

SANAYİ 4.0 OLGUNLUK DÜZEYİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ÇOK KRİTERLİ BİR YAKLAŞIM: LOJİSTİK SEKTÖRÜ UYGULAMASI

Hacettepe Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi Dergisi
Cilt 38, Sayı 4, 2020
s. 655-693

Birdoğan BAKİ

Prof.Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü
bbaki@ktu.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-6401-0449>

Duygu SERDAR

Yüksek Lisans Mezunu, Karadeniz Teknik
Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Bölümü
duygu-srdr2561@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4746-2072>

*Bu çalışma, Prof. Dr. Birdoğan BAKİ
danışmanlığında yürütülen Duygu SERDAR
tarafından hazırlanan Karadeniz Teknik
Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde kabul
edilen "İşletmelerin Sanayi 4.0 Olgunluk
Düzeylerinin Belirlenmesine Yönelik Çok Kriterli
Bir Yaklaşım: Lojistik Sektörü Uygulaması"
başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir*

Öz: Son dönemlerde ortaya çıkan en önemli kavramlardan biri olan Sanayi 4.0, firmaların hem daha yüksek teknolojik seviyeye hem de daha yüksek verimlilik düzeyine ulaşmasına imkan sağlamaktadır. Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ise, çeşitli göstergelerle/kriterlerle firmaların mevcut durumlarını ölçerek olması gereken yere nasıl ulaşacağını ve firmaların Sanayi 4.0'a hazır olma durumlarını değerlendiren modellerdir. Bu çalışmanın amacı, IMPULS olgunluk modeli ile lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesine yönelik iki farklı yaklaşım önermektir. Bu amaçla, önerilen *Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı* (AHP-Olgunluk Puan Hesaplama Yöntemi) ve *Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı* (AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR) ile firmaların sıralaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, AHP yöntemiyle kriter ağırlıklarının hesaplanması sonucunda en yüksek ağırlığa sahip kriterin *strateji ve organizasyon* olduğunu göstermektedir. Ayrıca, önerilen her iki yaklaşımında benzer sonuçlar verdiği ve olgunluk düzeyinin ölçümünde kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Sanayi 4.0, olgunluk modeli, lojistik, TOPSIS, VIKOR.

A MULTI-CRITERIA APPROACH BASED ON THE EVALUATION OF INDUSTRY 4.0 MATURITY LEVEL: LOGISTICS SECTOR APPLICATION

Hacettepe University
Journal of Economics and
Administrative Sciences
Vol. 38, Issue 4, 2020
pp. 655-693

Birdoğan BAKİ

Prof.Dr., Karadeniz Technical University
Faculty of Economics and Administrative
Sciences
Department of Business Administration
bbaki@ktu.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-6401-0449>

Duygu SERDAR

Master's Degree, Karadeniz Technical
University
Social Sciences Institute
Department of Business Administration
duygu-srdr2561@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4746-2072>

This paper is adapted from the master thesis titled as "A Multi Criteria Approach Based on the Evaluation of Industry 4.0 Maturity Level: Logistics Sector Application" which is conducted by Duygu Serdar under the supervision of Prof.Dr. Birdoğan Baki and accepted by Karadeniz Technical University Institute of Social Sciences.

A

Abstract: Industry 4.0, one of the most important concepts in recent years, allows companies to reach both a higher technological level and a higher productivity level.

Industry 4.0 maturity models evaluate the current status of companies and whether companies are ready for Industry 4.0 using various indicators/criteria. The aim of this study is to propose two different approaches to evaluate the Industry 4.0 maturity levels of logistics firms with the IMPULS maturity model. For this purpose, the firms are ranked by *Weighted Maturity Score Calculation Model Approach* (AHP-Maturity score calculation method) and *Multi Criteria Maturity Model Approach* (AHP-TOPSIS and AHP-VIKOR), respectively. The findings show that the criterion *strategy and organization* has the highest value as a result of calculating the criteria weights by using AHP. Besides, it is concluded that both approaches give similar results and can be used in the measurement of maturity level.

Keywords: Industry 4.0, maturity model, logistics, TOPSIS, VIKOR.

GİRİŞ

Özellikle 21. Yüzyılın başından itibaren hızlanan teknolojik gelişmeler, firmaları önemli bir rekabet baskısı ile karşı karşıya bırakmıştır. Bu baskının üstesinden gelip sürdürülebilir rekabet gücü elde edebilmek için ise yeni teknolojilerin hızlıca benimsenmesi ve uygulamaya geçilmesi önemli bir yetkinlik haline gelmiştir. Bu noktada son dönemde ortaya çıkan kavramlardan biri de Sanayi 4.0 olarak nitelendirilmektedir.

Dördüncü Sanayi Devrimi ve Endüstri 4.0 olarak da isimlendirilen Sanayi 4.0 kavramı, ilk kez 2011 yılında Almanya’da düzenlenen Hannover fuarında duyulmaya başlanmış ve Almanya’nın 2020 Yüksek Teknoloji Stratejisinin bir parçası olarak ortaya çıkmıştır (Kagermann, 2013: 77). Sanayi 4.0 kavramı genel anlamıyla, üretim süreçlerinden insan faktörünün ortadan kaldırılması ve siber fiziksel sistemlerin endüstriyel üretim sistemlerine uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Ghobakhloo, 2018: 910). Yani; birbirleriyle sürekli iletişim kuran ve etkileşime giren akıllı nesnelere sanal ve fiziksel dünyanın; nesnelerin interneti, bulut sistemler, eklemeli imalat, siber güvenlik, siber fiziksel sistemler, büyük veri analitiği ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojiler aracılığıyla bütünleşmesini içeren bir kavramdır (Trotta, Garengo, 2019: 69). Bu teknolojilerden nesnelerin interneti; fiziksel cihazların entegrasyonunu mümkün kılarak çeşitli elektronik/mekanik donanım ile yazılım içeren nesnelerin veri toplama, işleme, iletişim ve ağ oluşturma yetenekleri ile donatıldığı bir ağ sistemi kurarak insanların hayatını kolaylaştıracak bir sistem oluşturmaktadır (Lu, 2017: 6). Bulut sistemler; bilgisayarların, uygulamaların, yazılımların ve diğer tüm cihazların birbirine bağlanabildiği; veri işleme, depolama gibi işlem gücüne sahip Internet tabanlı veri paylaşımı sağlayan bir platformdur (Ludwig, 2016: 16). Eklemeli imalat; tasarımı yapılmış elektronik bir nesneyi/veriyi, dijital bir dosya ile birçok farklı işlemi ve teknolojiyi birbirine ekleyerek üç boyutlu fiziksel parça üretimi yapan bir teknolojidir (Ghobakhloo, 2018: 921). Siber güvenlik; dijital ortamlardaki veri ve hizmetlerin; bilgisayar ortamında, donanım ve yazılımlara gelebilecek herhangi bir zarardan korunması ve bu veri/hizmetlerin kötü amaçlı kullanılmasını önlemek amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlerin tümüdür (Kagermann *vd.*, 2013: 47). Siber Fiziksel Sistemler ise, makinelerin otomatik hale gelmesini ve akıllı/esnek yazılımlarla kontrol edilmesini sağlamaktadır (Ludwig, 2016: 15). Büyük veri analitiği; verilerin birçok farklı kaynak ve yeni teknolojiler aracılığıyla anlamlı ve işlenebilir hale dönüştürülmesini sağlar (Ghobakhloo, 2018: 920). Son olarak artırılmış gerçeklik; verinin (bilgilerin), bilgisayar yardımıyla üretilmesi ve duyuşal girdi aracılığıyla artırılarak canlandırılması ve gerçek dünya görüntülerine eklenerek nesnelerin aynı ortamda birlikte algılanmasını sağlayan teknolojidir (İçten, Bal, 2017: 402). Buradan hareketle dördüncü sanayi devrimi; doğrudan ya da dolaylı olarak bütün birimlerin

birbiri ile ortak çalışmasını planlamakta; dijital veri yazılımını ve bilişim teknolojilerinin birbiri ile entegre olmasını öngörmektedir (Schuh *vd.*, 2014: 52).

Sanayi 4.0, işletmelerin mevcut süreçlerinin yenilikçi teknolojilerle bütünleşmesi esasına dayanmaktadır. Bu durum ise firmaların önemli değişimlere yönelik kararlar almalarını zorunlu kılmakta ve Sanayi 4.0 uygulamalarına geçiş yapmak, stratejik bir karar haline gelmektedir. Bu stratejik kararı almadan önce firmaların, Sanayi 4.0'a hazır olma durumlarını değerlendirmeleri önemli bir gerekliliktir (Schumacher *vd.*, 2016: 163; Rajnai, Kocsis, 2018: 225).

Firmaların belirli bir konudaki mevcut durumunu ortaya koyan olgunluk modelleri, yeni teknolojilere geçişte firmalara yardımcı olacak önemli değerlendirme araçlarından biridir (Li, Lau, 2019: 1576). Olgunluk modelleriyle yapılan analizler sonucunda firmalar, güçlü ve zayıf yönlerini belirleyebilir ve hedeflenen sonuçların etkin bir şekilde elde edilmesi için ihtiyaç duyulan kaynaklarını belirleyebilir (Sternad *vd.*, 2018: 698; Li, Lau, 2019: 1576). Bu özellikleri ile olgunluk modellerinin, Sanayi 4.0'a geçiş sürecinde firmalara kapsamlı bir yol haritası sunarak yardımcı olabileceği söylenebilir.

Bilişim teknolojilerini tüm süreçlerine dahil eden ve sanayinin gelişiminde destekleyici bir rol oynayan lojistik sektörünün Sanayi 4.0 süreçlerinden önemli ölçüde etkilenmesi beklenmektedir. Bu kapsamda Sanayi 4.0'ın lojistik firmaları üzerine etkisini inceleyen çalışmaların (Müller, Voigt, 2018; Torbacki, Kijewska, 2019; Cimini *vd.*, 2019; Fatorachian, Kazemi, 2020) varlığı dikkati çekmektedir. Ayrıca bu etkileşimin bir sonucu olarak Lojistik 4.0 gibi kavramların da kullanmaya başlandığı görülmektedir. Öte yandan, lojistik firmalarının Sanayi 4.0 ile önemli bir değişim ve dönüşüm sürecine girmesi söz konusu olmaktadır (Barreto *vd.*, 2017; Winkelhaus, Grosse, 2020) ki bu açıdan bakıldığında da lojistik firmalarının Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesinin önemli bir ihtiyaç olduğu söylenebilir.

