

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KALİTE 4.0 MODELİNDE BLOK ZİNCİRİ MİMARİSİ VE METAL
SEKTÖRÜNDE DEPO YÖNETİM SİSTEMİ UYGULAMASI**

DOKTORA TEZİ

Erhan BARAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KALİTE 4.0 MODELİNDE BLOK ZİNCİRİ MİMARİSİ VE METAL
SEKTÖRÜNDE DEPO YÖNETİM SİSTEMİ UYGULAMASI**

DOKTORA TEZİ

Erhan BARAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr.Üyesi Tülay KORKUSUZ POLAT

ŞUBAT 2023

Erhan BARAN tarafından hazırlanan “Kalite 4.0 Modelinde Blok Zinciri Mimarisi ve Metal Sektöründe Depo Yönetim Sistemi Uygulaması” adlı tez çalışması 01.02.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Fatih Emre BORAN Gazi Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Tülay KORKUSUZ POLAT Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Seher ARSLANKAYA Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK Gazi Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Serap ÇAKAR Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Kalite 4.0 Modelinde Blok Zinciri Mimarisi ve Metal Sektöründe Depo Yönetim Sistemi Uygulaması” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim. (01/02/2023).

(imza)

Erhan BARAN





Anne-Babama ve Nişanlım Dilan'a



TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini aldığım, beni yönlendiren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Tülay KORKUSUZ POLAT'a; hep yanımda olan anne ve babama; her zaman beni destekleyen, her an benimle birlikte bu çalışmamda emek sarf eden, değerli nişanlım Dilan SAKALLIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım..



Erhan BARAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Endüstri 4.0	7
2.1.1. Endüstri 4.0'da akıllı teknolojiler	7
2.1.2. Endüstri 4.0'da nesnelerin interneti	8
2.1.3. Endüstri 4.0'da büyük veri	8
2.1.4. Endüstri 4.0'da bulut bilişim	9
2.1.5. Endüstri 4.0'da blok zinciri	9
2.1.6. Endüstri 4.0'da siber-fiziksel sistemler	10
2.1.7. Endüstri 4.0'da 3D yazıcılar	11
2.1.8. Endüstri 4.0'da artırılmış gerçeklik	11
2.2. Endüstri 4.0 Çalışmaları	11
2.3. Kalite 4.0	13
2.4. Blok Zinciri (BZ)	15
2.5. Pisagor Bulanık SWARA Yöntemi	16
2.6. CoCoSo Yöntemi	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Kalite	19
3.1.1. Endüstri 4.0'da kalite maliyetleri	19
3.1.2. Endüstri 4.0'da kalite kontrol	19
3.1.3. Endüstri 4.0'da kalite performansı	20
3.1.4. Endüstri 4.0'da kalite yönetimi	20
3.1.5. Kalite kriterleri	21
3.1.6. Kalite bileşenleri	23
3.2. Kalite 4.0	25
3.3. Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo Yöntemi	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	29
4.1. Sınıflandırma Çalışması	29
5. KALİTE 4.0 MODELİ	33
5.1.1. Blok zinciri tabanlı kalite 4.0 mimarisi	35
6. BLOK ZİNCİRİ TABANLI KALİTE 4.0 UYGULAMASI	43
6.1. Depo Yönetimi Uygulaması	43
6.2. Blok Zinciri Tabanlı Kalite 4.0 Uygulaması Arayüzü	54

7. DEĞERLENDİRME.....	59
7.1. Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo Yöntemi ile Modelin Değerlendirilmesi	59
8. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	73
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	91



KISALTMALAR

3D	: Three Dimension (3 Boyutlu)
4G-LTE	: Fourth Generation Long-Term Evolution (4.Nesil Uzun Dön. Gelişim)
AR	: Artificial Reality (Arıtırılmış Gerçeklik)
AR-GE	: Araştırma-Geliştirme
BD	: Big Data (Büyük Veri)
BZ	: Blok Zinciri
CPR	: Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) (Kardiyopulmoner Res.)
ESR	: Electronic Supply Records (Elektronik Sağlık Kayıtları)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
KU	: Karar Uzmanları
MSP	: Membership Service Provider (Üyelik Servisi Sağlayıcı)
NKV	: Normalleştirilmiş Karar Verme
PBAO	: Pisagor Bulanık Ağırlıklı Ortalama
PBS	: Pisagor Bulanık Sayıları
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
VR	: Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)
WoS	: Web of Science



