKOR yöntemleri de firmaların sıralanması için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde her üç yöntemle de benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Buradan hareketle, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımına alternatif olarak TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin de firmaların sıralanmasında kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Firmaların sıralanmasının ardından, Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar arasında ilişki olup olmadığını belirlemek için korelasyon analizi yapılmıştır. AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri sonucunda elde edilen sıralamalar kullanılarak yapılan korelasyon analizi sonucunda alternatiflerin sıralamaları arasında pozitif yönde yüksek derecede bir ilişki olduğu ve sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Korelasyon katsayısının yüksek olması bu üç yöntemin tutarlı çözümler sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin değerlendirilmesinde AHP-Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımının yanı sıra çok kriterli yenilikçi bir yaklaşım olarak önerilen AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemlerinin bütünleşik kullanımlarının da alternatif olarak tercih edilebileceği görülmüştür.

Çalışmada son olarak firmaların sıralanmasında meydana gelen değişim duyarlılık analiziyle incelenmiştir. Buradan hareketle, bütün kriterlerin eşit olarak ağırlıklandırıldığı Senayo 1 ile en

yüksek ağırlığa sahip kriterle en düşük ağırlığa sahip kriterin ağırlıklarının değiştirildiği Senaryo 2 gerçekleştirilmiştir. İlk senaryonun (S1) gerçekleşmesi durumunda, AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımına göre ağırlık değişimine en fazla duyarlılık gösteren firmaların A3 ve A9 oldukları, ikinci senaryonun (S2) gerçekleşmesi durumunda ise AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımına göre A6 firmasının ağırlık değişimine en fazla duyarlılık gösteren firma olduğu görülmüştür. TOPSIS ve VIKOR yönteminde ise A3 firmasının her iki senaryoda da ağırlık değişimine en fazla duyarlılık gösteren firma olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, yapılan duyarlılık analizi sonucunda önerilen Çok Kriterli Olgunluk Yaklaşımının olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın literatüre dört farklı yönden katkısı söz konusudur. Birincisi, Ağırlıklandırılmış Olgunluk Yaklaşımı ile AHP yönteminin bütünlük kullanıldığı bir yaklaşım önermesidir. Literatürde lojistik sektöründe Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesine ve firmaların sıralanmasına yönelik yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olması bu çalışmanın sağladığı ikinci katkıdır. Üçüncü katkısı ise, bu çalışmada önerilen Çok Kriterli yaklaşımla AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemleri ile firmaların sıralamasının yapılabileceğinin görülmüş olmasıdır. Lojistik sektörünün Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesine ve firmaların sıralanmasına yönelik olan bu çalışma başka sektörlerde de uygulanabilmesi bu çalışmanın bir diğer katkısıdır.

Her çalışma gibi bu çalışmanın da bazı kısıtları söz konusudur. Birincisi, çalışmada kullanılan IMPULS olgunluk modelinin doğrudan lojistik sektörüne yönelik olmaması bir kısıt olarak değerlendirilebilir. Öte yandan, yapılan literatür araştırmasında lojistik sektörüne yönelik herhangi bir olgunluk modeline rastlanmamıştır. Bu nedenle, IMPULS modelindeki kriter ve alt kriterlere lojistik sektörüne yönelik bazı kriterler (RFID kullanımı, dağıtım kanalları optimizasyonunda karar verme ya da makine öğrenmesi, algoritma kullanımı, teknoloji kullanımında drone kullanımı) ilave edilip model sektöre daha uyumlu bir hale getirilebilir. İkincisi, Lichtblau ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, IMPULS modeli 2015 yılında Almanya'da 232 adet firmaya uygulanmış ve firmaların olgunluk seviyesinin 1,8 olduğu tespit edilmiştir. Lojistik sektörden 10 firmanın olgunluk düzeyinin ölçüldüğü bizim çalışmamızda ise olgunluk seviyesinin yüksek çıkmasının sebebi, firma yetkililerinin iyimser cevaplar vermesinden kaynaklanmış olabilir. Ayrıca, olgunluk seviyesinin yüksek çıkmasının bir diğer nedeni de lojistik firmalarla gerçekleştirilen anketlerin yüz yüze yapılamamasından kaynaklanabilir.

İleride bu konuda yapılacak çalışmalarda IMPULS modeliyle firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesi ve firmaların sıralanmasında; kriterler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve kriterlerin ağırlıklandırılması amacıyla DEMATEL-ANP yöntemlerinin kullanımı önerilmektedir. Ayrıca, bulanık AHP, bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleri de olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Akdil, Kartal Yagiz vd. (2018), “Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy”, **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**, 54, 61-94.
- Alçın, Sinan (2016), “Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0”, **Journal of Life Economics**, 19-30
- An, Sung-Hoon vd. (2007), “A Case-Based Reasoning Cost Estimating Model Using Experience by Analytic Hierarchy Process”, **Building and Environment**, 42 (7), 2573–2579.
- Asdecker, Björn ve Felch, Vanessa (2018), “Development of an Industry 4.0 Maturity Model for the Delivery Process in Supply Chains”, **Journal of Modelling in Management**, 13 (4), 840-883.
- Ataman, Ahmet Can (2018), **Savunma Sanayinde Endüstri 4.0 Olgunluk Parametrelerinin Tereddütlü Bulanık Ahp Yöntemi İle Önceliklendirilmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Baena, Felipe vd. (2017), “Learning Factory: The Path to Industry 4.0”, **Procedia Manufacturing**, 9, 73–80.
- Bahrin, Mohd Aiman Kamarul vd. (2016), “Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic”, **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, 78 (6-13), 137–143.
- Barata, João ve Cunha, Paulo Rupino Da (2017), “Climbing the Maturity Ladder in Industry 4.0: A Framework for Diagnosis and Action that Combines National and Sectorial Strategies”, **Twenty-third Americas Conference on Information Systems (AMCIS)**, Boston, 1-10.
- Basl, Josef (2018), “Analysis of Industry 4.0 Readiness Indexes and Maturity Models and Proposal of the Dimension for Enterprise Information Systems”, **International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems**, 327, 57-68.
- Bauer, Wilhelm vd. (2019), “Production Assessment- Methods for the Development and Evaluation of Industry 4.0 Use Cases”, **International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**, 793, 501-510.
- Becker, Jörg ve Knackstedt, Ralf (2009), “Developing Maturity Models for IT Management – A Procedure Model and its Application”, **Business & Information Systems Engineering**, 1(3), 213-222.
- Behzadian, Majid vd. (2012), “A state-of-the-art survey of TOPSIS applications”, **Expert Systems with Applications**, 39(17), 13051-13069.