İlgili literatür incelendiğinde, ülkemizde Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili yapılmış çalışmaların az sayıda olduğu ve bu çalışmaların pek azında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Ayrıca lojistik firmalarına yönelik olarak böyle bir yöntemi esas alan bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Bu bağlamda bu çalışmanın temel amacı; IMPULS olgunluk modeli kriter ve alt kriterleri kullanarak lojistik firmalarının Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesine yönelik iki farklı olgunluk modeli yaklaşımı önermektir. Buradan hareketle lojistik firmaları, olgunluk düzeylerine göre *Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı* ve *Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı* aracılığıyla sıralanmıştır. Bunun yanında her iki yaklaşımdan elde edilen sonuçlar

karşılaştırılmıştır. Ayrıca, sonuçların geçerliliğinin test edilmesi amacıyla duyarlılık ve korelasyon analizleri yapılmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde ilk olarak Sanayi 4.0 olgunluk modelleriyle ilgili yapılmış çalışmalara ilişkin literatür araştırmasına yer verilmiştir. Daha sonra, çalışmada kullanılan yöntemler incelenerek uygulamaya yer verilmiş ve bulgular tartışılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar hakkında değerlendirmeler yapılmış, çalışmanın katkısı, kısıtları ve gelecekte yapılacak çalışmalarla ilgili öneriler ortaya konmuştur.

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İçinde bulunduğumuz yüzyılda, dijital dönüşümü de ifade eden Sanayi 4.0 kavramına gerek akademik dünyadan gerekse sanayiden oldukça yoğun bir ilgi mevcuttur. Nitekim konuyla ilgili yayın sayısının son yıllarda artması da bunu göstermektedir. Bu bölümde, Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili yapılan literatür araştırması sonucunda belirlenen çalışmalara ilişkin kısa bilgiler ortaya konmuştur.

Literatür araştırmasının kapsamını, sekiz uluslararası veri tabanı (Business Source Complete, Emerald, Google Scholar, IEEE/ IET Explore Digital Library, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Taylor & Francis Online) ile YÖK Tez Tarama sistemi oluşturmaktadır. Yalnızca hakemli dergilerde ve bilimsel konferans kitaplarında yayınlanan çalışmaların esas alındığı bu taramalarda; “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” ve “4th industrial revaluation and maturity model analysis” anahtar kelimeleri ile bu kelimelerin Türkçe karşılıkları 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”, ve “supply chain 4.0 and maturity model assessment” anahtar kelimeleri kullanılarak da taramalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tarama süreci sonunda belirlenen 77 çalışma, öncelikle teorik ve uygulamalı olarak ikiye ayrılmıştır. Ardından çalışmaların amaçları incelenerek Tablo 1 ve Tablo 2’deki şekilde özet olarak listelenmiştir.

Tablo 1. Sanayi 4.0 Olgunluk Modelleri ile ilgili Yapılmış Teorik Çalışmalar ve Amaçları

Yazar (Yıl)	Çalışmanın Amacı
Ganzarain, Errasti (2016)	Sanayi 4.0 konusunda firmaları eğitmek, yol göstermek, iş alanlarını çeşitlendirmek.
Barata, Cunha (2017)	Sanayi 4.0 olgunluk modelleri hakkında bilgi vermek.
De Carolis vd., (2017a)	Akıllı imalat sistemleri ile ilgili üç farklı olgunluk modelini karşılaştırmak.
De Carolis vd., (2017c)	İmalat firmalarının Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek için bir olgunluk modeli geliştirmek.
Gökalp, Sener (2017)	Firmaların Sanayi 4.0'a geçişine yardımcı olmak için bir olgunluk modeli geliştirmek.
Klötzer, Pflaum (2017)	İmalat sanayinde akıllı ürünler ve siber fiziksel sistemler yoluyla dijitalleşmeyi hedefleyen firmalar için olgunluk modeli geliştirmek.
Leyh vd., (2017)	Bilgi teknolojilerini Sanayi 4.0 ile sınıflandırmak için olgunluk modeli geliştirmek.
Stich vd., (2017)	Bilgi yönetimi ve Sanayi 4.0 yeteneklerinin olgunluk modeli ile ilişkisini incelemek.
Weber vd., (2017)	Veri tabanlı imalat için olgunluk modeli geliştirmek.
Basl (2018)	Sanayi 4.0 olgunluk modellerini ERP perspektifinden analiz etmek.
Brozzi vd., (2018)	İmalat ve inşaat sektöründeki KOBİ'lerin Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesi için metodolojik bir yaklaşım geliştirmek.
Canetta vd., (2018)	Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili literatür incelemesi yapmak.
Colli vd., (2018)	Dijital yetenekleri ölçmek amacıyla 360 Derece Dijital olgunluk değerlendirmesi modelini geliştirmek.
Gärtner (2018)	ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi ile KOBİ'lere yol haritası sunmak.
Kampker vd., (2018)	Endüstriyel hizmet işletmeleri için olgunluk düzeyleri geliştirmek.
Leineweber vd., (2018)	KOBİ'lerin Sanayi 4.0 yönünde gelişmelerine katkıda bulunmak amacıyla olgunluk modeli geliştirmek.
Methavitakul, Santiteerakul (2018)	Tayland gıda endüstrisine yönelik Sanayi 4.0 olgunluk modeli geliştirmek.
Mittal vd., (2018a)	Literatürde var olan Sanayi 4.0 olgunluk modellerini incelemek ve KOBİ'lerin bu modellere uygunluğunu değerlendirmek.
Mittal vd., (2018b)	KOBİ'ler için akıllı üretim olgunluk modeli geliştirmek.
Puchan vd., (2018)	Sanayi 4.0 olgunluk modellerine dayanan kavramsal bir çalışma gerçekleştirmek.
Rajnai, Kocsis (2018)	Çeşitli Sanayi 4.0 olgunluk modelleri hakkında bilgi vermek.
Rübel vd., (2018)	Sanayi 4.0'da iş modellerini tanımlamak.
Sjödén vd., (2018)	Akıllı fabrika ve süreç yeniliği konusunda olgunluk modeli geliştirmek.
Wienbruch vd., (2018)	Sanayi 4.0 konusunda bilgi vermek için öğrenme fabrikası modülü sunmak.
Wiesner vd., (2018)	KOBİ'lerin dijitalleşme sürecindeki zorluklarını dikkate alan bir olgunluk modeli geliştirmek.
Zeller vd., (2018)	ACATECH Sanayi 4.0 Olgunluk Endeksi hakkında bilgi vermek.
Bauer vd., (2019)	Sanayi 4.0 kullanımını insan merkezli bir bakış açısıyla ortaya koymak.

Gajsek, Sternad (2019)	Tedarik zinciri entegrasyonunun farklı olgunluk aşamaları ve Sanayi 4.0 kavramı ile arasındaki bilgi akışını ortaya koymak.
Hu, Gao (2019)	Çin için Akıllı Üretim Yetenek Olgunluk Modeli önermek.
Kolla <i>vd.</i> , (2019)	KOBİ'lere yönelik Yalın Üretim Sistemleri ve Sanayi 4.0 olgunluk modelleri arasındaki uyumu değerlendirmek.
Li, Lau (2019)	Olgunluk modellerini; mevcut, bilgi teknolojileri ve insan merkezli modeller olarak ayırarak incelemek.
Nausch <i>vd.</i> , (2019)	Firmaların veri kullanma yeteneğini değerlendirmeyi amaçlayan bir hazırlık modeli geliştirmek.
Odważny <i>vd.</i> , (2019)	Sürdürülebilir kalkınma hedefleri için Sanayi 4.0 olgunluk seviyesini değerlendirmek.
Sony, Naik (2019)	Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili literatür çalışması yapmak.
Trotta, Garengo (2019)	KOBİ'lerin Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin ölçülmesine yönelik model geliştirmek.
Caiado <i>vd.</i> , (2020)	Sanayi 4.0 olgunluk modellerini incelemek ve İmalat 4.0 için yeni bir olgunluk modeli önermek.
Frederico <i>vd.</i> , (2020)	Tedarik Zinciri 4.0 kavramının geliştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla Tedarik Zinciri 4.0'ı olgunluk seviyeleri bakımından değerlendirmek.
Mrugalska, Piekarska (2020)	Sanayi 4.0'a hazır olma ve olgunluk modellerinin analizine ilişkin yeni model geliştirmek.

Tablo 2. Sanayi 4.0 Olgunluk Modelleri ile ilgili Yapılmış Uygulamalı Çalışmalar ve Amaçları

Yazar (Yıl)	Çalışmanın Amacı
Schumacher <i>vd.</i> , (2016)	Havacılık ve uzay malzemeleri tasarlayan bir firmanın Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.
De Carolis <i>vd.</i> , (2017b)	Üç farklı sektörde faaliyet gösteren bir firmanın Sanayi 4.0 teknolojilerine yatırım yapmadan önce ihtiyaçlarını belirlemek ve yol haritasını oluşturmak.
Jæger, Halse (2017)	Dört üretim işletmesinin Nesnelerin İnterneti teknolojisine ilişkin olgunluk seviyesini ölçmek.
Zhu (2017)	Üç farklı sektörden firmaya Akıllı Endüstri Olgunluk Modelini uygulamak.
Akdil <i>vd.</i> , (2018)	Perakende sektöründe faaliyet göstermekte olan bir firmanın Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmek.
Asdecker, Felch (2018)	Tedarik zincirlerinde Teslimat Süreci Olgunluk Modeli geliştirmek ve Sanayi 4.0 yaklaşımları ile tedarik zinciri uygulamaları arasındaki ilişkiyi analiz etmek .
Ataman (2018)	Savunma sanayininin Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini Tereddütlü Bulanık AHP ile ölçmek.
Bibby, Dehe (2018)	Savunma sektöründeki 12 firmanın Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.
Bittighofer <i>vd.</i> , (2018)	Alman ve Fransız 24 firmanın Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmek.
Fettermann (2018)	Sanayi 4.0 olgunluk düzeyi ile Üretim/İşlemler Yönetimi arasındaki ilişkiyi ki-kare testi ile belirlemek.