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Endüstri 4.0 çalışmaları.....	12
Tablo 2.2. Pisagor Bulanık SWARA çalışmaları	16
Tablo 2.3. CoCoSo çalışmaları.....	17
Tablo 6.1. Tedarikçiler ve depolar arasındaki mesafeler	43
Tablo 6.2. Taşıma maliyetleri.....	44
Tablo 6.3. Çalışan ücretleri (Nisan/2022)	44
Tablo 6.4. Malzeme giriş-çıkışları	44
Tablo 6.5. Süreç kalite bileşenine göre kıyaslama	49
Tablo 6.6. Teknoloji kalite bileşenine göre kıyaslama.....	50
Tablo 6.7. Çalışan kalite bileşenine göre kıyaslama	51
Tablo 6.8. Ekonomi kalite bileşenine göre kıyaslama.....	52
Tablo 7.1. Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yöntemi alternatifleri	60
Tablo 7.2. Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yöntemi kriterleri.....	62
Tablo 7.3. Karar uzmanlarının performansını değerlendirmek için dilsel değerler ..	65
Tablo 7.4. Seçenekler ve performans derecelerinin dilsel değerleri	65
Tablo 7.5. Seçeneklerin değerlendirilmesi için karar uzmanlarının ağırlıkları	65
Tablo 7.6. Karar uzmanlarının kriterler için belirlediği dilsel değerler	66
Tablo 7.7. Karar uzmanlarının belirlediği kriterler ve alternatiflerin pisagor bulanık değerleri	67
Tablo 7.8. Kriterlerin karar uzmanları tarafından verilen ağırlıklarının dilsel değerleri	68
Tablo 7.9. Pisagor Bulanık SWARA yöntemi kullanılarak kriterlerin önem derecesinin belirlenmesi.....	69
Tablo 7.10. Alternatiflerin genel sıralamasının yapılması	71



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma akış şeması.....	5
Şekil 3.1. Kalite kriterleri	21
Şekil 3.2. Kalite bileşenleri.....	23
Şekil 4.1. Sınıflandırmanın akış şeması.....	29
Şekil 4.2. Sınıflandırma analizi.....	31
Şekil 5.1. Kalite 4.0 modeli	34
Şekil 5.2. Blok zinciri tabanlı Kalite 4.0 mimarisi	36
Şekil 5.3. Yönetici için geliştirilen BZ algoritması	38
Şekil 5.4. Ürün için geliştirilen BZ algoritması.....	39
Şekil 5.5. İşçiler için geliştirilen BZ algoritması	40
Şekil 5.6. Depo için geliştirilen BZ algoritması	40
Şekil 6.1. Firma depoları.....	43
Şekil 6.2. İşletme ürünleri.....	45
Şekil 6.3. Depo yönetim sistemine ait ana operasyonel süreçler	46
Şekil 6.4. Depo yönetim sisteminin alt süreçleri	47
Şekil 6.5. Blok Zinciri tabanlı Kalite 4.0 modelinin uygulama adımları.....	48
Şekil 6.6. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü kullanıcı giriş ekranı	54
Şekil 6.7. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü kullanıcı ana menü ekranı ...	55
Şekil 6.8. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü kullanıcı ürün seçimi ekranı	55
Şekil 6.9. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü operasyonel süreç ekranı.....	56
Şekil 6.10. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü bileşen seçim ekranı.....	56
Şekil 6.11. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü ekonomi bileşeni ekranı	57
Şekil 7.1. Uygulamanın kullandığı depo yönetim yazılımının ekran görüntüsü	60
Şekil 7.2. A3 alternatifinin ekran görüntüsü.....	61
Şekil 7.3. A4 alternatifinin ekran görüntüsü.....	61