- Bibby, Lee ve Dehe, Benjamin (2018), “Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector”, **Production Planning & Control**, 29(12), 1030-1043.
- Bittencourt, Victor vd. (2019), “Contributions of Lean Thinking Principles to Foster Industry 4.0 and Sustainable Development Goals”, **Lean Engineering for Global Development**, 129-159.
- Bittighofer, Daniel vd. (2018), “State of Industry 4.0 Across German Companies A Pilot Study”, **International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**, **IEEE**, 1-8.
- Brozzi, R vd. (2018), “Design of Self-Assessment Tools to Measure Industry 4.0 Readiness. A Methodological Approach for Craftsmanship SMEs”, **IFIP International Conference on Product Lifecycle Management**, 540, 566–578.
- Canetta, Luca vd. (2018), “Development of a Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Sector”, **International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**, **IEEE**, 1-7.
- Caralli, Richard vd. (2012), “Maturity Models 101: A Primer for Applying Maturity Models to Smart Grid Security, Resilience and Interoperability”, **Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University**, 1-12.
- Colli, M vd. (2018), “Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0”, **International Federation of Automatic Control Papers Online**, 51(11), 1347–1352.
- Çakır, Süleyman ve Perçin, Selçuk (2013), "AB Ülkeleri'nde Bütünleşik Entropi Ağırlık-Topsis Yöntemiyle Ar-Ge Performansının Ölçülmesi", **Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 32(1), 77-95.
- Çelen, Serap (2017), “Sanayi 4.0 ve Simülasyon”, **International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry**, 1(1), 9-26.
- Çevik, Gözde Zeynep (2018), “**Endüstri 4.0 Bağlamında Türkiye'nin Yerine İlişkin Güncel Ve Gelecek Eksenli Bir Analiz**”, Yüksek Lisans Tezi, Nişantaşı Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Dağdeviren, Metin (2007), “Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Personel Seçimi ve Bir Uygulama”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 22(4), 791-799.
- De Carolis, Anna vd. (2017a), “A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies”, **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, 513, 13-20.

- De Carolis, Anna vd. (2017b), “Guiding Manufacturing Companies Towards Digitalization: A methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap”, **International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), IEEE**, 487-495.
- De Carolis, Anna vd. (2017c), “Maturity Models and Tools for Enabling Smart Manufacturing Systems: Comparison and Reflections for Future Developments”, **IFIP International Conference on Product Lifecycle Management**, 517, 23-35.
- Derya, Hülya (2018), “Endüstri Devrimleri ve Endüstri 4.0”, **Gaziantep Üniversitesi İslâhiye İİBF Uluslararası E-Dergi**, 2(2), 1-20.
- Dos Santos, Kássio Cabral Pereira vd. (2018), “Product Lifecycle Management Maturity Models in Industry 4.0”, **IFIP International Conference on Product Lifecycle Management**, 540, 659–669.
- EBSO (2015), “Sanayi 4.0”, http://www.ebso.org.tr/ebsomedia/documents/sanayi-40_88510761.pdf (31.10.2018).
- Elnagar, Samaa vd. (2019), “Agile Requirement Engineering Maturity Framework for Industry 4.0”, **European, Mediterranean and Middle Eastern Conference on Information Systems**, 341, 405–418.
- Felch, Vanessa vd. (2019), “Maturity Models in the Age of Industry 4.0 – Do the Available Models Correspond to the Needs of Business Practice?”, **Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences**, 5165-5174.
- Fettermann, Diego Castro vd. (2018), “How does Industry 4.0 contribute to operations management?”, **Journal of Industrial and Production Engineering**, 35(4), 255-268.
- Fu, Hsin-Pin vd. (2015), “Key factors for the adoption of RFID in the logistics industry in Taiwan”, **The International Journal of Logistics Management**, 26(1), 61-81.
- Galaske, Nadia vd. (2018), “Workforce Management 4.0 - Assessment of Human Factors Readiness Towards Digital Manufacturing”, **International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**, 606, 106-115.
- Ganzarain, Jaione ve Errasti, Nekane (2016), “Three Stage Maturity Model in SME’s towards Industry 4.0”, **Journal of Industrial Engineering and Management**, 9(5), 1119-1128.
- Garcia J.L. vd. (2014), “Multi-attribute evaluation and selection of sites for agricultural product warehouses based on an Analytic Hierarchy Process”, **Computers and Electronics in Agriculture**, 100, 60-69.
- Gärtner, Bertolt (2018), “Step-by-Step to Industrie 4.0 Maturity Index Helps Manufacturer Create a Roadmap for the Future”, **Plant Engineering**, 72(1), 14-15.

- Geissbauer, Reinhard vd. (2016), “Industry 4.0: Building the Digital Enterprise”, <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf> (6.10.2018).
- Genç, Serkan (2018), “**Bir İleri Teknoloji Fabrikasının Dördüncü Endüstri Devrimine Uyumu**”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ghobakhloo, Morteza (2018), “The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0”, **Journal of Manufacturing Technology Management**, 29(6), 910-936.
- Gökalp, Ebru ve Sener, Umut (2017), “Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM”, **International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination**, 770, 128-142.
- Gürkaynak, Muharrem ve İren, Adem Ali (2011), “Reel Dünyada Sanal Açmaz: Siber Alanda Uluslararası İlişkiler”, **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 16(2), 263-279.
- Häberer, Sebastian vd. (2017), “Development of an Industrie 4.0 Maturity Index for Small and Medium-Sized Enterprises”, **International Conference on Industrial Engineering and Systems Management**, 129-134.
- Hamidi, Saidatul Rahah, vd. (2018), “SMEs Maturity Model Assessment of IR4.0 Digital Transformation”, **International Conference on Kansei Engineering & Emotion Research**, 739, 721-732.
- Hu, Jingyi ve Gao, Sini (2019), “Research and Application of Capability Maturity Model for Chinese Intelligent Manufacturing”, **Procedia CIRP**, 83, 794-799.
- Issa, Ahmad vd. (2018), “Industrie 4.0 Roadmap: Framework for Digital Transformation Based on the Concepts of Capability Maturity and Alignment”, **Procedia CIRP**, 72, 973–978.
- İçten, Tarık ve Bal, Güngör (2017), “Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi”, **Bilişim Teknolojileri Dergisi**, 10(4), 401-415.
- Jæger, Bjørn ve Halse, Lise Lillebrygfjeld (2017), “The IoT Technological Maturity Assessment Scorecard: A Case Study of Norwegian Manufacturing Companies”, **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, 513, 143-150.
- Kagermann Henning vd. (2013), “Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group”, <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> (25.10.2018).
- Kaltenbach, Fabian vd. (2018), “Smart Services Maturity Level in Germany”, **International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**, IEEE, 1-7.