Hamidi <i>vd.</i> , (2018)	Malezya'daki KOBİ'lerin Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.
Issa <i>vd.</i> , (2018)	Tıbbi ürünler üreten bir firmaya Sanayi 4.0 yol haritası sunmak.
Kaltenbach <i>vd.</i> , (2018)	Almanya'da faaliyet gösteren üç imalat firmasının akıllı hizmetler alanındaki olgunluğunu ölçmek.
Lu, Weng (2018)	Sanayi 4.0'ı kapsayan teknolojilerle Tayvan'a ilişkin olgunluk tahminleri yapmak.
Santos <i>vd.</i> , (2018)	Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi Olgunluk Modelleri ile Sanayi 4.0 arasındaki ilişkiyi AHP ile belirlemek.
Stich <i>vd.</i> , (2018)	İmalat firmalarının 2015 yılı mevcut durum ile 2020 yılında gerçekleşecek tahmini durumlarını ACATECH olgunluk endeksi ile belirlemek.
Türkoğlu (2018)	Bursa'da üretim yapan firmaların Sanayi 4.0'ı nasıl uyguladıklarını hazırlık modeli üzerinden incelemek.
Bandara <i>vd.</i> , (2019)	Sri Lanka bankacılık sektörünün Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.
Batz <i>vd.</i> , (2019)	Polonya'da lojistik hizmetleri sağlayan firmaların Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.
Elnagar <i>vd.</i> , (2019)	Sanayi 4.0 için Çevik İhtiyaç/Gereksinim Mühendisliği Olgunluk Modelini geliştirmek ve modeli bir firmaya uygulamak.
Felch <i>vd.</i> , (2019)	En yaygın kullanılan Sanayi 4.0 olgunluk modelini belirlemek.
Keskin <i>vd.</i> , (2019)	Konfeksiyon sektöründeki bir firmanın Sanayi 4.0 hazırlığında, AHP ile kriter ağırlıklarını belirleyerek, TOPSIS yöntemiyle firmanın Sanayi 4.0 hazırlık/olgunluk düzeyini belirlemek.
Koyuncu (2019)	En iyi Sanayi 4.0 olgunluk modelini Bulanık TOPSIS ile belirlemek.
Machado <i>vd.</i> , (2019)	Yedi imalat firmasının Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini belirlemek.
Mayusda, Wiratmadja (2019)	Endonezya kimya sektörünün Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek
Nick <i>vd.</i> , (2019)	Macaristan firmalarının Sanayi 4.0'a hazırlık düzeylerini ölçmek ve ortaya çıkan durumu makro düzeyde incelemek.
Pacchini <i>vd.</i> , (2019)	Motor üreticisi bir firmanın Sanayi 4.0'a hazırlığını değerlendirmek.
Pamuk (2019)	Sanayi 4.0 sürecinin insan davranışlarına etkisini Teknoloji Kabul Modeli kullanarak ölçmek.
Pirola <i>vd.</i> , (2019)	İtalyan KOBİ'lerinin Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.
Santos, Martinho (2019)	Brezilyalı iki otomotiv firmasının Sanayi 4.0 kavramlarını ve teknolojilerini uygulamadaki olgunluk düzeyini değerlendirmek.
Schumacher <i>vd.</i> , (2019)	Avusturya, Çin ve Hindistan'daki üç tesisin Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmek.
Tadeu <i>vd.</i> , (2019)	Brezilya'da yer alan firmaların Sanayi 4.0 dijital olgunluk düzeyini ölçmek.
Temur <i>vd.</i> , (2019)	IMPULS modeliyle üç farklı sektörden firmanın Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.
Dutta <i>vd.</i> , (2020)	Hindistan KOBİ'lerinin Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin ölçmek.
Ömürgönülşen <i>vd.</i> , (2020)	Lojistik firmaların Sanayi 4.0'a geçiş sürecinde dikkate alacağı faktörleri Bulanık DEMATEL yöntemiyle değerlendirmek.
Majstorović, <i>vd.</i> , (2020)	Sırbistan'daki imalat şirketlerinin Sanayi 4.0 hazırlığını değerlendirilmek.
Ruggero <i>vd.</i> , (2020)	Brezilya'da otomotiv sektöründe yer alan firmaların, Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini ölçmek.
Xing <i>vd.</i> , (2020)	Güney Avustralya'daki imalat firmalarının Sanayi 4.0 olgunluğunu ölçmek.
Wagire <i>vd.</i> , (2020)	Hintli bir imalat firmasının Sanayi 4.0 olgunluk düzeyini Bulanık AHP ile ölçmek.

Tablo 1’de yer alan teorik çalışmalar; literatürde yer alan Sanayi 4.0 olgunluk modelleri hakkında bilgi vermekte ve belirlenen hedefler doğrultusunda sürekli olarak yeni Sanayi 4.0 olgunluk modelleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Tablo 2’de yer alan uygulamalı çalışmalar incelendiğinde; son yıllarda bu çalışmaların giderek arttığı, çoğunlukla farklı ülkelerde gerçekleştirildiği ve elektronik, havacılık, otomobil, tekstil, savunma, lojistik, bankacılık gibi birçok farklı sektöre uygulandığı görülmektedir. Söz konusu çalışmalarda, Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerini ölçerken çoğunlukla anket kullanıldığı ve sadece iki çalışmada (Sandos *vd.*, 2018; Wagire *vd.*, 2020) ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Ayrıca, uygulamalı çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; Sanayi 4.0’a geçişte firmaların olgunluk düzeylerinin genel olarak orta seviyede olduğu (Machado *vd.*, 2019; Ruggero *vd.*, 2020) görülmektedir. Bunun yanında firmaların; ekipman altyapı düzeyinde eksiklikler olduğu ve otomasyon düzeylerinin düşük olduğu da belirlenmiştir.

Öte yandan, Türkiye’de yapılan çalışmalar incelendiğinde ise hem teorik hem de uygulamalı çalışmaların çok az sayıda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ÇKKV yaklaşımı ile Sanayi 4.0 olgunluk modellerini konu edinen çalışmaların az sayıda (Keskin *vd.*, 2019; Koyuncu, 2019; Temur *vd.*, 2019; Ömürgönülşen *vd.*, 2020) olduğu, bu çalışmalarda ele alınan firmaların çoğunlukla Sanayi 4.0 açısından başlangıç seviyesinde oldukları (Keskin *vd.*, 2019; Temur *vd.*, 2019) tespit edilmiştir. İlgili çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışmanın aşağıdaki üç özelliği ile literatüre önemli bir katkı sağladığı değerlendirilmektedir:

1. Lojistik firmalarının Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesine yönelik ilk çalışma olması.
2. Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesinde Olgunluk puan hesaplama yöntemi yaklaşımı ile AHP’nin bütünleşik olarak kullanıldığı (*Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı*) ilk çalışma olması
3. Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerine göre firmaların sıralanmasında *Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı* kapsamında AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR bütünleşik yöntemlerinin uygulandığı ilk çalışma olması.

Bu çalışmada kullanılan yöntemlerden AHP; ikili karşılaştırmaya önem veren ve uygulanması kolay bir yöntem olması sebebi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesinde tercih edilmiştir. TOPSIS yöntemi; hesaplamadaki kolaylığı ve sıralama yöntemi olarak literatürde en fazla kullanılan yöntemlerden biri olması sebebiyle firmaların sıralanması amacıyla tercih edilmiştir (Çakır, Perçin, 2013: 80). VIKOR yöntemi ise; karar verme problemlerinde birbiriyle çelişen kriterlerin yer aldığı ortak bir karara varmayı sağlayan,

ideale en yakın alternatif çözümü veren bir yöntem olması sebebiyle tercih edilmiştir (Çakır, Perçin, 2013: 81).

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. AHP Yöntemi

1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi, karmaşık karar problemlerinin çözümünde karar vericilerin önceliklerini dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren çok kriterli karar verme yöntemidir (An vd., 2007: 2574). AHP yönteminin uygulama aşamaları aşağıda gösterilmektedir (Shyjith vd., 2008: 379; Garcia vd., 2014: 65; Oğuz, Ustasüleyman, 2015: 27):

1. Aşama: Problemin Tanımlanması ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: İlk olarak problem tanımlanır ve AHP yönteminin temeli olan hiyerarşik yapı oluşturulur. Oluşturulan hiyerarşinin en üstünde problemin amacı, amacın altında kriterlerle varsa kriterlerin alt kriterleri ve en alt seviyede de alternatiflere yer verilir.

2. Aşama: İkili Karşılaştırmaların Oluşturulması: AHP yönteminin ikinci aşaması, kriterlerin birbiri üzerindeki önemlerinin tespit edilmesi amacıyla ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırmalarda Saaty (1994) tarafından geliştirilen 1-9 ölçeği temel alınmakta ve oluşturulan matrislerle kriterlerin önem dereceleri belirlenmektedir.

3. Aşama: Kriterlerin Göreli Önemlerinin Belirlenmesi: İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra, her bir sütun toplamı 1.00 olacak şekilde elde edilen matrisler normalize edilir. Normalizasyon için, her bir sütun değeri sütun toplamına bölünür. Son olarak, satırlardaki değerlerin ortalamaları alınarak ağırlıklar (kriterlerin göreli önemleri) elde edilmiş olur.

4. Aşama: Tutarlılık Oranının Hesaplanması: Karar matrislerini oluşturan karar vericilerden tutarlı davranmaları beklenmektedir. Tutarlılıktan kasıt; kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin ikili karşılaştırılmaları yapılırken verilen kararların uyumluluk içinde olmasıdır. Saaty (1994) tutarlılığı ölçmek adına aşağıdaki eşitlik (1) ve (2)'yi önermiştir:

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

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\text{Tutarlılık Göstergesi (CI)}}{\text{Rassallık Göstergesi (RI)}} \quad (2)$$

Tutarlılık oranı'nın 0.10'dan küçük olması, kararların tutarlı ve kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

2.2. Olgunluk Puanı Hesaplama Yöntemi

İlk olarak Schumacher (2016) tarafından firmaların Sanayi 4.0 olgunluk analizini kolaylaştırmak için önerilen ve olgunluk modellerini bir değerlendirme aracına dönüştürmeyi amaçlayan olgunluk puanı hesaplama yöntemi aşağıdaki eşitlik (3) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n g_i * f_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (3)$$

Eşitlikte; M olgunluğu, g_i ağırlık değerini ve f_i ise her bir kriterin ağırlıklı ortalama türünden puanını ifade etmektedir (Kaltenbach vd., 2018: 6).

2.3. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiş ve en iyi alternatifi seçmeye dayanan tutarlı, sistematik bir ÇKKV yöntemidir (Shyjith vd., 2008: 381). TOPSIS yöntemi, pozitif ideal çözüme en yakın değer ile negatif ideal çözümden en uzak olması ilkesine dayanmaktadır (Shyjith vd., 2008: 381; Behzadian vd., 2012: 13052). TOPSIS yönteminin uygulama aşamaları aşağıda gösterilmektedir (Opricovic, Tzeng, 2004: 449; Shyjith vd., 2008: 381; Perçin, Sönmez, 2018: 571):

1. Aşama: *Başlangıç Karar Matrisinin (A) Oluşturulması:* m adet karar birimi sayısı ve n adet karar kriterinden oluşan (mxn) boyutlu başlangıç karar matrisi (A) aşağıdaki gibi (eşitlik 4) oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2. Aşama: *Normalize Edilmiş Karar Matrisinin (R) Oluşturulması:* Başlangıç karar matrisi kullanılarak eşitlik (5) ile normalize karar matrisi oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5)$$

3. Aşama: *Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisinin (V) Oluşturulması:* Bir önceki aşamada oluşturulan R matrisindeki her bir değer için ilgili kriter ağırlıkları (W_j) ile çarpılmasıyla ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (eşitlik 6) oluşturulur.

$$V_{ij} = r_{ij} \times W_j \quad (6)$$

4. Aşama: *Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması:* Pozitif ideal (A^+) ve negatif ideal (A^-) çözümlere sırasıyla aşağıdaki eşitlik (7) ve (8) yardımıyla ulaşılır.

$$A^+ = \{ \max_i v_{ij} | j \in J, \min_i v_{ij} | j \in J' \} \quad (7)$$

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

5. Aşama: *Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Noktalarına Olan Uzaklıkların Hesaplanması:* Alternatiflerin pozitif ideal (S_i^+) ve negatif ideal (S_i^-) çözüm noktalarına olan uzaklıklarının hesaplanması amacıyla (9) ve (10) numaralı eşitliklerden yararlanılır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad (9)$$

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

6. Aşama: *İdeal Çözüme Olan Göreli Yakınlığın Hesaplanması:* Alternatiflerin ideal çözüme olan göreli yakınlığının (C_i) hesaplanması eşitlik (11) yardımıyla gerçekleştirilir.