KALİTE 4.0 İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

ÖZET

Günümüz rekabet koşullarında işletmeler her açıdan birbirleri ile yarış içerisindeyler. Özellikle kalite gereksinimlerinin tüm süreçlerde karşılanması ve tüm çalışanların katkılarıyla müşteri ihtiyaçlarının hızlı ve doğru bir şekilde yerine getirilmesi çok önemlidir. Bu düşünceden hareketle; işletmelerdeki tüm süreçlerin, kullanılan tüm teknolojinin ve istihdam edilen tüm iş gücünün işletmenin toplam kalitesinde yer alması, gerekli kontrol ve düzeltmelerin yapılması ve kalitenin sürdürülebilir olması sağlanmalıdır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte değer yaratmak için kullanılan sistemler ve süreçler de gelişmektedir. Değer üretimini artırmak için geliştirme süreçleri ve teknolojilerin yeni sanayi devrimine, yani Endüstri 4.0'a uyum sağlaması gerekmektedir. Dördüncü sanayi devrimi olarak bilinen Endüstri 4.0, imalat sanayinin dijitalleşmesi ile ortaya çıkmıştır. Bu tez çalışmasında öncelikle Endüstri 4.0 çalışmaları kalite açısından değerlendirilerek bir sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Sınıflandırma yapılırken, Endüstri 4.0 teknolojileri detaylı olarak incelenmiştir ve literatürde bu teknolojilerin uygulandığı alanlar araştırılmıştır. Sınıflandırma neticesinde, Endüstri 4.0'ın kalite ile olan ilişkisi, belirlenen kalite kriterleri ve bileşenleri açısından da değerlendirilmiştir. Kalitenin Endüstri 4.0 için çok önemli bir unsur olduğu görülmüştür. Sonrasında bir Kalite 4.0 modeli geliştirilmiştir. Kalite 4.0 modeli ile, bir işletmedeki tüm araçlar, birlikte ele alınıp geliştirilmiştir. Kalite 4.0 modelinde; İmalat, Tedarik, Planlama, AR-GE, Satış & Pazarlama ve Personel Yönetimi gibi altı önemli işletme departmanı için uygulama imkanı bulunmaktadır. Geliştirilen model kapsamında bu çalışmada, bir işletmenin önemli süreçlerinden biri olan, bir malzemenin tedarik edilmesinden itibaren depoya gelişi ve depoda muhafaza edilmesi ele alınmıştır. Hammadde ya da bitmiş ürünlerin depolanması işlemindeki temel süreçler, Endüstri 4.0 teknolojilerinden Blok Zinciri yöntemi yardımıyla kalite temeline dayanarak yeniden tasarlanmıştır. Blok Zinciri tabanlı Kalite 4.0 için bir mimari oluşturulmuştur. Blok zinciri kullanımıyla birlikte Kalite 4.0 modeli daha etkin şekilde kullanılabilecektir. Bu model, bir işletmenin depo yönetimi süreçlerine uygulanarak, işletmenin mevcut sistemiyle kıyaslanmıştır. Kıyaslama yapılırken, Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yönteminden de yararlanılmıştır. Kıyaslama neticesinde, geliştirilen Kalite 4.0 modelinin daha etkin ve daha kapsamlı olduğu görülmüştür. Geliştirilen modelin özgün olması nedeniyle, literatürde böyle bir çalışmaya rastlanılmamaktadır.



A MODEL PROPOSAL ON QUALITY 4.0

SUMMARY

In today's competitive conditions, businesses are in competition with each other in every aspect. In particular, it is very important to meet quality requirements in all processes and to fulfill customer needs quickly and accurately with the contribution of all employees. Based on this thought; It should be ensured that all processes in the enterprises, all the technology used and all the workforce employed are included in the total quality of the enterprise, necessary controls and corrections are made and the quality is sustainable. With the development of technology, systems and processes used to create value are also developing. In order to increase value production, development processes and technologies need to adapt to the new industrial revolution, namely Industry 4.0. Industry 4.0, known as the fourth industrial revolution, has emerged with the digitalization of the manufacturing industry. Companies around the world face significant challenges due to recent environmental, social, economic and technological developments. To meet these challenges, companies need to be agile and sensitively manage their entire value chain. Various innovations can be made to realize agile management. In addition, companies need physical and virtual structures to enable collaboration and rapid adaptation throughout the entire lifecycle, from innovation to production and distribution. Meeting these needs is essential for value chains to be effective. In addition, the future of companies is changing with the development of digital environments where value chains are more influenced by each other and processes become smarter. In order to keep up with this change, companies aim to reduce unnecessary costs, increase business performance and quality, and shorten cycle times. With the development of technology, systems and processes used to create value are also developing. In order to increase value production, development processes and technologies need to adapt to the new industrial revolution (Industry 4.0). Industry 4.0, known as the fourth industrial revolution, has emerged with the digitalization of the manufacturing industry. Industry 4.0 is the digitization of all physical assets and stakeholders that make up the e-value chain to create an infrastructure. With Industry 4.0, which leads the digitalization era, all production systems, processes, machines and environments are digitized. In order to achieve digitalization, it is necessary to use high technologies. High technologies have an impact on every sector. However, the sustainability and continuity of these technologies are also important and in this context, the sustainability of Industry 4.0 should be ensured. Making an example in India, he examined how emerging economies should transition to Industry 4.0. Environmental sustainability is becoming an important competitive factor among manufacturing companies due to economic markets and international regulatory pressures. In recent years, the increasing awareness of consumers about environmental issues has led companies to offer products that are environmentally monitored and certified. Process management has an important place in the philosophy of total quality management. Process management is a discipline that underpins and manages processes to improve the performance of businesses. While Industry 4.0 applications are being used more and