- Kampker, Achim vd. (2018), “Development of Maturity Levels for Agile Industrial Service Companies”, **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, 536, 11-19.
- Kang, Hyoung Seok vd. (2016), “Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings and Future Directions”, **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, 3(1), 111-128.
- Keskin, Fatma Demircan vd. (2019), “An Assessment Model for Organizational Adoption of Industry 4.0 Based on Multi-criteria Decision Techniques”, **The International Symposium for Production Research**, 85–100.
- Klötzer, Christoph ve Pflaum, Alexander (2017), “Toward the Development of a Maturity Model for Digitalization within the Manufacturing Industry’s Supply Chain”, **Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)**, 50, 4210-4219.
- Kocian, Jiri vd. (2012), “Application of Modeling and Simulation Techniques for Technology Units in Industrial Control”, **Frontiers in Computer Education**, 133, 491–499.
- Kolla, Sri vd. (2019), “Deriving Essential Components of Lean and Industry 4.0 Assessment Model for Manufacturing SMEs”, **Procedia CIRP**, 81, 753-758.
- Koyuncu, Cansu Altan (2019), “**Endüstri 4.0 Mevcut Durum Analizi ve Benzetim Uygulamalı Geçiş Metodolojisi**”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lahrman, Gerrit vd. (2011), “Inductive Design of Maturity Models: Applying the Rasch Algorithm for Design Science Research”, **International Conference on Design Science Research in Information Systems**, 6629, 176-191.
- Landherr, Martin vd. (2016), “The Application Center Industrie 4.0-Industry-Driven Manufacturing, Research and Development”, **Procedia CIRP**, 57, 26-31
- Leineweber, Stefan vd. (2018), “Concept for an Evolutionary Maturity Based Industrie 4.0 Migration Model”, **Procedia CIRP**, 72, 404-409.
- Leyh, Christian vd. (2016), “SIMMI 4.0-A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0”, **Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems**, 8, 1297–1302.
- Leyh, Christian vd. (2017), “Assessing the IT and Software Landscapes of Industry 4.0-Enterprises: The Maturity Model SIMMI 4.0”, **Conference on Information Systems Management, Conference on Advanced Information Technologies for Management**, 277, 103-119.

- Li, C. H. ve Lau, H. K. (2019), "A Critical Review of Maturity Models in Information Technology and Human Landscapes on Industry 4.0", **International Conference on Industrial Technology (ICIT), IEEE**, 1575-1579.
- Lichtblau, Karl vd. (2015), "IMPULS Industry 4.0 Readiness", https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf/0b5fd521-9ee2-2de0-f377-93bdd01ed1c8 (21.07.2018).
- Lu, Hsi-Peng ve Weng, Chien-I (2018), "Smart Manufacturing Technology, Market Maturity Analysis and Technology Roadmap in the Computer and Electronic Product Manufacturing Industry", **Technological Forecasting & Social Change**, 113, 85-94.
- Lu, Yang (2017), "Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues", **Journal of Industrial Information Integration**, 6, 1-10.
- Ludwig, Fabian, (2016), "**Business Models Enabled by Industrie 4.0 and Internet of Things**", Yüksek Lisans Tezi, University Of Rhode Island.
- Machado, Carla Gonçalves vd. (2019), "Industrie 4.0 Readiness in Manufacturing Companies: Challengers and Enablers Towards Increased Digitalization", **Procedia CIRP**, 81, 1113-1118.
- Methavitakul, Banthita ve Santiteerakul, Salinee (2018), "Analysis of Key Dimension and Sub-Dimension for Supply Chain of Industry to Fourth Industry", **International Conference on Service Operations and Logistics and Informatics (SOLI), IEEE**, 191-195.
- Mettler, Tobias vd. (2010), "Towards a Classification of Maturity Models in Information Systems", **Management of the Interconnected World**, 333-340.
- Mittal, Sameer vd. (2018a), "A Critical Review of Smart Manufacturing & Industry 4.0 Maturity Models: Implications for Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs)", **Journal of Manufacturing Systems**, 49, 194-214.
- Mittal, Sameer vd. (2018b), "Towards a Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM3E)", **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, 536, 155-163.
- Mourtzis, Dimitris vd. (2018), "Augmented Reality Supported Product Design Towards Industry 4.0: A Teaching Factory Paradigm", **Procedia Manufacturing**, 23, 207-212.
- MUSİAD (2017), "Endüstri 4.0 ve Geleceğin Lojistiği", http://www.musiad.org.tr/F/Root/Pdf/lojistik_raporlari_2017_12_25.Pdf (5.7.2018).
- Odważny, Filip vd. (2019), "Concept for Measuring Organizational Maturity Supporting Sustainable Development Goals", **Scientific Journal of Logistics**, 15 (2), 237-247.