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (11)$$

2.4. VIKOR Yöntemi

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, Opricovic tarafından 1998 yılında geliştirilmiş ve birbiriyle çelişen kriterlerin olması durumunda, alternatiflerin sıralanması amacıyla kullanılan bir ÇKKV yöntemidir (Opricovic, Tzeng, 2004: 447; Opricovic, Tzeng, 2007: 515). Yöntemde, maksimum grup faydası (çoğunluk kuralı) ve minimum bireysel pişmanlık sağlanarak ideale en yakın sonuca ulaşılmaktadır (Yıldız, Devenci, 2013: 429; Fu vd., 2015: 65). VIKOR yöntemi uygulama aşamaları aşağıdaki gösterilmektedir (Opricovic, Tzeng, 2004: 447; Opricovic, Tzeng, 2007: 515; Çakır, Perçin, 2013: 81):

1. Aşama: Başlangıç Karar Matrisindeki En İyi ve En Kötü Değerlerinin Hesaplanması: Başlangıç karar matrisindeki kriterlerin en iyi (f_i^+) ve en kötü (f_i^-) değerleri, fayda ve maliyet yönlü olması açısından eşitlik (12) ve (13)'te görüldüğü gibi hesaplanır.

$$f_i^+ = \max_j f_{ij}, f_i^- = \min_j f_{ij} \quad i = 1, \dots, n \text{ (fayda kriteri için)} \quad (12)$$

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

2. Aşama: S_j ve R_j Değerlerinin Hesaplanması: S_j ve R_j değerleri, eşitlik (14) ve (15) aracılığıyla hesaplanır.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^+ - f_{ij}) / (f_i^+ - f_i^-) \quad (14)$$

$$R_j = \max \left[\frac{w_i (f_i^+ - f_{ij})}{(f_i^+ - f_i^-)} \right] \quad (15)$$

3. Aşama: Q_j Değerinin Hesaplanması: Q_j değerleri her bir alternatif için eşitlik (16) yardımıyla hesaplanır.

$$Q_j = \frac{v(s_j - s^+)}{(s^- - s^+)} + (1 - v) \frac{(R_j - R^+)}{(R^- - R^+)} \quad (16)$$

Yukarıdaki eşitlikte (16) 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. Denklemdaki v değeri, ağırlığı ifade ederken literatürde genellikle $v = 0.5$ olması tercih edilmektedir.

4. Aşama: Uzlaşık Çözüm için Q_j , S_j ve R_j Değerlerinin Sıralanması: VIKOR yöntemiyle elde edilen bu değerler, azalan bir şekilde sıralanır ve en küçük Q_j değeri en iyi alternatif olarak belirlenir.

5. Aşama: Uzlaşık Çözümün (En İyi Alternatifin) Bulunması: Q_j değerine sahip alternatifin uzlaşık çözüm olarak önerilmesi için kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar koşullarını sağlayıp sağlamadığı test edilmelidir.

1. Koşul - Kabul edilebilir avantaj: Eşitlik (17)'de yer alan A_1 değeri ilk sıradaki en iyi alternatifi gösterirken, A_2 değeri ikinci sıradaki en iyi alternatifi göstermektedir. Eşitlik (18)'deki J değeri ise alternatif sayısını göstermektedir.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ \quad (17)$$

$$DQ = 1/(J - 1) \quad (18)$$

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 olması gerekmektedir.

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

- Koşul 2 sağlanamazsa A_1 ve A_2 alternatifleri,

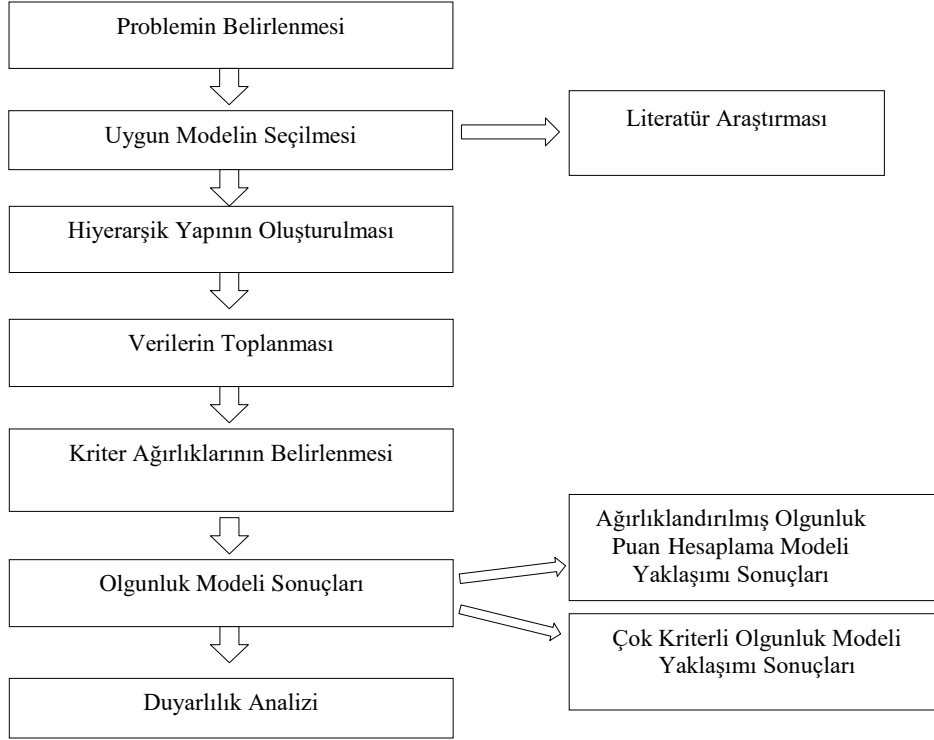
- Koşul 1 sağlanamazsa A_1, A_2, \dots, A_m alternatifleri için aşağıdaki ilişkinin sağlanması gereklidir.

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

3. UYGULAMA

Bu çalışmanın temel amacı, IMPULS olgunluk modeli kriter ve alt kriterleri kullanılarak lojistik firmalarının Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesidir. Buradan hareketle, lojistik firmalarının olgunluk düzeylerine göre *Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı* ve *Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı* aracılığıyla sıralanması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması da çalışmanın diğer amacıdır. Bu kapsamda, 2018 yılında CAPİTAL dergisi ciro sıralamasında ilk 500 firma arasından ulaştırma ve lojistik sektöründeki tüm firmalar incelenerek içinde lojistik kelimesi geçen 11 firma değerlendirmeye alınmıştır. Ancak, bir firma çalışmaya katılamayacağını belirttiğinden 10 firma için sıralama yapılmıştır. Çalışmanın uygulama sürecine ilişkin akış diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.

Şekil 1. Uygulama Süreci Akış Diyagramı



3.1. Problemin Belirlenmesi

Çalışmanın problemi, lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin ölçülmesi ve firmaların sıralanması olarak belirlenmiştir.

3.2. Uygun Modelin Seçilmesi

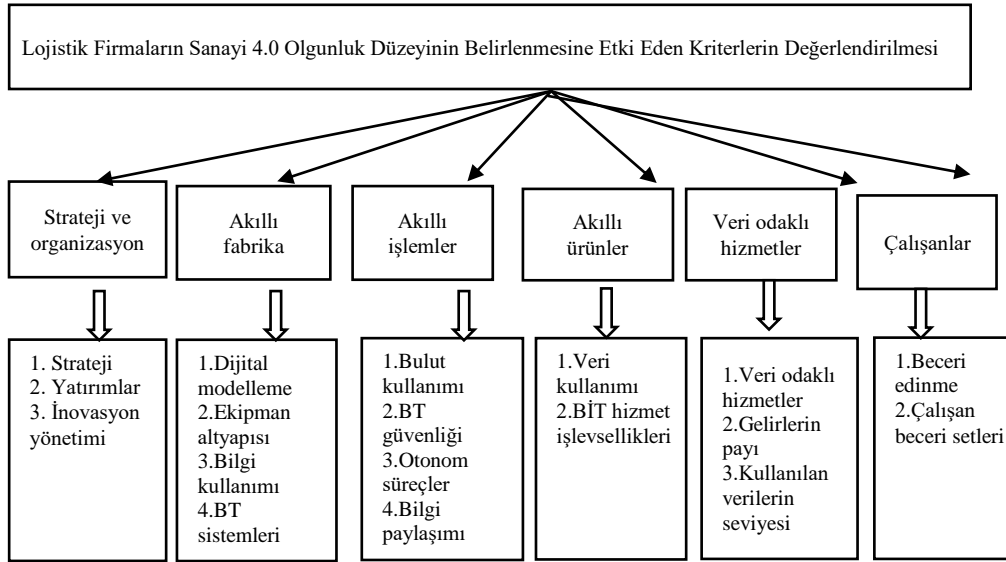
Yapılan literatür incelemesi, firmaların Sanayi 4.0 olgunluk modellerinin belirlenmesi için birçok farklı modelin geliştirildiğini göstermektedir. Geliştirilen bu modeller, herhangi bir sektör odaklı değil, genel olarak yani tüm sektörlerle yönelik olarak önerilmiştir. Bu çalışmada ise IMPULS modeli tercih edilmiştir. 2015 yılında Alman Makine Mühendisleri Endüstri Birliği uzmanları ile bazı sektör temsilcileri tarafından geliştirilmiş olan IMPULS modeli, genel anlamıyla imalat firmalarının Sanayi 4.0'a ne ölçüde hazır olduklarını görmeleri amacıyla 6 kriter 18 alt kriter ve 6 seviyeden oluşan bir modeldir (Lichtblau *vd.*, 2015: 21). Bu çalışmada ise, söz konusu kriterlerin açıklamaları lojistik sektörüne uyumlaştırılarak kullanılmıştır. Öte yandan, bu modelin tercih edilmesinin ilk sebebi, değerlendirme ölçütlerinin Sanayi 4.0'daki yeni

teknolojilerin lojistik sektöründe meydana gelecek birçok yenilik ve değişim için uygun bulunmasıdır. Ayrıca, IMPULS modeli incelendiğinde, veri odaklı hizmetler ile akıllı işlemlerle yeni lojistik ağlar tasarlanması ve bunu gerçekleştirebilen lojistik firmalarda büyük oranda verimlilik artışı sağlayacağına dikkat çekilmiştir (Lichtblau vd., 2015: 34). Son olarak bu modelin literatürde sıkça kullanılan bir model olması da (bkz. Koyuncu 2019) tercih edilme sebebini güçlendiren bir faktör olmuştur.