more in the business world, it is not possible for quality management and process management to stay outside of digitalization. The concept of quality in Industry 4.0 aims to digitize all business processes in terms of quality in order to increase the use of Industry 4.0 technologies. In the quality management created by using Industry 4.0 technologies, the quality of the technology used in the enterprises and the quality of the workforce, especially the processes, can be monitored. Thus, the traceability, control and sustainability of the quality of all processes is ensured. In this thesis, first of all, Industry 4.0 studies were evaluated in terms of quality and a classification study was carried out. While making the classification, Industry 4.0 technologies were examined in detail and the areas where these technologies were applied were investigated in the literature. As a result of the classification, the relationship of Industry 4.0 with quality was also evaluated in terms of the determined quality criteria and components. It has been seen that quality is a very important element for Industry 4.0. Subsequently, a Quality 4.0 model was developed. With the Quality 4.0 model, all tools in a business can be considered and evaluated together. In the Quality 4.0 model; It has application possibilities for 6 important business departments such as Manufacturing, Procurement, Planning, R&D, Sales & Marketing and Personnel Management. Within the scope of the developed model, in this study, one of the important processes of an enterprise, the arrival of a material to the warehouse from its procurement and its storage in the warehouse are discussed. The basic processes in the storage of raw materials or finished products have been redesigned on the basis of quality with the help of the Blockchain method from Industry 4.0 technologies. An architecture has been created for the blockchain-based Quality 4.0. With the use of blockchain, the Quality 4.0 model will be used more effectively. This model was applied to the warehouse management processes of an enterprise and compared with the existing system of the enterprise. The developed model was compared with the method used by the company where the application was made. While making the comparison, first of all, a comprehensive evaluation was made with the authorized persons and managers working in this field in the company and this comparison was presented in tables. It has been observed that if the model developed according to the opinions of the company officials is used in warehouse tracking, a more comprehensive warehouse tracking can be performed. Afterwards, a multi-criteria evaluation method was used to make comparisons with other methods used in the warehouse management system. In the field of warehouse management, an evaluation was made with three competent managers working in high-level companies in Turkey. For the evaluation made through the questionnaire, the Pythagorean Fuzzy SWARA and CoCoSo method, which is an effective evaluation method, was used. With this method, the Developed Quality 4.0 model and three different methods were evaluated within the framework of 41 criteria determined by three decision experts. As a result of the results obtained, it was seen that the Quality 4.0 model developed was the best alternative.

1. GİRİŞ

Dünya çapındaki şirketler, son zamanlardaki çevresel, sosyal, ekonomik ve teknolojik gelişmeler nedeniyle önemli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır (Li vd., 2017). Bu zorlukların üstesinden gelmek için şirketlerin çevik olmaları ve tüm değer zincirlerini hassas bir şekilde yönetmeleri gerekmektedir (Schumacher vd., 2016). Çevik yönetimi gerçekleştirmek için çeşitli yenilikler yapılabilmektedir. Ayrıca şirketler, inovasyondan üretim ve dağıtım kadar tüm yaşam döngüsü boyunca iş birliği ve hızlı adaptasyon sağlamak için fiziksel ve sanal yapılara ihtiyaç duymaktadır (Gligor ve Holcomb, 2012). Değer zincirlerinin etkili olabilmesi için bu ihtiyaçların karşılanması esastır. Ayrıca değer zincirlerinin birbirinden daha fazla etkilendiği ve süreçlerin daha akıllı hale geldiği dijital ortamların gelişmesiyle birlikte şirketlerin gelecekleri de değişmektedir (Fatorachian ve Kazemi, 2018; Cottyn vd., 2011). Şirketler bu değişime ayak uydurabilmek için gereksiz maliyetleri düşürmeyi, iş performansını ve kaliteyi artırmayı, çevrim sürelerini kısaltmayı hedeflemektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte değer yaratmak için kullanılan sistemler ve süreçler de gelişmektedir. Değer üretimini artırmak için geliştirme süreçleri ve teknolojilerin yeni sanayi devrimine (Endüstri 4.0) uyum sağlaması gerekmektedir. Dördüncü sanayi devrimi olarak bilinen Endüstri 4.0, imalat sanayinin dijitalleşmesi ile ortaya çıkmıştır (Weking vd., 2018). Endüstri 4.0, bir altyapı oluşturmak için tüm fiziksel varlıkların ve e-değer zincirini oluşturan paydaşların dijitalleştirilmesidir (Bibby ve Dehe, 2018). Dijitalleşme çağına öncülük eden Endüstri 4.0 ile üretim sistemleri, süreçler, makineler ve ortamların tamamı dijitalleşmektedir (Alcacer ve Cruz-Machado, 2019; Ku vd., 2020; Longo vd., 2017).