- OECD (2017a), “Science, Technology and Industry Scoreboard The Digital Transformation”
<https://www.oecd.org/sti/scoreboard.htm> (19.12.2018).
- _____ (2017b), “The Next Production Revolution Implications for Governments and Business”,
<https://www.oecd.org/governance/the-next-production-revolution-9789264271036-en.htm>
(19.12.2018).
- _____ (2017c), “Digital Economy Outlook”, <https://www.oecd.org/internet/oecd-digital-economy-outlook-2017-9789264276284-en.htm> (19.12.2018).
- Oesterreich, Thuy Duong ve Teuteberg, Frank (2016), “Understanding the Implications of Digitisation and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry”, **Computers in Industry**, 83, 121-139.
- Oğuz, Alparslan ve Ustasülayman, Talha (2015), “Analitik Hiyerarşi Sürecini Kullanarak ISO 9001: 2008’e Dayalı Kalite Yönetim Sistemi ile Müşteri Memnuniyeti Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi”, **KTÜ Sosyal Bilimler Dergisi**, 9, 25-37.
- Oleśków-Szlapka, Joanna ve Stachowiak, Agnieszka (2019), “The Framework of Logistics 4.0 Maturity Model”, **International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance**, 835, 771-781.
- Opricovic, Serafim ve Tzeng, Gwo-Hshiung (2004), “Compromise Solution by MCDM Methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”, **European Journal of Operational Research**, 156, 445-455.
- _____ (2007), “Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods”, **European Journal of Operational Research**, 178, 514–529.
- Ovacı, Ceyda (2017), “Endüstri 4.0 Çağında Açık İnovasyon”, **Maliye Finans Yazıları**, 108, 113-132.
- Özdemir, Şelale (2014), “Sanayi Devriminin Bilim Tarihi Üzerindeki Etkisi: Bilim ve Teknoloji İç İçe”, **Üretim Ekonomi Kongresi, İstanbul Kültür Üniversitesi**, 1-11.
- Özkurt, Cem (2016), “Endüstri 4.0 Perspektifinden Türkiye’de İmalat Sanayinin Durumu: Sakarya İmalat Sanayi Üzerine Bir Anket Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürk, Melis Gizem (2018), “Integration of Logistics to Industry 4.0: A Logistics Firm Case”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Pacchini, Athos Paulo Tadeu vd. (2019), “The Degree of Readiness for the Implementation of Industry 4.0”, **Computers in Industry**, 113, 1-8.

- Perçin, Selçuk (2009), “Evaluation of Third-Party Logistics (3PL) Providers by Using a Two-Phase AHP and TOPSIS Methodology”, **Benchmarking: An International Journal**, 16(5), 588-604.
- Perçin, Selçuk ve Sönmez, Özlem (2018), “Bütünleşik Entropi Ağırlık Ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Türk Sigorta Şirketlerinin Performansının Ölçülmesi”, **Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi**, 565-582.
- Pérez-Lara, Magdiel vd. (2019), “Organizational Systems Convergence with the Industry 4.0 Challenge”, **Best Practices in Manufacturing Processes**, 411-431.
- Puchan, Jörg. vd. (2018), “Industry 4.0 in Practice – Identification of Industry 4.0 Success Patterns”, **International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE**, 1091-1095.
- Rajnai, Zoltán ve Kocsis, István (2018), “Assessing Industry 4.0 Readiness of Enterprises”, **16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), IEEE**, 225-230.
- Rockwell Automation (2016), “The Connected Enterprise Maturity Model”, https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/cie-wp002_en-p.pdf (3.10.2018).
- Roschli, Alex vd. (2019), “Designing for Big Area Additive Manufacturing”, **Additive Manufacturing**, 25, 275-285.
- Röglinger, Maximilian vd. (2012), “Maturity Models in Business Process Management”, **Business Process Management Journal**, 18, 1-19.
- Rübel, Sarah vd. (2018), “A Maturity Model for Business Model Management in Industry 4.0”, **Germany**, 2031-2042.
- Rüßmann, Michael vd. (2015), “Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industry”, <https://www.zvw.de/media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf> (20.12.18).
- Saaty, Thomas L (1994), “How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process”, **Interfaces**, 24(6), 19-43
- Saaty, Thomas L ve Ozdemir, M (2003a), “Negative Priorities in the Analytic Hierarchy Process”, **Mathematical and Computer Modelling**, 37, 1063-1075.
- _____ (2003b), “Why the Magic Number Seven Plus or Minus Two”, **Mathematical and Computer Modelling**, 38, 233-244.
- Schuh, Günther vd. (2014), “Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0”, **Procedia CIRP**, 19, 51-56.

- Schuh, Günther vd. (2017), "Industrie 4.0 Maturity Index", https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf (02.03.2019).
- Schumacher, Andreas vd. (2016), "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises", **Procedia CIRP**, 52, 161-166.
- Schumacher, Andreas vd. (2019), "Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises", **Procedia CIRP**, 79, 409-414.
- Shyjith, K vd. (2008), "Multi-Criteria Decision-Making Approach to Evaluate Optimum Maintenance Strategy in Textile Industry", **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 14(4), 375-386.
- Sjödin, David R vd. (2018), "Smart Factory Implementation and Process Innovation", **Research-Technology Management**, 61(5), 22-30.
- Snasel, Václav (2016), "Modern massive Data Analysis for Industry 4.0 Industry 4.0 at VŠB-TUO", <https://www.czelo.cz/files/prezentace-pozvanky/1-Snasel-2016-e-mail.pdf> (30.03.2019).
- Sony, Michael ve Naik, Subhash (2019), "Key Ingredients for Evaluating Industry 4.0 Readiness for Organizations: A Literature Review", <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284> (01.05.2019).
- Stich, Volker vd. (2017), "Relevant Capabilities for Information Management to Achieve Industrie 4.0 Maturity", **Working Conference on Virtual Enterprises**, 506, 28-38.
- Stich, Volker vd. (2018), "Need and Solution to Transform the Manufacturing Industry in the Age of Industry 4.0-A Capability Maturity Index Approach", **Working Conference on Virtual Enterprises**, 534, 33-42.
- Stock, T ve Seliger, G (2016), "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0", **Procedia CIRP**, 40, 536-541.
- Temur, Gül Tekin vd. (2019), "Evaluation of Industry 4.0 Readiness Level: Cases from Turkey", **The International Symposium for Production Research**, 412-425.
- Toker, Kerem (2017), "Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilirliğe Etkileri", **Istanbul Management Journal**, 29(84), 51-64.
- Tonelli, F vd. (2016), "A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 Era", **Procedia CIRP**, 57, 122-127.
- Trotta, Dennis ve Garengo, Patrizia (2019), "Assessing Industry 4.0 Maturity: An Essential Scale for SMEs", **International Conference on Industrial Technology and Management, IEEE**, 69-74.