3.3. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

IMPULS modeli kriter ve alt kriterlerinden oluşan hiyerarşik yapı, Şekil 2'deki gibi oluşturulmuştur. Tablo 3'te ise bu modeldeki kriter ve alt kriterlerin açıklamaları verilmiştir.

Şekil 2. Lojistik Firmalar İçin Sanayi 4.0 Olgunluk Düzeyi Hiyerarşik Yapısı



Tablo 3. Çalışmada Kullanılan Kriterler ve Açıklamaları

Kriter/Alt kriter	Açıklama
<i>Strateji ve Organizasyon</i>	
(K₁) Strateji	Sanayi 4.0 stratejisinin uygulanma durumu
(K₂) Yatırımlar	Sanayi 4.0 alanında yapılacak yatırım faaliyetleri
(K₃) İnovasyon Yönetimi	Sanayi 4.0 yönünde firmanın geliştireceği ya da ekleyeceği teknoloji ve inovasyonlar hakkında strateji oluşturulması
<i>Akıllı Fabrika</i>	
(K₄) Dijital Modelleme	Üretim/hizmet süreçlerinin entegrasyonu ve dijital olarak modellenmesi
(K₅) Ekipman Altyapısı	Veri toplamak için sensör teknolojisi, aktüatörler, makineler ve robotlar gibi teknolojik ekipmanlar ile entegre çalışma altyapısının oluşturulması
(K₆) Bilgi Kullanımı	Tüm faaliyetlerle ilgili bilgilerin toplanması ve kullanılması
(K₇) BT Sistemleri	Firma sistemlerinde doğrudan MES, ERP, SCM gibi akıllı operasyon faaliyetlerinin kullanımı
<i>Akıllı İşlemler</i>	
(K₈) Bulut Kullanımı	Bulut bilişim teknolojisinin kullanım düzeyi
(K₉) BT Güvenliği	Bilgi teknolojisinde kullanılan verilerin korunması
(K₁₀) Otonom Süreçler	Kendi kendini kontrol eden ve karar verebilen iş parçaları ile planlanan süreçler
(K₁₁) Bilgi Paylaşımı	Firma faaliyetlerinin etkin takip ve koordinesi için insanlar, süreçler ve nesnel arasındaki bilgi paylaşımı
<i>Akıllı Ürünler</i>	
(K₁₂) Veri Kullanımı	Üretim durumunun izlenmesi, optimize edilmesi ile kendi kendini raporlama, entegrasyon, lokasyon belirleme, otomatik kimlik tespiti ve izleme gibi fonksiyonların analizi
(K₁₃) BİT Hizmet İşlevsellikleri	Süreçlerin geliştirilmesine ilişkin Bilgi İletişim Teknolojilerine dayalı hizmetler sunulması
<i>Veri Odaklı Hizmetler</i>	
(K₁₄) Veri Odaklı Hizmetler	Firmaların sağladıkları hizmetlere ek olarak, satış sonrası geniş kapsamlı hizmetler sunulması
(K₁₅) Gelirlerin Payı	Yenilikçi iş modelleri veya süreçlerinin geliştirilmesi ile elde edilen gelirlerin payı
(K₁₆) Kullanılan Verilerin Seviyesi	Müşteri faydasını artırmak için yenilikçi iş modelleri ve dijitalleştirilmiş süreçler ile ilgili kullanılan verilerin payı
<i>Çalışanlar</i>	
(K₁₇) Beceri Edinme	Çalışanların yeni bilişim teknolojilerine (veri kaydı, transferi, manipülasyonu, kullanımı ve yorumlanması için geliştirilmiş teknolojiler) yönelik beceriler edinmesi
(K₁₈) Çalışan Beceri Setleri	Çalışanların yeni bilişim teknolojilerine yönelik sahip olduğu beceri setleri

Kaynak: Lichtblau vd., 2015'den derlenmiştir.

3.4. Verilerin Toplanması

Çalışmada kullanılan kriterler ve alt kriterler için iki ayrı veri formu hazırlanmıştır. İlk form, kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla uzman görüşüne dayalı olarak lojistik ve Sanayi 4.0 konusunda çalışmaları olan 11 akademisyen tarafından cevaplanan AHP anketidir. İkinci form ise, Olgunluk Düzeyinin belirlenmesine yönelik ankettir. Bu anketi, değerlendirmeye katılan firmalarda, firma algısını doğru temsil edeceği düşünülen 10 Sanayi 4.0 sorumlusu cevaplamıştır. Firma yetkililerinden alınan cevaplardan elde edilen veri seti Tablo 4'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4. Uygulamada Kullanılan Veri Seti

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇	K ₁₈
A ₁	4	4	5	5	4	5	5	5	4	3	4	4	3	5	3	4	4	4
A ₂	5	4	5	4	4	5	4	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4
A ₃	3	3	2	1	1	1	1	1	3	1	2	3	3	1	2	2	2	2
A ₄	2	2	3	3	2	3	2	1	5	2	3	2	2	4	3	2	2	2
A ₅	2	2	2	2	2	2	2	3	3	1	3	3	2	2	2	2	2	2
A ₆	3	4	4	3	3	3	3	4	5	4	4	5	5	5	5	5	4	4
A ₇	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3
A ₈	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
A ₉	1	1	1	2	2	2	2	4	4	1	3	1	3	3	4	3	2	3
A ₁₀	3	3	3	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3

3.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterler ağırlıklarının belirlenmesi için yapılan AHP yöntemi sonucunda elde edilen ağırlıklar Tablo 5'te görüldüğü gibidir.

Tablo 5 incelendiğinde; en yüksek ağırlığa sahip kriterin 0.447 ile *strateji ve organizasyon*, en düşük ağırlığa sahip kriterin ise 0,068 ile *veri odaklı hizmetler* olduğu görülmektedir. Ayrıca, karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranlarının 0,10'dan küçük olması verilerin tutarlı olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 5. Kriterlerin Görelî ve Global Ağırlıkları

<i>Kriterler</i>	Kriter Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları	Global Ağırlık
<i>Strateji ve Organizasyon</i>	0.447	Strateji (K ₁)	0.629	0.281
		Yatırımlar (K ₂)	0.215	0.096
		İnovasyon Yönetimi (K ₃)	0.156	0.070
<i>Akıllı Fabrika</i>	0.194	Dijital Modelleme (K ₄)	0.352	0.068
		Ekipman Altyapısı (K ₅)	0.325	0.063
		Bilgi Kullanımı (K ₆)	0.199	0.038
		BT Sistemleri (K ₇)	0.124	0.024
<i>Akıllı İşlemler</i>	0.132	Bulut Kullanımı (K ₈)	0.274	0.036
		BT Güvenliği (K ₉)	0.331	0.044
		Otonom Süreçler (K ₁₀)	0.172	0.023
		Bilgi Paylaşımı (K ₁₁)	0.222	0.029
<i>Akıllı Ürünler</i>	0.087	Veri Kullanımı (K ₁₂)	0.811	0.071
		BİT Hizmet İşlevsellikleri (K ₁₃)	0.189	0.017
<i>Veri Odaklı Hizmetler</i>	0.068	Veri Odaklı Hizmetler (K ₁₄)	0.584	0.040
		Gelirlerin Payı (K ₁₅)	0.244	0.017
		Kullanılan Verilerin Seviyesi (K ₁₆)	0.172	0.012
<i>Çalışanlar</i>	0.073	Beceri Edinme (K ₁₇)	0.685	0.050
		Çalışan Beceri Setleri (K ₁₈)	0.315	0.023

3.6. Olgunluk Modeli Sonuçları

3.6.1. Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı Sonuçları

AHP ile Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımında Schumacher *vd.* (2016) tarafından önerilen eşitlik (3) esas alınmıştır. Buna göre; modeldeki kriter ağırlıkları için AHP yöntemi ile belirlenen ağırlıklar, her bir alternatifin puanları için ise Tablo 4'teki veriler kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucunda firmalar, Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerine göre sıralanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımına Göre Firmaların Olgunluk Düzeyleri ve Sıralamaları

Firmalar	Olgunluk Düzeyi (M)	Sıra
A ₁	4.219	2
A ₂	4.530	1
A ₃	2.217	8
A ₄	2.397	7
A ₅	2.157	9
A ₆	3.728	4
A ₇	2.551	6
A ₈	4.044	3
A ₉	1.774	10
A ₁₀	2.736	5

Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı ile; olgunluk düzeyi en yüksek olan firmanın A₂ (4,530), en düşük olgunluk düzeyine sahip firmanın ise A₉ (1,174) olduğu dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, ilk üç sıradaki firmaların (A₂, A₁ ve A₈) olgunluk düzeyleri açısından diğerlerinden önemli derecede farklılaştığı (IMPULS modeline göre uzman firma olarak nitelendirilmekte) görülmektedir.

3.6.2. Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı Sonuçları

3.6.2.1. AHP-TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

AHP-TOPSIS yöntemi kapsamında, yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen firmaların olgunluk düzeyi sıralamaları Tablo 7’de gösterilmekte ve uygulama aşamaları ise Ek 1’de verilmektedir. Buna göre, A₂ alternatifinin (0,781) en iyi, A₉ alternatifinin (0,123) ise en kötü değere sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 7. AHP-TOPSIS Yöntemine Göre Firmaların İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri ve Sıralamaları

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

3.6.2.2. AHP-VIKOR Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

AHP-VIKOR yöntemi kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen olgunluk düzeyi sıralamaları Tablo 8’de gösterilmekte ve uygulama aşamaları Ek 2’de verilmektedir. Buna göre, VIKOR yönteminin önerdiği uzlaşık çözüm kümesi, 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 oluşmuştur.