Dijitalleşmenin sağlanabilmesi için yüksek teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Yüksek teknolojilerin her sektörde etkisi vardır. Ancak bu teknolojilerin sürdürülebilirliği ve devamlılığı da önemlidir ve bu bağlamda Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Iyer (2018) dünya çapında sürdürülebilir üretim süreçlerindeki gelişmeleri araştırmıştır. Hindistan'da bir örnek yaparak gelişmekte olan ekonomilerin Endüstri 4.0'a nasıl geçiş yapması gerektiğini

incelemiştir. Çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik piyasalar ve uluslararası düzenleyici baskılar nedeniyle imalat şirketleri arasında önemli bir rekabet faktörü haline gelmektedir. Son yıllarda, tüketicilerin çevre sorunlarına ilişkin farkındalığının artması, şirketlerin çevresel olarak izlenen ve sertifikalandırılan ürünler sunmasına neden olmuştur. Papetti vd. (2019), bileşenler arasında veri paylaşılarak, karmaşık tedarik zincirlerini etkin bir şekilde modelleyebilen ve öğelerin çevresel sürdürülebilirliğini ölçebilen bir yapı oluşturulabileceğini belirtmektedir.

Endüstri 4.0, son yıllarda üzerinde sıkça çalışılan bir kavramdır. Literatürde derlenmiş birçok uygulama ve sınıflandırma çalışması bulunmaktadır. Öztemel ve Gürsev (2018), akademisyenlere ve endüstride bu teknolojileri uygulayanlara uygulamalı bir Endüstri 4.0 kütüphanesi sağlamak için bir sınıflandırma çalışması gerçekleştirmiştir. İnceleme sürecinin güvenilirliğini sağlamak için Endüstri 4.0 ile ilgili 619 çalışma analiz edilmiştir. Araştırmacılar, sınıflandırmanın yanı sıra üretimde dijitalleşmeyi sağlamak isteyenler için bir yol haritası da sunmuştur. Muhuri vd. (2019), Endüstri 4.0'daki en son gelişmeler hakkında bibliyometrik analizler yapmıştır ve Endüstri 4.0'ın ne sıklıkla çalışıldığını incelemiştir. Bibliyometrik analizlerde yaygın olarak kullanılan Web of Science (WoS) ve Scopus veri tabanları tercih edilmiştir. Analiz sonucunda Endüstri 4.0'da en verimli ülkelerin Almanya ve Çin olduğu ve en sık kullanılan anahtar kelimelerin siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, akıllı üretim ve simülasyon olduğu tespit edilmiştir. Cobo vd. (2018), Endüstri 4.0'ın çalışma alanlarını incelemiştir. Siber-fiziksel yöntemler, bulut bilişim teknikleri, yenilikçi teknolojiler ve tedarik zinciri karşılaştırmaları yapılmıştır. Araştırmacılar, 2013-2017 yılları arasında SciMAT yazılımı ile Web of Science'da Endüstri 4.0 ile ilgili 333 çalışmayı inceleyerek siber-fiziksel yöntemlerin ve bulut bilişimin en çok tercih edilen teknikler olduğunu savunmuştur. Culot vd. (2020), Endüstri 4.0 anahtar kelimelerinin literatürdeki tanımlarını incelemişlerdir. Her bir tanım için öğeler belirlenerek sınıflandırma yapmışlardır. Mariani ve Borghi'nin (2019) çalışmasında, hizmet sektörlerinde Endüstri 4.0'ın potansiyel gelişiminin bibliyometrik analizi yapılmıştır. Li vd. (2019), imalat endüstrisinde veri, bilgi ve bilginin yayılmasına ilişkin mevcut literatür ile Endüstri 4.0 teknolojileri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu ilişki gruplara ayrılarak katmanlı üretim, bulut üretimi, bilgi aktarımı, bilgi yönetimi ve bilgi paylaşımı olarak incelenmiştir. Echchakoul ve Barka (2020), Endüstri 4.0'ın plastik endüstrisi üzerindeki etkileri hakkında bir literatür taraması yapmışlardır. Çalışmada