- TUSİAD (2016), “Türkiye’nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0 Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi”, <https://www.tusiad.org/indir/2016/sanayi-40.pdf> (11.12.2017).
- Türkoğlu, Efe (2018), “**Firmaların Endüstri 4.0'a Hazırlık Çalışmalarının Değerlendirilmesi: Bursa İlindeki Uygulaması**”, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- TTGV (2018), “Sanayide Dijital Dönüşüm: Eğitim”, https://ttgv.org.tr/content/docs/SDD_EGITIM_BIRLESTIRILMIS.pdf (24.01.2019).
- Ulaştırma ve Lojistik Sektör Raporu (2018), <https://www.ulk.sakarya.edu.tr/wp-content/uploads/2018/05/Ula%C5%9Ft%C4%B1rma-ve-Lojistik-Sekt%C3%B6r-Raporu-2018.pdf> (5.12.2018).
- Unterhofer, M vd. (2018), “Investigation of Assessment and Maturity Stage Models for Assessing the Implementation of Industry 4.0”, **International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE**, 720-725.
- Üskent, Suphi Burak (2016), “**19. Yüzyıl İngiliz Romanında Endüstri Devrimi'nin Yansımaları**”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Vaidya, Saurabh vd. (2018), “Industry 4.0- A Glimpse”, **Procedia Manufacturing**, 20, 233-238.
- Wang, Gang vd. (2016), “Big Data Analytics in Logistics and Supply Chain Management: Certain Investigations for Research and Applications”, **International Journal of Production Economics**, 176, 98-110.
- Weber, Christian vd. (2017), “M2DDM – A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing”, **Procedia CIRP**, 63, 173-178.
- Wienbruch, Thom vd. (2018), “Evolution of SMEs Towards Industrie 4.0 Through a Scenario Based Learning Factory Training”, **Procedia Manufacturing**, 23, 141-146.
- Wiesner, Stefan vd. (2018), “Maturity Models for Digitalization in Manufacturing-Applicability for SMEs”, **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, 536, 81-88.
- Witkowski, Krzysztof (2017), “Internet of Things, Big Data, Industry 4.0-Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management”, **Procedia Engineering**, 182, 763-769.
- Wolter, Marc Ingo vd. (2015), “Industry 4.0 and the Consequences for Labour Market and Economy”, Institute for Employment Research, http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb0815_en.pdf (16.02.2019).

Yıldız, Ayşe ve Deveci, Muhammed (2013), “Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci”, **Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi**, 13(4), 427-436.

Yücel, T. Fikret (2017), “**Cumhuriyet Türkiye’sinin Sanayileşme Öyküsü**”, 2. Baskı, TTGV, Ankara.

Zeller, Violet vd. (2018), “Acatech Industrie 4.0 Maturity Index – A Multidimensional Maturity Model”, **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, 536, 105-113.

Zhu, Hai (2017), “**Development of Smart Industry Maturity Model**”, Master Graduation Thesis, University of Twente.





EKLER

Ek 1: AHP Anketi

Sayın katılımcılar,

Bu anket, Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi Programı bünyesinde yürütülmekte olan lojistik sektöründe faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerini ölçmek amacıyla hazırlanan bir yüksek lisans tezi ile ilgilidir. Anket, kriterlerin ve alt kriterlerin birbirleri üzerindeki etkilerini ölçmek ve bu kriterlerin önem düzeylerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Anketler toplu olarak değerlendirileceği için, ankete katılan bireylerin kimlik bilgileri gizli tutulacak ve verilen cevaplar başka amaçlar için kullanılmayacaktır. Bu anketi cevaplamak üzere ayırdığınız zaman ve katkılarınız için çok teşekkür ederim. Anket ile ilgili bir sorunuz varsa benimle (duygu-srdr2561@hotmail.com) veya Danışmanım Prof. Dr. Birdoğan BAKI (bbaki@ktu.edu.tr) ile iletişime geçebilirsiniz.

Kriterlerin açıklaması

Kriter / Alt kriter	Açıklama
1. Strateji ve Organizasyon	
Strateji	Sanayi 4.0 stratejisinin uygulanma durumu
Yatırımlar	Sanayi 4.0 alanında yapılacak yatırım faaliyetleri
İnovasyon yönetimi	Sanayi 4.0 yönünde firmanın geliştireceği ya da ekleyeceği teknoloji ve inovasyonlar hakkında strateji geliştirmesi
2. Akıllı fabrika	
Dijital modelleme	Üretim süreçlerinin entegrasyonu ve dijital olarak modellenmesi
Ekipman altyapısı	Veri toplamak için sensör teknolojisi, aktüatörler, makineler ve robotlar gibi teknolojik ekipmanlar ile entegre çalışma
Bilgi kullanımı	Tüm faaliyetlerle ilgili bilgilerin toplanması ve kullanılması
BT sistemleri	Firma sistemlerinde doğrudan MES, ERP, SCM gibi akıllı operasyon faaliyetlerinin kullanımı
3. Akıllı işlemler	
Bulut kullanımı	Bulut bilişim teknolojisinin kullanım düzeyi
BT güvenliği	Bilgi teknolojisinde kullanılan verilerin korunması
Otonom süreçler	Kendi kendini kontrol eden ve karar verebilen iş parçaları ile üretim planlanan süreçler
Bilgi paylaşımı	Firma faaliyetlerinin iyi takip ve koordine edilebilmesi için insanlar, süreçler ve nesnelar arasında faaliyetlerin işleyişi ve süreçler hakkında bilgi paylaşımı
4. Akıllı ürünler	
Veri kullanımı	Ürün durumunun izlenmesi, optimize edilmesi ile kendi kendini raporlama, entegrasyon, lokasyon belirleme, otomatik kimlik tespiti ve izleme gibi fonksiyonların analizi
BİT hizmet işlevselliği	Süreçlerin geliştirilmesine ilişkin Bilgi İletişim Teknolojilerine dayalı hizmetler sunulması
5. Veri odaklı hizmetler	
Veri odaklı hizmetler	Firmaların sağladıkları hizmetlere ek olarak, satış sonrası geniş kapsamlı hizmetler sunulması
Gelirlerin payı	Yenilikçi iş modelleri veya süreçlerinin geliştirilmesi ile elde edilen gelirlerin payı
Kullanılan verilerin seviyesi	Müşteri faydasını artırmak için yenilikçi iş modelleri ve dijitalleştirilmiş süreçler ile ilgili kullanılan verilerin seviyesi
6. Çalışanlar	
Beceri edinme	Çalışanların yeni bilişim teknolojilerine (veri kaydı, transferi, manipülasyonu, kullanımı ve yorumlanması için geliştirilmiş teknolojiler) yönelik beceriler edinmesi
Çalışan beceri setleri	Çalışanların yeni bilişim teknolojilerine yönelik sahip olduğu beceri setleri

Her soruda iki karşılaştırma kriteri yer almaktadır. Hangi kriterin diğer kriter üzerinde etkisi olduğunu düşünüyorsanız seçiniz ve ne kadar önemli olduğuna dair aşağıda açıklandığı şekilde "1,3,5,7,9" rakamlarından birini işaretleyiniz.