Tablo 8. AHP-VIKOR Yöntemine Göre Firmaların S_j , R_j ve Q_j Değerleri ve Sıralamaları

Alternatifler	S		R		Q	
	Değer	Sıralama	Değer	Sıralama	Değer	Sıralama
A ₁	0.161	2	0.070	2	0.164	2
A ₂	0.062	1	0.018	1	0.000	1
A ₃	0.739	8	0.141	4	0.672	6
A ₄	0.665	7	0.211	7	0.758	8
A ₅	0.751	9	0.211	8	0.814	9
A ₆	0.270	4	0.141	5	0.368	4
A ₇	0.629	6	0.211	9	0.735	7
A ₈	0.189	3	0.070	3	0.182	3
A ₉	0.833	10	0.281	10	1.000	10
A ₁₀	0.582	5	0.141	6	0.570	5

Öte yandan, her üç yöntem sonucunda elde edilen sıralamalar arasında istatistiksel olarak bir ilişki olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla SPSS24 programında Spearman sıra korelasyon analizi uygulanmıştır. Bu analizlerle elde edilen sonuçlara göre; Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı ile AHP-TOPSIS yöntemleri arasındaki korelasyon katsayısının $r = 0,964$, Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı ile AHP-VIKOR yöntemleri arasındaki korelasyon katsayısının $r = 0,964$ ve AHP-TOPSIS ile AHP-VIKOR yöntemleri arasındaki korelasyon katsayısının ise $r = 1$ olduğu tespit edilmiştir. Buna göre farklı yöntemler aracılığıyla elde edilen sıralamalar arasında pozitif yönde yüksek derecede bir ilişki olduğu ve sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Bu durum, önerilen yaklaşımın geçerli olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

3.7. Duyarlılık Analizi

Çalışmanın bu bölümünde, AHP yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıklarının değiştirilmesi sonucunda, her üç yöntem için firmaların sıralamasında meydana gelecek değişiklikleri incelemek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu sebeple, mevcut

durum (MD) ile bütün kriterlerin eşit ağırlıkta kabul edildiği Senaryo 1 (S1) ve en yüksek ağırlığa sahip kriterle en düşük ağırlığa sahip kriterin ağırlık değerlerinin değiştirildiği Senaryo 2 (S2)'ye ait ağırlıklar Tablo 9'da görüldüğü gibi olmuştur.

Tablo 9. Duyarlılık Analizi İçin Kriter Ağırlıkları

	MD	S1	S2
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

Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı ile Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı için yapılan duyarlılık analiziyle elde edilen sıralamalar, Tablo 10'da gösterilmektedir. Tabloya göre; Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımına göre; A₂ alternatifi her iki senaryoda da ilk sırada yer almakta ve A₄, A₅, A₇ ve A₁₀ alternatiflerinin sırası değişmemektedir. Öte yandan, S1'de A₃ ve A₉, S2'de ise A₆ alternatifinin ağırlık değişimine duyarlılık gösterdiği dikkat çekmektedir.

Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımından AHP-TOPSIS yönteminde; S1 ve S2 senaryolarının sonucunda A₃ alternatifinin ağırlık değişimine en çok duyarlılık

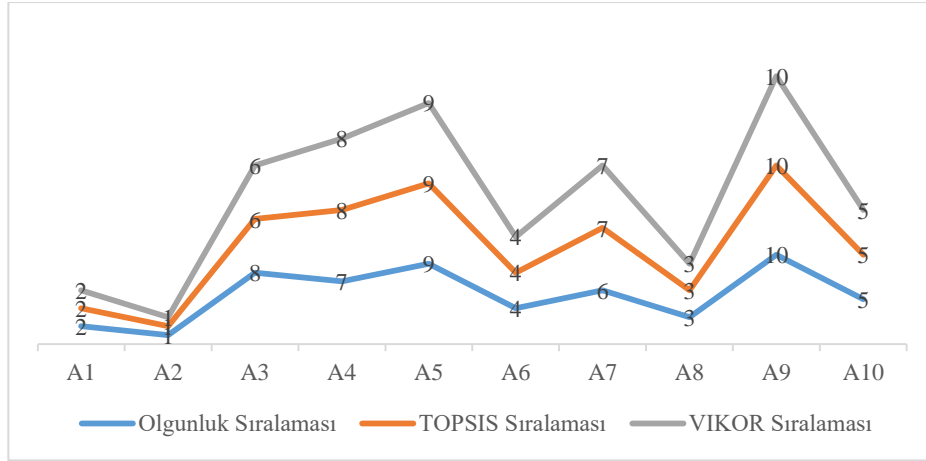
gösterdiği dikkat çekmektedir. AHP-VIKOR yöntemi için yapılan duyarlılık analizinde ise A_2 , A_5 ve A_{10} alternatiflerinde her iki senaryoda da değişim olmadığı; A_3 alternatifinin ağırlık değişimine duyarlılık gösterdiği görülmektedir.

Tablo 10. Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı ile Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı İçin Duyarlılık Analizi Sonuçları

	Ağırlıklandırılmış			Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı					
	Olgunluk Modeli Yaklaşımı			AHP-TOPSIS			AHP-VIKOR		
	MD	S1	S2	MD	S1	S2	MD	S1	S2
A_1	2	2	3	2	1	2	2	4	2
A_2	1	1	1	1	3	4	1	1	1
A_3	8	10	10	6	10	9	6	10	10
A_4	7	7	7	8	7	8	8	7	8
A_5	9	9	9	9	9	10	9	9	9
A_6	4	3	2	4	4	1	4	3	2
A_7	6	6	6	7	5	6	7	6	7
A_8	3	3	4	3	2	3	3	2	4
A_9	10	8	8	10	8	7	10	8	6
A_{10}	5	5	5	5	6	5	5	5	5

Lojistik firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen analizler sonucunda, firmaların Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı ile Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımından elde edilen sıralama sonuçları Şekil 3'te toplu halde gösterilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde; firma sıralamasının Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımında kullanılan her iki yöntemde de aynı olduğu, Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımında da Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı ile benzer sıralamalar elde edildiği dikkat çekmektedir.

Şekil 3. Alternatiflerin Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı ile Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı Sıralama Sonuçları



SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde firmaların her geçen gün değişen teknolojiler karşısında hayatta kalmaları ve rekabet üstünlüğü sağlamaları açısından bir takım önlemler almaları gerekmektedir. Olgunluk modelleri aracılığıyla firmalar, Sanayi 4.0 teknolojilerine geçiş yapmadan önce yeni teknolojilere hazır olma durumlarını değerlendirmeli ve hangi olgunluk düzeyinde olduklarını belirlemeleri gerekmektedir. İlgili literatür incelendiğinde, Sanayi 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili az sayıda çalışma yapıldığı ve bu çalışmaların pek azında Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinin kullanıldığı görülmüştür.

Bu çalışmanın temel amacı; IMPULS olgunluk modeli kriter ve alt kriterleri kullanılarak lojistik firmalarının Sanayi 4.0 olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesine yönelik iki farklı olgunluk modeli yaklaşımı önermektir. Bu amaçla lojistik firmaları, olgunluk düzeylerine göre *Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı* ve *Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı* aracılığıyla sıralanmıştır. Bunun yanında her iki yaklaşımından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında bu çalışmanın literatüre üç yönden katkısı söz konusudur. Birincisi, lojistik sektöründe Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesine yönelik yapılmış ilk çalışma olmasıdır. İkincisi, Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin belirlenmesinde *Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı* ile AHP'nin bütünleşik olarak kullanılmasıdır. Üçüncüsü ise Sanayi 4.0 olgunluk

düzeylerinin sıralanmasında Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı kapsamında AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR bütünlük yöntemlerinin uygulanmasıdır.

Yapılan çalışmada kriter ağırlıklarının AHP yöntemi ile belirlenmesi sonucunda, lojistik firmalarının Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin ölçümünde en önemli kriterin *strateji ve organizasyon* (0,447) olduğu belirlenmiştir. 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. *Veri odaklı hizmetler* (0,068) kriteri ise bu süreçte en düşük ağırlığa sahip kriter olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi ise, lojistik firmalarda satış sonrası hizmetler yönünden ve müşteri memnuniyetini artırmak için yeni iş modelleri geliştirme yönünden eksiklikler olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

AHP yöntemi ile kriter ağırlıklarının hesaplanmasının ardından Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı kullanılarak firmaların olgunluk düzeyleri belirlenmiş ve firmalar olgunluk düzeylerine göre sıralanmıştır. Bu sıralama sonucunda firmaların Sanayi 4.0 olgunluk düzeyleri açısından A_2 , A_1 , A_8 , A_6 , A_{10} , A_7 , A_4 , A_3 , A_5 ve A_9 şeklinde sıralandığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı kapsamında AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemi kullanılarak yapılan sıralamalar incelendiğinde; A_2 , A_1 , A_8 , A_6 , A_{10} , A_3 , A_7 , A_4 , A_5 ve A_9 şeklinde bir sıralamanın olduğu ve bu iki yöntemde aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Özetle, her üç yöntemle yapılan analizler sonucunda sıralamaların benzer olduğu dikkat çekmektedir. Yapılan korelasyon analizi sonuçları da sıralamalar arasında pozitif yönde yüksek derecede bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu durum, her üç yöntemle elde edilen sonuçların tutarlı olduğunu ve önerilen yaklaşımın geçerli olduğunu göstermektedir.

Gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonucunda; Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımında A_2 alternatifinin, Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı'nda ise A_3 alternatifinin ağırlık değişimine en fazla duyarlılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Firmaların sıralanmasına ilişkin bulgular, genel anlamıyla değerlendirildiğinde; A_2 , A_1 ve A_8 firmalarının ilk sıralarda yer almasında; bu firmaların Sanayi 4.0 stratejisi geliştiriyor olması ve lojistik firmalara rekabet üstünlüğü sağlayacak birçok teknolojiyi kullanıyor olmasından kaynaklandığı yapılan görüşmelerden anlaşılmıştır. A_9 ve A_5 firmalarının son sıralarda yer almasındaki sebep; bu firmaların henüz Sanayi 4.0 stratejisine sahip olmaması ve sektörde Sanayi 4.0 farkındalığını yeni kazanmaya başlayan firmalar olmasındandır. Ayrıca, önerilen her iki model yaklaşımı için firmaların ciro sıralamasıyla elde edilen sıralamalar arasında bir ilişki olup olmadığı

Spearman sıra korelasyon analizi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda, firma cirolarıyla iki model yaklaşımıyla elde edilen sıralamalar arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür. Firmaların tümünün büyük ölçekli firmalar olması, yani firmalar arasında büyüklük açısından farklılıklar olmaması nedeniyle ilişki bulunmamasının doğal olduğu düşünülmektedir.