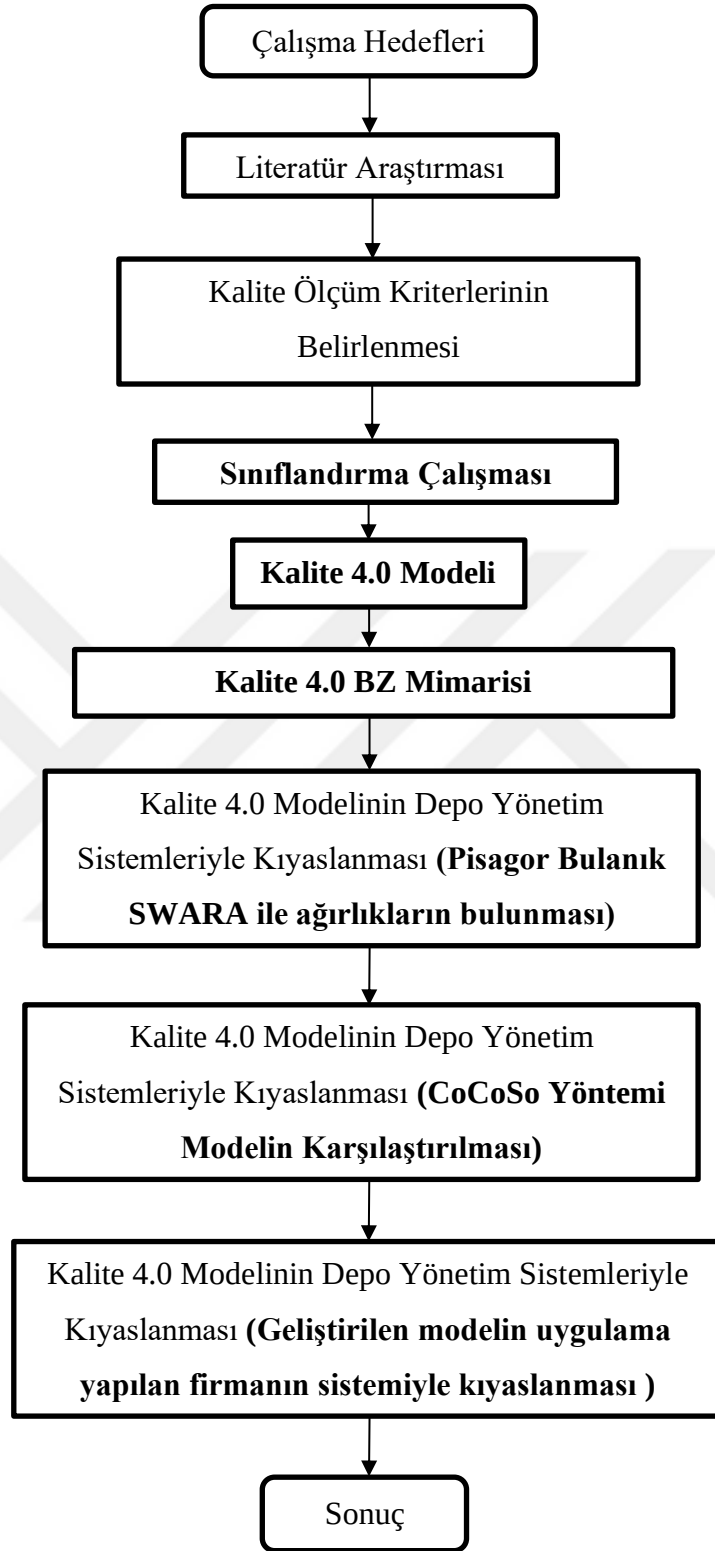
Bibliometrix R aracı ve VOSviewer yazılımı analiz edilmiştir ve “nesnelerin interneti” en çok kullanılan anahtar kelime olarak bulunmuştur.

Sınıflandırma yapıldıktan sonra çalışmanın devamında toplam kalite yönetimi felsefesi temel alınarak araştırmaya devam edilmiştir. Toplam kalite yönetimi, müşteri ihtiyaçlarını zamanında ve doğru şekilde karşılayabilmek için kalite gereksinimlerinin tüm süreçlerde ve tüm çalışanların katkısı ile sağlanmasına dayanmaktadır. Bu düşünceden yola çıkılarak bu çalışmada işletmelerdeki tüm süreçlerin, kullanılan tüm teknolojinin ve çalıştırılan tüm işgücünün işletmenin toplam kalitesine uygun olup olmadığının izlenmesi, gerekli kontrol ve düzeltmelerin yapılması ve kalitenin sürdürülebilir olmasının sağlanması, ayrıca tüm bunlar sağlanırken ekonominin bir kısıt olarak ele alınması için Endüstri 4.0 teknolojileri yardımı ile dijital bir ortam sunan yeni bir model önerilmektedir. Kalite 4.0 adı verilen referans model ile işletmedeki süreçlerin kalitesinin hangi düzeyde karşılandığı izlenebilecek, kontrol edilebilecek ve kalitenin sürdürülebilirliği sağlanabilecektir.