Değer	Tanım
1	Eşit önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı önemli

Lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerini ölçmek amacıyla kriterlerin önemini karşılaştırmız.

		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Strateji ve organizasyon																		Akıllı fabrika
2	Strateji ve organizasyon																		Akıllı işlemler
3	Strateji ve organizasyon																		Akıllı ürünler
4	Strateji ve organizasyon																		Veri odaklı hizmetler
5	Strateji ve organizasyon																		Çalışanlar
6	Akıllı fabrika																		Akıllı işlemler
7	Akıllı fabrika																		Akıllı ürünler
8	Akıllı fabrika																		Veri odaklı hizmetler
9	Akıllı fabrika																		Çalışanlar
10	Akıllı işlemler																		Akıllı ürünler
11	Akıllı işlemler																		Veri odaklı hizmetler
12	Akıllı işlemler																		Çalışanlar
13	Akıllı ürünler																		Veri odaklı hizmetler
14	Akıllı ürünler																		Çalışanlar
15	Veri odaklı hizmetler																		Çalışanlar

“Strateji ve organizasyon” açısından aşağıdaki faktörlerden hangileri sizin için daha önemlidir?

		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Strateji																		Yatırımlar
2	Strateji																		İnovasyon yönetimi
3	Yatırımlar																		İnovasyon yönetimi

“Akıllı fabrika” açısından aşağıdaki faktörlerden hangileri sizin için daha önemlidir?

		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Dijital modelleme																		Ekipman altyapısı
2	Dijital modelleme																		Veri kullanımı
3	Dijital modelleme																		BT sistemleri
4	Ekipman altyapısı																		Veri kullanımı
5	Ekipman altyapısı																		BT sistemleri
6	Veri kullanımı																		BT sistemleri

“Akıllı işlemler” açısından aşağıdaki faktörlerden hangileri sizin için daha önemlidir?

		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Bulut kullanımı																			BT güvenliği
2	Bulut kullanımı																			Otonom süreçler
3	Bulut kullanımı																			Bilgi paylaşımı
4	BT güvenliği																			Otonom süreçler
5	BT güvenliği																			Bilgi paylaşımı
6	Otonom süreçler																			Bilgi paylaşımı

“Akıllı ürünler” açısından aşağıdaki faktörlerden hangileri sizin için daha önemlidir?

		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Veri kullanımı																			BİT hizmet işlevselliği

“Veri odaklı hizmetler” açısından aşağıdaki faktörlerden hangileri sizin için daha önemlidir?

		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Veri odaklı hizmetler																			Gelirlerin payı
2	Veri odaklı hizmetler																			Kullanılan verilerin seviyesi
3	Gelirlerin payı																			Kullanılan verilerin seviyesi

“Çalışanlar” açısından aşağıdaki faktörlerden hangileri sizin için daha önemlidir?

		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Beceri edinme																			Çalışan beceri setleri

Ek 2: Olgunluk Düzeyi Anketi

Sayın katılımcılar,

Elinize ulaşmış bulunan anket formu, Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi Programı bünyesinde yürütülmekte olan lojistik sektöründe faaliyet gösteren firmaların endüstri 4.0 olgunluk düzeylerini ölçmek amacıyla hazırlanan bir yüksek lisans tezi uygulama anketidir. Verilerin analizinde yanıtlanmamış bir soru ciddi problemlere yol açacağı için, lütfen tüm soruları cevaplandırmaya çalışınız. Anket, firmanızda yönetim süreçlerinde yer alan ve süreçler ile ilgili bilgilere sahip bir yönetici veya uzman tarafından doldurulabilecek şekilde tasarlanmıştır. Eğer anketi şahsen doldurmanız mümkün değilse, konu ile ilgili bilgiye sahip bir meslektaşınızın doldurması da yeterli olacaktır. Yüksek lisans tezinin tamamlanmasında çok büyük katkı sağlayacağı için araştırmaya katılımınız ve kıymetli vaktiniz için şimdiden çok teşekkür ederim. Anket ile ilgili bir sorunuz varsa benimle (duygu-srdr2561@hotmail.com) veya Danışmanım Prof. Dr. Birdoğan BAKİ (bbaki@ktu.edu.tr) ile iletişime geçebilirsiniz.

Katılımcıların Özellikleri

Firmadaki pozisyonu:

A. Firmanızın aşağıdaki “strateji ve organizasyon” yapılarına ilişkin faaliyetlerinde teknoloji ve inovasyon hangi düzeyde kullanılmaktadır?

	Hiç (1)	Az seviyede (2)	Orta seviyede (3)	İleri seviyede (4)	Çok ileri seviyede (5)
Sanayi 4.0 Stratejisinin uygulama durumu					
Sanayi 4.0 ile ilgili Yatırım faaliyetleri					
Sanayi 4.0 yönünde firmanın geliştireceği ya da ekleyeceği teknoloji ve inovasyon faaliyetlerinin kullanım düzeyi					

B. Firmanızda aşağıdaki “akıllı üretim” faaliyetlerinin kullanımı hangi düzeyde kullanılmaktadır?

	Hiç (1)	Az seviyede (2)	Orta seviyede (3)	İleri seviyede (4)	Çok ileri seviyede (5)
Hizmet süreçlerinin entegrasyonu ve dijital olarak modellenmesi					
Hizmet genelinde veri toplamak için sensör teknolojisi, aktüatörler, makineler ve robotlar gibi teknolojik ekipmanlar ile entegre çalışma					
Tüm faaliyetlerle ilgili verilerin toplanması ve sipariş işlemeyi hızlı bir şekilde gerçekleştirmek, süreç akışını iyileştirmek ve tahmin yapmak için kullanılması					
Firma sistemlerinde doğrudan MES, ERP ve SCM gibi faaliyetlerinin kullanımı					

C. Firmanızda aşağıdaki “akıllı işlemler” faaliyetlerinin kullanımı hangi düzeyde kullanılmaktadır?

	Hiç (1)	Az seviyede (2)	Orta seviyede (3)	İleri seviyede (4)	Çok ileri seviyede (5)
Bulut Bilişim teknolojisinin kullanım düzeyi					
BT teknolojisinde kullanılan verinin güvenliği					
Kendi kendini kontrol eden ve karar verebilen iş parçaları ile planlamadaki otonom süreçler					
Firma faaliyetlerinin iyi takip ve koordine edilebilmesi için insanlar, süreçler ve nesnelere arasında faaliyetlerin işleyişi ve süreçler hakkında bilgi paylaşım düzeyi					

D. Firmanızın sağladığı hizmetlere ilişkin aşağıda yer alan teknoloji ve inovasyon uygulamaları hangi düzeyde kullanılmaktadır?