Çalışmanın sonuçları ile Batz vd. (2019) ve Ömürgönülşen vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalar arasında firmaların Sanayi 4.0 teknolojilerine uyum süreçleriyle ilgili olarak ve olgunluk düzeyinin belirlenmesinde etkili olan kriterler açısından bazı farklılıklar ve benzerlikler söz konusudur. Batz vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Polonya’da lojistik hizmetleri sağlayan, hem Polonya hem de uluslararası alanda faaliyet gösteren çoğu büyük ölçekli 17 firmanın Lojistik 4.0 hakkında bilgi ve olgunluk düzeyinin ölçümü yapılmıştır. Söz konusu çalışmada firmalar; yönetim, malzeme akışı ve bilgi akışı boyutları ile birbirinden ayrılarak otomasyon derecesi, robotlaşma derecesi, veri elde etme ve kullanımı, değer zincirlerinin entegrasyonu vb. şekilde alt boyutlarda sınıflandırılmıştır. Yapılan analiz sonucunda; firmaların Lojistik 4.0 teknolojileri konusunda bilgi ve dolayısıyla olgunluk düzeyinin iyi durumda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Polonya firmalarının Türkiye’deki firmalara göre biraz daha avantajlı konumda olduğu sonucunu doğurmaktadır. Bu durumun Polonya’daki firmaların Siber fiziksel sistemler (CPS), Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi teknolojilerin lojistik sektörüne çabuk uyum sağlamasından ve Polonya firmalarının tümünün hem ulusal hem de uluslararası alanda faaliyet göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Öte yandan, Ömürgönülşen vd. (2020) ise çalışmasında lojistik firmalarının Sanayi 4.0’a geçişte dikkate alacağı faktörleri DEMATEL yöntemiyle belirlemiş ve bu faktörlerin önem derecelerini tespit etmişlerdir. Söz konusu çalışmada, lojistik firmalarının Sanayi 4.0’a uyum sürecinde en etkili faktörleri sırasıyla uyum yeteneği, dijitalleşme düzeyi ve esneklik; en az etkili faktörleri ise insan kaynağı altyapısı ve farkındalık düzeyi olarak tespit etmişlerdir. Ömürgönülşen vd. (2020) ile bu çalışmada kullanılan kriterler farklı isimler altında incelenirse de, iki çalışmanın bazı benzerlikleri ve farklılıkları söz konusudur. Örneğin; her iki çalışmada da *İnsan altyapısına* yönelik kriter/kriterlerin son sıralarda yer alması bir benzerlik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, dijitalleşme düzeyinin her iki çalışmada da ilk beş içinde yer alması bir diğer benzerliktir. En önemli farklılık ise, bu çalışmada ilk sırada çıkan *strateji* kriterinin Ömürgönülşen vd. (2020)’nin çalışmasında *üst yönetim desteği* olarak orta sıralarda yer almasıdır.

Yukarıdaki temel bulgularla birlikte bu çalışmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. Bunlardan ilki; IMPULS olgunluk modelinin doğrudan lojistik sektörüne yönelik olmamasıdır. Bu nedenle, IMPULS modeli kriterlerine lojistik sektörünü yönelik bazı kriterler (RFID kullanımı, algoritma kullanımı, drone kullanımı, dağıtım kanalları optimizasyonunda karar verme ya da makine öğrenmesi) eklenerek modelin, lojistik

sektörüne daha da uygun hale getirilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, gelişmiş ülkelerde dahi olgunluk puanlarının düşük olduğu dikkate alındığında bu çalışmada 10 firmanın olgunluk düzeyinin yüksek çıkmıştır. Bunun sebebinin, firma yöneticilerinin iyimser cevaplar vermesi olduğu veya anketlerin yüz yüze yapılamamasından kaynaklandığı düşünülebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda; DEMATEL-ANP yöntemleriyle kriterler arasındaki ilişkiler belirlenerek kriterlerin ağırlıkları belirlenebilir. Ayrıca, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri de olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Akdil, K.Y., A. Ustundag, E. Cevikcan (2018), "Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy", *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, 54, 61-94.
- An, S-H., G-H. Kim, K-I. Kang (2007), "A Case-Based Reasoning Cost Estimating Model Using Experience by Analytic Hierarchy Process", *Building and Environment*, 42(7), 2573–2579.
- Asdecker, B., V. Felch (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, A.C. (2018), Savunma Sanayinde Endüstri 4.0 Olgunluk Parametrelerinin Tereddütlü Bulanık AHP Yöntemi İle Önceliklendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bandara, O.K.K., V.K. Tharaka, A.P.R. Wickramarachchi (2019), "Industry 4.0 Maturity Assessment of the Banking Sector of Sri Lanka", *International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)*, IEEE, 190-195.
- Barata, J., P.R. Cunha (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.
- Barreto, L., A. Amaral, T. Pereira (2017), "Industry 4.0 Implications in Logistics: An Overview", *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.
- Basl, J. (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.
- Batz, Aglaya., J.O. Szlapka, A. Stachowiak, G. Pawłowski, K. Maruszewska (2019), "Identification of Logistics 4.0 Maturity Levels in Polish Companies-Framework of the Model and Preliminary Research", in Grzybowska K., Awasthi, A., Sawhney, R. (editors), *Sustainable Logistics and Production in Industry 4.0: New Opportunities and Challenges*, Poland: Springer, 161-175.

- Bauer, W., B. Pokorni, S. Findeisen (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.
- Behzadian, M., S.K. Otaghsara, M. Yazdani, J. Ignatius (2012), "A state-of the-art survey of TOPSIS applications", *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051-13069.
- Bibby, L., B. Dehe (2018), "Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector", *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043.
- Bittighofer, D., M. Dust, A. Irslinger, M. Liebich, L. Martin (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., R.D.D'Amico, G.P. Monizza, C. Marcher, M. Riedl, D. Matt (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.
- Caiado, R.G.G., L.F. Scavarda, D.L.M. Nascimento, P. Ivson, V.H.C. Cunha (2020), "A Maturity Model for Manufacturing 4.0 in Emerging Countries", *International Conference on Production and Operations Management Society*, 393-402.
- Canetta, L., A. Barni, E. Montini (2018), "Development of a Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Sector", *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), IEEE*, 1-7.
- Carolis, A.D., M. Macchi, B. Kulvatunyou, M. P. Brundage, S. Terzi (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.
- Carolis, A.D., M. Macchi, E. Negri, S. Terzi (2017a), "A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 513, 13-20.
- Carolis, A.D., M. Macchi, S. Terzi (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.
- Cimini, C., A. Lagorio, F. Pirola, R. Pinto (2019), "Exploring Human Factors in Logistics 4.0: Empirical Evidence From A Case Study", *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2183-2188.
- Colli, M., O. Madsen, U. Berger, C. Møller, B.V. Wæhrens, M. Bockholt (2018), "Contextualizing the Outcome of a Maturity Assessment for Industry 4.0", *International Federation of Automatic Control Papers Online*, 51(11), 1347–1352.
- Çakır, S., S. Perçin (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.

- Dutta, G., R. Kumar, R. Sindhwan, R.K. Singh (2020), “Digital Transformation Priorities of India’s Discrete Manufacturing SMEs-A Conceptual Study in Perspective of Industry 4.0”, *An International Business Journal*, 30(3), 289-314.
- Elnagar, S., H. Weistroffer, M. Thomas (2019), “Agile Requirement Engineering Maturity Framework for Industry 4.0”, *European, Mediterranean and Middle Eastern Conference on Information Systems*, 341, 405–418.
- Fatorachian, H., H. Kazemi (2020), “Impact of Industry 4.0 on Supply Chain Performance”, *Production Planning & Control*, DOI: 10.1080/09537287.2020.1712487
- Frederico, G.F., J.A.G. Reyes, A. Anosike, V. Kumar (2020), “Supply Chain 4.0: Concepts, Maturity and Research Agenda”, *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 262–282.
- Felch, V., B. Asdecker, E. Sucky (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, D.C., C.G.S. Cavalcante, T.D. Almeida, G.L. Tortorella (2018), “How Does Industry 4.0 Contribute to Operations Management?”, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(4), 255-268.
- Fu, H-P., T-H. Chang, A. Lin, Z-J. Du, K-Y. Hsu (2015), “Key Factors for The Adoption of RFID in The Logistics Industry in Taiwan”, *The International Journal of Logistics Management*, 26(1), 61-81.
- Gajsek, B., M. Sternad (2019), “Information Flow in the Context of the Green Concept, Industry 4.0, and Supply Chain Integration”, *Integration of Information Flow for Greening Supply Chain Management*, 297-323.
- Ganzarain, J., N. Errasti (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., A. Alvarado, J. Blanco, E. Jiménez, A.A. Maldonado, G. Cortés (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, B. (2018), “Step-by-Step to Industrie 4.0 Maturity Index Helps Manufacturer Create a Roadmap for the Future”, *Plant Engineering*, 72(1), 14-15.
- Ghobakhloo, M. (2018), “The Future of Manufacturing Industry: A Strategic Roadmap Toward Industry 4.0”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936.
- Gökalp, E., U. Sener (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.
- Hamidi, S.R., A.A. Aziz, S.M. Shuhidan, A.A. Aziz, M. Mokhsin (2018), “SMEs Maturity Model Assessment of IR4.0 Digital Transformation”, *International Conference on Kansei Engineering & Emotion Research*, 739, 721-732.
- Hu, J., S. Gao (2019), “Research and Application of Capability Maturity Model for Chinese Intelligent Manufacturing”, *Procedia CIRP*, 83, 794-799.

- Issa, A., B. Hatiboglu, A. Bildstein, T. Bauernhansl (2018), "Industrie 4.0 Roadmap: Framework for Digital Transformation Based on the Concepts of Capability Maturity and Alignment", *Procedia CIRP*, 72, 973-978.
- İçten, T., G. Bal (2017), "Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 401-415.
- Jæger, B., L.L. Halse (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 H., W. Wahlster, J. Helbig (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, F., P. Marber, C. Gosemann, T. Bölts, A. Kühn (2018), "Smart Services Maturity Level in Germany", *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, IEEE, 1-7.
- Kampker, A., J. Frank, R. Emonts-Holley, P. Jussen (2018), "Development of Maturity Levels for Agile Industrial Service Companies", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 536, 11-19.
- Keskin, F.D., İ. Kabasakal, Y. Kaymaz, H. Soyuer (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, C., A. Pflaum (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.
- Kolla, S., M. Minufekr, P. Plapper (2019), "Deriving Essential Components of Lean and Industry 4.0 Assessment Model for Manufacturing SMEs", *Procedia CIRP*, 81, 753-758.
- Koyuncu, C.A. (2019), "Endüstri 4.0 Mevcut Durum Analizi ve Benzetim Uygulamalı Geçiş Metodolojisi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Leineweber, S., T. Wienbruch, D. K. D. Lins, K. Dietera, B. Kuhlenkötter (2018), "Concept for an Evolutionary Maturity Based Industrie 4.0 Migration Model", *Procedia CIRP*, 72, 404-409.
- Leyh, C., T. Schäffer, K. Bley, S. Forstenhäusler (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., H.K. Lau (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, K., V. Stich, R. Bertenrath, M. Blum, M. Bleider, A. Millack, K. Schmitt, E. Schmitz, M. Schröter (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, Y. (2017), "Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues", *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.
- Lu, H-P., C-I. Weng (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.
- Ludwig, F. (2016), "Business Models Enabled by Industrie 4.0 and Internet of Things", Yüksek Lisans Tezi, University Of Rhode Island.
- Machado, C.G., M. Winroth, D. Carlsson, P. Almström, V. Centerholt, M. Hallin (2019), "Industrie 4.0 Readiness in Manufacturing Companies: Challengers and Enablers Towards Increased Digitalization", *Procedia CIRP*, 81, 1113-1118.
- Majstorović, V.D., R.M. Mitrović, Z.Z. Mišković (2020), "Assessing Industry 4.0 Readiness in Manufacturing Companies from Serbia", *Proceedings of 5th International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing*, 69-79.
- Mayusda, I., I. Wiratmadja (2019), "The Development of Industry 4.0 Readiness Model. Case Study in Indonesia's Priority Industrial Sector of Chemical", *Proceedings of the International Manufacturing Engineering Conference & The Asia Pacific Conference on Manufacturing Systems*, 140-146.
- Methavitakul, B., S. Santiteerakul (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.
- Mittal, S., D. Romero, T. Wuest (2018b), "Towards a Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM3E)", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 536, 155-163.
- Mittal, S., M.A. Khan, D. Romero, T. Wuest (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.