Bu tez çalışmasında öncelikle Endüstri 4.0 teknolojilerinin tanımları, uygulama alanları, avantajları ve zorlukları hakkında literatür taraması yapılmıştır. Çalışmada ayrıca SciMAT ve VOSviewer programları yardımıyla kalite ve Endüstri 4.0 teknolojileri (nesnelerin interneti, bulut, yapay zeka, büyük veri, 3D yazıcı, siber-fiziksel sistemler, artırılmış gerçeklik) incelenmiştir ve sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Çalışmada yapılan sınıflandırma dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kalite ve Endüstri 4.0 teknolojileri ile ilgili 958 makale incelenmiştir. İkinci aşamada kalite dört ana başlığa (kalite maliyetleri, kalite kontrol, kalite performansı, kalite yönetimi) ayrılmış ve her konunun Endüstri 4.0 teknolojileri ile ilişkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Sınıflandırma yapısı Tablo 1'de gösterilmiştir. İkinci aşamada toplam 226 makale incelenmiştir. Üçüncü aşamada, kalite değerlendirmesinde izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik kriterlerinin her birinin Endüstri 4.0 teknolojileri ile birlikte kullanıldığı 797 makale incelenmiştir. Son olarak sınıflandırmanın son aşamasında ise Endüstri 4.0'da süreç, teknoloji, insan, ekonomi ve Endüstri 4.0 teknolojileri arasındaki ilişkinin kaliteyi nasıl belirlediği incelenmiştir. Bu aşamada 6954 makale taranmıştır.

Çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerinin sektörel bazda nasıl kullanıldığı araştırılmıştır. Kalite 4.0'ın içeriği ve kapsamı anlatılmıştır. Bir işletmedeki tüm süreçlerin izlenebilirliği/kontrol edilebilirliği/sürdürülebilirliği, kullanılan teknoloji ve istihdam

edilen iş gücünün kalitesi Endüstri 4.0 ve kalite ilişkisi kapsamında incelenmiştir. Sonrasında Kalite 4.0 için geliştirilen referans model açıklanmıştır ve işleyişi ayrıntılı olarak verilerek işletmelerdeki tüm süreçlerde kullanılan teknolojinin ve istihdam edilen işgücünün kalitesi izlenebilirliğinin / kontrol edilebilirliğinin / sürdürülebilirliğinin sağlanmasında Endüstri 4.0'ın rolü anlatılmıştır. Sonraki aşamada, önerilen Kalite 4.0 modeli ve Blok Zinciri (BZ) mimari yapısı gösterilmiştir. Bu mimari yapıya dayanarak bir işletmenin depo yönetim sürecinde yapılan uygulamaya yer verilmiştir. Son olarak da geliştirilen modelin etkinliği, uygulama yapılan işletmedeki çalışanlarla yapılan görüşmeler neticesinde kıyaslamalar yapılarak gösterilmiştir. Ayrıca bunun yanında alanında uzman olan sektör çalışanlarının görüşleri doğrultusunda, piyasada sıklıkla kullanılan diğer depo takip sistemleri ile Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yöntemi entegre şekilde kullanılarak yöntemlerin kıyaslaması yapılmıştır. Çalışmanın genel akışı Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma akış şeması

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, BZ ile ilgili birçok çalışma görülmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin, kalite uygulamalarında ve kalite açısından değerlendirilmesiyle ilgili de çalışmalara rastlanılmaktadır. BZ ve kalite uygulamaları ilgili olan az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmada bir Kalite 4.0 modeli geliştirilmiştir. Bu geliştirilen model endüstri 4.0 teknolojilerinden BZ yöntemiyle birleştirilerek BZ tabanlı bir Kalite 4.0 mimari yapısı oluşturulmuştur. Bu tezde iki farklı açıdan literatüre katkı sağlanmaktadır. İlk olarak Kalite 4.0 referans modeli oluşturulmuştur ve literatürde böyle bir model yer almamaktadır. İkinci olarak da BZ ve Kalite 4.0'ın bir arada olduğu çalışma olmamasıyla literatüre katkı sağlanmıştır. Literatürde buna benzer bir çalışma bulunmamaktadır. Oluşturulan modelin bir uygulaması yapılarak etkinliği gösterilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Endüstri 4.0

Dijital dönüşüm anlamına da gelen Endüstri 4.0, teknoloji, veri alışverişi ve siber sistemlerle artan kapasiteyi temsil eden bir kavramdır. Tüm fiziksel sistemleri otomatikleştirmeyi ve uzaktan izlemeyi amaçlayan akıllı fabrika sistemlerinin oluşturulmasında hayati bir rol oynamaktadır (Frank vd., 2019). Birçok modern otomasyon sistemi, Endüstri 4.0'ın en önemli ayırt edici unsurlarıdır ve veri alışverişi ve üretim teknolojisini içermektedir (Özsoylu, 2017; Piccarozzi vd., 2018).