	Hiç (1)	Az seviyede (2)	Orta seviyede (3)	İleri seviyede (4)	Çok ileri seviyede (5)
Hizmet durumunun izlenmesi, optimize edilmesi ile kendi kendini raporlama, entegrasyon, lokasyon belirleme, otomatik kimlik tespiti ve izleme gibi fonksiyonların analizi					
Süreçlerin geliştirilmesi ve bu ürünlere ilişkin Bilgi İletişim Teknolojilerine dayalı hizmetler sunulması					

E. Firmanız sağladığı “veri odaklı hizmetlere” ilişkin aşağıda yer alan teknoloji ve inovasyon uygulamaları hangi düzeyde kullanılmaktadır?

	Hiç (1)	Az seviyede (2)	Orta seviyede (3)	İleri seviyede (4)	Çok ileri seviyede (5)
Firmaların sağladıkları hizmetler için satış sonrası geniş kapsamlı hizmetler sunulması					
Yenilikçi iş modelleri veya süreçlerinin geliştirilmesi ile elde edilen gelirlerin payı					
Müşteri faydasını artırmak için iş modelleri ve dijitalleştirilmiş süreçler ile ilgili toplanan verilerin paylaşımı					

F. Firma “çalışanlarınızın” aşağıda yer alan yeni teknoloji ve inovasyon uygulamalarına ilişkin yetkinlikleri hangi düzeyde kullanılmaktadır?

	Hiç (1)	Az seviyede (2)	Orta seviyede (3)	İleri seviyede (4)	Çok ileri seviyede (5)
Çalışanların yeni bilişim teknolojilerine (veri kaydı, tranferi, manipülasyonu, kullanımı ve yorumlanması için geliştirilmiş teknolojiler) yönelik beceriler edinmesi					
Çalışanların yeni bilişim teknolojilerine yönelik sahip olduğu beceriler					

Ek 3: TOPSIS Uygulama Aşamaları

Başlangıç Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18
A1	4,000	4,000	5,000	5,000	4,000	5,000	5,000	5,000	4,000	3,000	4,000	4,000	3,000	5,000	3,000	4,000	4,000	4,000
A2	5,000	4,000	5,000	4,000	4,000	5,000	4,000	5,000	5,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	5,000	5,000	4,000
A3	3,000	3,000	2,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000	2,000	3,000	3,000	1,000	2,000	2,000	2,000	2,000
A4	2,000	2,000	3,000	3,000	2,000	3,000	2,000	1,000	5,000	2,000	3,000	2,000	2,000	4,000	3,000	2,000	2,000	2,000
A5	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	1,000	3,000	3,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
A6	3,000	4,000	4,000	3,000	3,000	3,000	3,000	4,000	5,000	4,000	4,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000
A7	2,000	3,000	3,000	3,000	2,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,000	3,000	2,000	3,000	3,000	3,000	2,000	3,000	3,000
A8	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	5,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
A9	1,000	1,000	1,000	2,000	2,000	2,000	2,000	4,000	4,000	1,000	3,000	1,000	3,000	3,000	4,000	3,000	2,000	3,000
A10	3,000	3,000	3,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,000	3,000

Normalize Edilmiş Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18
A1	0,406	0,400	0,460	0,516	0,462	0,493	0,530	0,453	0,309	0,342	0,376	0,371	0,277	0,427	0,269	0,361	0,387	0,394
A2	0,508	0,049	0,460	0,413	0,462	0,493	0,424	0,453	0,386	0,456	0,376	0,371	0,370	0,342	0,359	0,451	0,483	0,394
A3	0,305	0,300	0,184	0,103	0,115	0,099	0,106	0,091	0,231	0,114	0,188	0,279	0,277	0,085	0,180	0,180	0,193	0,197
A4	0,203	0,200	0,276	0,309	0,231	0,296	0,212	0,091	0,386	0,228	0,282	0,186	0,185	0,342	0,269	0,180	0,193	0,197
A5	0,203	0,200	0,184	0,206	0,231	0,197	0,212	0,272	0,231	0,114	0,282	0,279	0,185	0,171	0,180	0,180	0,193	0,197
A6	0,305	0,400	0,368	0,309	0,346	0,296	0,318	0,362	0,386	0,456	0,376	0,464	0,462	0,427	0,449	0,451	0,387	0,394
A7	0,203	0,300	0,276	0,309	0,231	0,296	0,318	0,272	0,231	0,228	0,282	0,186	0,277	0,256	0,269	0,180	0,290	0,296
A8	0,406	0,400	0,368	0,413	0,462	0,394	0,424	0,362	0,386	0,456	0,376	0,371	0,370	0,342	0,359	0,361	0,387	0,394
A9	0,102	0,100	0,092	0,206	0,231	0,197	0,212	0,362	0,309	0,114	0,282	0,093	0,277	0,256	0,359	0,271	0,193	0,296
A10	0,305	0,300	0,276	0,103	0,115	0,099	0,106	0,181	0,231	0,342	0,282	0,371	0,370	0,342	0,359	0,361	0,290	0,296

Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18
A1	0,114	0,038	0,032	0,035	0,029	0,019	0,013	0,016	0,014	0,008	0,011	0,026	0,005	0,017	0,005	0,004	0,019	0,009
A2	0,143	0,005	0,032	0,028	0,029	0,019	0,010	0,016	0,017	0,010	0,011	0,026	0,006	0,014	0,006	0,005	0,024	0,009
A3	0,086	0,029	0,013	0,007	0,007	0,004	0,003	0,003	0,010	0,003	0,005	0,020	0,005	0,003	0,003	0,002	0,010	0,005
A4	0,057	0,019	0,019	0,021	0,015	0,011	0,005	0,003	0,017	0,005	0,008	0,013	0,003	0,014	0,005	0,002	0,010	0,005
A5	0,057	0,019	0,013	0,014	0,015	0,007	0,005	0,010	0,010	0,003	0,008	0,020	0,003	0,007	0,003	0,002	0,010	0,005
A6	0,086	0,038	0,026	0,021	0,022	0,011	0,008	0,013	0,017	0,010	0,011	0,033	0,008	0,017	0,008	0,005	0,019	0,009
A7	0,057	0,029	0,019	0,021	0,015	0,011	0,008	0,010	0,010	0,005	0,008	0,013	0,005	0,010	0,005	0,002	0,015	0,007
A8	0,114	0,038	0,026	0,028	0,029	0,015	0,010	0,013	0,017	0,010	0,011	0,026	0,006	0,014	0,006	0,004	0,019	0,009
A9	0,029	0,010	0,006	0,014	0,015	0,007	0,005	0,013	0,014	0,003	0,008	0,007	0,005	0,010	0,006	0,003	0,010	0,007
A10	0,086	0,029	0,019	0,007	0,007	0,004	0,003	0,007	0,010	0,008	0,008	0,026	0,006	0,014	0,006	0,004	0,015	0,007