- Müller, J.M., K-I. Voigt (2018), “The Impact of Industry 4.0 on Supply Chains in Engineer-to-Order Industries - An Exploratory Case Study”, *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 122-127.
- Mrugalska, B., A. S. Piekarska (2020), “Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises for Industry 4.0”, *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 263-270.
- Nausch, M., A. Schumacher, W. Sihn (2019), “Assessment of Organizational Capability for Data Utilization – A Readiness Model in the Context of Industry 4.0”, *International Conference on Production Research*, 243-252.
- Nick, G., A. Szaller, J. Bergmann, T. Vargedo (2019), “Industry 4.0 readiness in Hungary: Model, and the first results in connection to data application”, *IFAC PapersOnLine*, 52, 289–294.
- Odważny, F., D. Wojtkowiak, P. Cyplik, M. Adamczak (2019), “Concept for Measuring Organizational Maturity Supporting Sustainable Development Goals”, *Scientific Journal of Logistics*, 15 (2), 237-247.
- Oğuz, A., T. Ustasüleyman (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.
- Opricovic, S., G-H, Tzeng (2004), “Compromise Solution by MCDM Methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”, *European Journal of Operational Research*, 156, 445-455.
- Opricovic, S., G-H, Tzeng (2007), “Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods”, *European Journal of Operational Research*, 178, 514–529.
- Ömürgönülşen, M., B. Çekiç, İ.M. Ar (2020), “Lojistik Firmalarında Endüstri 4.0 Uyum Sürecinde Dikkate Alınacak Faktörlerin Bulanık Dematel Yöntemi ile Değerlendirilmesi”, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi (Prof. Dr. Talha Ustasüleyman Özel Sayısı)*, 167-184.
- Pacchini, A.P.T., W.C. Lucato, F. Facchini, G. Mummolo (2019), “The Degree of Readiness for the Implementation of Industry 4.0”, *Computers in Industry*, 113, 1-8.
- Pamuk, N.S. (2019), “Endüstri 4.0 Sürecinin Teknoloji Kabul Modeli ve Teknolojik Yatkinlık Endeksi Çerçevesinde Davranışsal Açidan İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Perçin, S., Ö. Sönmez (2018), “Bütünleşik Entropi Ağırlık ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Türk Sigorta Şirketlerinin Performansının Ölçülmesi”, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 565-582.
- Pirola, F., C. Cimini, R. Pinto (2019), “Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, DOI: 10.1108/JMTM-09-2018-0305.
- Puchan, J., A. Zeifang, J-D. Leu (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, Z., I. Kocsis (2018), "Assessing Industry 4.0 Readiness of Enterprises", *16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, IEEE, 225-230.
- Ruggero, S.M., N.A. Santos, J.B. Sacomano, A.C. Estender, M.T. Silva (2020), "Industry 4.0: Maturity of Automotive Companies in Brazil for the Digitization of Processes", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 131-138.
- Rübel, S., A. Emrich, S. Klein, P. Loos (2018), "A Maturity Model for Business Model Management in Industry 4.0", *Germany*, 2031-2042.
- Saaty, T.L. (1994), "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", *Interfaces*, 24(6), 19-43
- Santos, K.C.P., E.F.R. Loures, O.C. Junior, E. A.P. Santos (2018), "Product Lifecycle Management Maturity Models in Industry 4.0", *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, 540, 659-669.
- Santos, R.C., J.L. Martinho (2019), "An Industry 4.0 Maturity Model Proposal", *Journal of Manufacturing Technology Management*, DOI: 10.1108/JMTM-09-2018-0284.
- Schuh, G., T. Potente, C.W. Potente, A.R.. Weber, J.P. Prote (2014), "Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0", *Procedia CIRP*, 19, 51-56.
- Schumacher, A., S. Erol, W. Sihn (2016), "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises", *Procedia CIRP*, 52, 161-166.
- Schumacher, A., T. Nemeth, W. Sihn (2019), "Roadmapping Towards industrial Digitalization Based on an Industry 4.0 Maturity Model for Manufacturing Enterprises", *Procedia CIRP*, 79, 409-414.
- Shyjith, K., M. Ilangkumaran, S. Kumanan (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, D.R., V. Parida, M. Leksell, A. Petrovic (2018), "Smart Factory Implementation and Process Innovation", *Research-Technology Management*, 61(5), 22-30.
- Sony, M., S. Naik (2019), "Key Ingredients for Evaluating Industry 4.0 Readiness for Organizations: A Literature Review", <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284> E.T.:(01.05.2019).
- Sternad, M., T. Lerher, B. Gajšek (2018), "Maturity Levels For Logistics 4.0 Based On Nrws Industry 4.0 Maturity Model", *18th International Scientific Conference Business Logistics in Modern Management*, 695-708.
- Stich, V., G. Gudergan, V. Zeller (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.
- Stich, V., S. Schmitz, V. Zeller (2017), "Relevant Capabilities for Information Management to Achieve Industrie 4.0 Maturity", *Working Conference on Virtual Enterprises*, 506, 28-38.
- Tadeu, H.F.B., A.L.C.M. Duarte, C. Taurion, G.L. Jamil (2018), "Digital Transformation: Digital Maturity Applied to Study Brazilian Perspective for Industry 4.0", *Best Practices in Manufacturing Processes-Experiences from latin America*, *Springer*, Switzerland, 3-27.

- Temur, G.T., H.B. Bolat, S. Gözülü (2019), "Evaluation of Industry 4.0 Readiness Level: Cases from Turkey", *The International Symposium for Production Research*, 412-425.
- Torbacki, W., K. Kijewska (2019), "Identifying Key Performance Indicators to be Used in Logistics 4.0 and Industry 4.0 for the Needs of Sustainable Municipal Logistics by Means of the DEMATEL Method", *Transportation Research Procedia*, 39, 534-543.
- Trotta, D., P. Garengo (2019), "Assessing Industry 4.0 Maturity: An Essential Scale for SMEs", *International Conference on Industrial Technology and Management, IEEE*, 69-74.
- Türkoğlu, E. (2018), "Firmaların Endüstri 4.0'a Hazırlık Çalışmalarının Değerlendirilmesi: Bursa İlindeki Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Xing, K., D. H. Cropley, M. L. Oppert, C. Singh (2020), "Readiness for Digital Innovation and Industry 4.0 Transformation: Studies on Manufacturing Industries in the City of Salisbury", *Business Innovation with New ICT in the Asia-Pacific: Case Studies*, 155-176.
- Wagire, A. A., R. Joshi, A. P. S. Rathore, R. Jain (2020), "Development of Maturity Model for Assessing the Implementation of Industry 4.0: Learning From Theory and Practice", *Production Planning & Control*, DOI: 10.1080/09537287.2020.1744763.
- Weber, C., J. Königsberger, L. Kassner, B. Mitschang (2017), "M2DDM-A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing", *Procedia CIRP*, 63, 173-178.
- Wienbruch, T., S. Leineweber, D. Kreimeier, B. Kuhlenkötter (2018), "Evolution of SMEs Towards Industrie 4.0 Through a Scenario Based Learning Factory Training", *Procedia Manufacturing*, 23, 141-146.
- Wiesner, S., P. Gaiardelli, N. Gritti, G. Oberti (2018), "Maturity Models for Digitalization in Manufacturing-Applicability for SMEs", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 536, 81-88.
- Winkelhaus, S., E.H. Grosse (2020), "Logistics 4.0: A Systematic Review Towards a New Logistics System", *International Journal of Production Research*, 58(1), 18-43.
- Yıldız, A., M. Deveci (2013), "Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci", *Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 13(4), 427-436.
- Zeller, V., C. Hocken, V. Stich (2018), "Acatech Industrie 4.0 Maturity Index – A Multidimensional Maturity Model", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 536, 105-113.
- Zhu, H. (2017), "Development of Smart Industry Maturity Model", Master Graduation Thesis, University of Twente.

Ek 1. TOPSIS Uygulama Aşamaları**Başlangıç Karar Matrisi**

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇	K ₁₈
A ₁	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
A ₂	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
A ₃	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
A ₄	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
A ₅	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
A ₆	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
A ₇	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
A ₈	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
A ₉	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
A ₁₀	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

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇	K ₁₈
A ₁	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
A ₂	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
A ₃	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
A ₄	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
A ₅	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
A ₆	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
A ₇	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
A ₈	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
A ₉	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
A ₁₀	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																		
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇	K ₁₈
A ₁	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
A ₂	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
A ₃	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
A ₄	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
A ₅	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
A ₆	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
A ₇	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
A ₈	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
A ₉	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
A ₁₀	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																		
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇	K ₁₈
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 (S ⁺) ve Negatif (S ⁻) İdeal Çözüm Noktalarına Olan Uzaklıkları		
Alternatifler	S ⁺	S ⁻
A ₁	0.030	0.108
A ₂	0.035	0.126
A ₃	0.079	0.064
A ₄	0.096	0.041
A ₅	0.098	0.038
A ₆	0.061	0.081
A ₇	0.094	0.046
A ₈	0.032	0.104
A ₉	0.128	0.018
A ₁₀	0.074	0.068

İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri ve Sıralaması

Alternatifler	C ₁	Sıra
A ₁	0.780	2
A ₂	0.781	1
A ₃	0.446	6
A ₄	0.301	8
A ₅	0.278	9
A ₆	0.572	4
A ₇	0.327	7
A ₈	0.765	3
A ₉	0.123	10
A ₁₀	0.479	5

Ek 2. VIKOR Uygulama Aşamaları

Başlangıç Karar Matrisi

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇	K ₁₈
A ₁	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
A ₂	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
A ₃	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
A ₄	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
A ₅	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
A ₆	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
A ₇	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
A ₈	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
A ₉	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
A ₁₀	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

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇	K ₁₈
f_i^+	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4
f_i^-	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	2	1	2	2	2	2

Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇	K ₁₈
A ₁	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
A ₂	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
A ₃	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
A ₄	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
A ₅	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
A ₆	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
A ₇	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
A ₈	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
A ₉	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
A ₁₀	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

		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀
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(A₂)-Q(A₁) Değerleri

Alternatifler	Q Sıralaması	Q (A ₂) - Q (A ₁) Değerleri
A ₂	0.000	0.164
A ₁	0.164	0.018
A ₈	0.182	0.186
A ₆	0.368	0.202
A ₁₀	0.570	0.102
A ₃	0.672	0.063
A ₇	0.735	0.023
A ₄	0.758	0.056
A ₅	0.814	0.186
A ₉	1.000	