Pozitif İdeal (A⁺) ve Negatif İdeal (A⁻) Çözüm Değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18
A ⁺	0,143	0,038	0,032	0,035	0,029	0,019	0,013	0,016	0,017	0,010	0,011	0,033	0,008	0,017	0,008	0,005	0,024	0,009
A ⁻	0,029	0,005	0,006	0,007	0,007	0,004	0,003	0,003	0,010	0,003	0,005	0,007	0,003	0,003	0,003	0,002	0,010	0,005

Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Noktalarına Olan Uzaklıkların Hesaplanması

Alternatifler	S ⁺	S ⁻
A1	0,030	0,108
A2	0,035	0,126
A3	0,079	0,064
A4	0,096	0,041
A5	0,098	0,038
A6	0,061	0,081
A7	0,094	0,046
A8	0,032	0,104
A9	0,128	0,018
A10	0,074	0,068

İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri ve Sıralaması

Alternatifler	C _i	Sıra
A1	0,780	2
A2	0,781	1
A3	0,446	6
A4	0,301	8
A5	0,278	9
A6	0,572	4
A7	0,327	7
A8	0,765	3
A9	0,123	10
A10	0,479	5

Ek 4: VIKOR Uygulama Aşamaları

Başlangıç Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18
A1	4,000	4,000	5,000	5,000	4,000	5,000	5,000	5,000	4,000	3,000	4,000	4,000	3,000	5,000	3,000	4,000	4,000	4,000
A2	5,000	4,000	5,000	4,000	4,000	5,000	4,000	5,000	5,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	5,000	5,000	4,000
A3	3,000	3,000	2,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000	2,000	3,000	3,000	1,000	2,000	2,000	2,000	2,000
A4	2,000	2,000	3,000	3,000	2,000	3,000	2,000	1,000	5,000	2,000	3,000	2,000	2,000	4,000	3,000	2,000	2,000	2,000
A5	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	1,000	3,000	3,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
A6	3,000	4,000	4,000	3,000	3,000	3,000	3,000	4,000	5,000	4,000	4,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000
A7	2,000	3,000	3,000	3,000	2,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,000	3,000	2,000	3,000	3,000	3,000	2,000	3,000	3,000
A8	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	5,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
A9	1,000	1,000	1,000	2,000	2,000	2,000	2,000	4,000	4,000	1,000	3,000	1,000	3,000	3,000	4,000	3,000	2,000	3,000
A10	3,000	3,000	3,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,000	3,000

Kriterler İçin En İyi (f_i^+) ve En Kötü (f_i^-) Değerler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18
F ⁺	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4
F ⁻	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	2	1	2	2	2	2

Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18
A1	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,008	0,000	0,018	0,011	0,000	0,011	0,004	0,017	0,000
A2	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,006	0,010	0,006	0,000	0,000	0,000
A3	0,141	0,032	0,053	0,068	0,063	0,038	0,024	0,036	0,044	0,023	0,029	0,036	0,011	0,040	0,017	0,012	0,050	0,023
A4	0,211	0,064	0,035	0,034	0,042	0,019	0,018	0,036	0,000	0,015	0,015	0,053	0,017	0,010	0,011	0,012	0,050	0,023
A5	0,211	0,064	0,053	0,051	0,042	0,029	0,018	0,018	0,044	0,023	0,015	0,036	0,017	0,030	0,017	0,012	0,050	0,023
A6	0,141	0,000	0,018	0,034	0,021	0,019	0,012	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000
A7	0,211	0,032	0,035	0,034	0,042	0,019	0,012	0,018	0,044	0,015	0,015	0,053	0,011	0,020	0,011	0,012	0,033	0,012
A8	0,070	0,000	0,018	0,017	0,000	0,010	0,006	0,009	0,000	0,000	0,000	0,018	0,006	0,010	0,006	0,004	0,017	0,000
A9	0,281	0,096	0,070	0,051	0,042	0,029	0,018	0,009	0,022	0,023	0,015	0,071	0,011	0,020	0,006	0,008	0,050	0,012
A10	0,141	0,032	0,035	0,068	0,063	0,038	0,024	0,027	0,044	0,008	0,015	0,018	0,006	0,010	0,006	0,004	0,033	0,012

S_j , R_j ve Q_j Değerleri ve Sıralanması

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
S	Değer	0,161	0,062	0,739	0,665	0,751	0,270	0,629	0,189	0,833	0,582
	Sıralama	2	1	8	7	9	4	6	3	10	5
R	Değer	0,070	0,018	0,141	0,211	0,211	0,141	0,211	0,070	0,281	0,141
	Sıralama	2	1	4	7	8	5	9	3	10	6
Q	Değer	0,164	0,000	0,672	0,758	0,814	0,368	0,735	0,182	1,000	0,570
	Sıralama	2	1	6	8	9	4	7	3	10	5

En İyi İki Seçenek Arasındaki Fark $Q(A_2)-Q(A_1)$ Değerleri

Alternatifler	Q Sıralaması	$Q(A_2)-Q(A_1)$ Değerleri
A2	0,000	0,164
A1	0,164	0,018
A8	0,182	0,186
A6	0,368	0,202
A10	0,570	0,102
A3	0,672	0,063
A7	0,735	0,023
A4	0,758	0,056
A5	0,814	0,186
A9	1,000	



ÖZGEÇMİŞ

Duygu SERDAR, 31.10.1991 tarihinde Trabzon İli Ortahisar İlçesi'nde doğdu. 2005 yılında Ata İlköğretim Okulu'nu; 2009 yılında Atatürk Lisesi'ni; 2014 yılında da Atatürk Üniversitesi - İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü'nü bitirdi. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi - Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı.

SERDAR, bekar olup, İngilizce bilmektedir.