2.1.1. Endüstri 4.0'da akıllı teknolojiler

Endüstri 4.0, değer zinciri boyunca birbirleriyle otonom olarak iletişim kuran teknolojilere ve cihazlara dayalı üretim süreçlerinin organizasyonunu ifade etmektedir (Fox ve Subic, 2019). Kendi kendini yapılandırma, kendi kendini izleme ve kendi kendini geliştirme gibi özerk özelliklere sahip akıllı sistemler tarafından yönlendirilen üretim ekosistemleri yaratmaktadır (Tao vd., 2019). Tedarik sürecinden üretim sürecine kadar birçok akıllı fabrikada Endüstri 4.0 teknolojileri ile uygulamalar yapılmakta, maksimum kapasitede daha verimli çalışma desteklenmektedir. Teknolojik gelişmeyle birlikte fabrikaların çalışma şekli de değişmektedir. Gelişen teknolojilerle birlikte akıllı fabrikalar kullanılmaya başlanmıştır (Frank vd., 2019; Brettel vd., 2014). Akıllı fabrikalarda üretimin herhangi bir aşamasındaki süreçler otomasyon (Wang vd., 2020), iş (Radwizon vd., 2014) ve kontrol (Wang vd., 2016) kullanılarak yenilenebilir ve iyileştirilebilmektedir. Akıllı fabrikalar, fiziksel dünya ile sanal dünya arasında entegre bir veri alışverişi sağlamak için kullanılmaktadır (Barreto vd. 2017).

Bibby ve Dehe (2018) geliştirdikleri değerlendirme modelinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulama düzeyini üç boyutta ölçmeyi amaçlamışlardır. Bu boyutlar: geleceğin fabrikası, insan ve kültür ile stratejidir. Endüstri 4.0 uygulamalarını kullanarak geleceğin fabrikalarında yedi teknoloji bulunabilmektedir. Bunlar: nesnelerin interneti ve siber-fiziksel sistemler, büyük veri, bulut bilişim, blok zinciri

(Wang vd., 2019), otonom sistemler ve robotlar, 3D yazıcılar ve artırılmış gerçekliktir (Frank vd., 2019; Gabaçlı ve Uzunöz, 2017; Schwab, 2016). Simülasyon ve bazı sistem entegrasyon araçları da Endüstri 4.0'ın uygulanmasını desteklemektedir (Landriscina, 2013). Maddi varlıkların internete bağlanması, verilere uzaktan erişmeyi ve nesneleri kontrol etmeyi mümkün kılmaktadır. İnternetteki mevcut verileri konsolide etmek için nesnelerin interneti gibi sinerjik sistemlere ihtiyaç vardır (Kopetz, 2011). 4G-LTE (fourth generation long-term evaluation-dördüncü nesil uzun vadeli evrim) kablosuz internet erişimi ve wi-fi teknolojilerinin artan kullanımı ile iletişim ağlarına her an ulaşmak zorunlu hale gelmiştir (Gubbi vd., 2013).

2.1.2. Endüstri 4.0'da nesnelerin interneti

İnternetin yaygınlaşmasıyla birlikte yeni paradigmlar ortaya çıkmıştır ve bunların en öne çıkanlarından biri nesnelerin interneti teknolojisidir (Lee vd., 2013). Nesnelerin interneti terimi yaygınlaşmıştır ve nesnelerin manuel veri girişi olmaksızın teknikler kullanarak iletişim kurduğu akıllı bir ağ yapısı olarak tanımlanabilmektedir (Gubbi vd., 2013; Ulaş, 2015; Bao, 2016; Aktaş vd., 2016). Nesnelerin interneti, adreslenebilir nesnelerin belirli bir protokolle iletişim kurması anlamına gelmektedir (Yang vd., 2014). İnternet için kullanılan akıllı cihazlar kendilerini tanımlayabilir, ağlar kurabilir ve toplanan bilgileri depolayıp analiz edebilen genel bulut hizmetlerine aktarabilmektedir (Miorandi vd., 2012).

2.1.3. Endüstri 4.0'da büyük veri

Veriye dayalı bir strateji belirlemek, işletmelerin ayakta kalabilmeleri ve rekabet avantajı elde edebilmeleri için önemlidir (Jagadish vd., 2014). Büyük veri teknolojisi, çok sayıda ve çok miktarda çeşitli verilerin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Büyük veri, mevcut veri tabanı teknolojilerinin analiz edemediği çok farklı ve büyük hacimli verileri tanımlayan ve analiz eden bir kavramdır (Gahi vd., 2016). Büyük verilerin kullanım alanı oldukça geniştir; örneğin, ulusal güvenlik (Chandra vd., 2017), iş ve ekonomik faaliyetler (Diebold, 2000), imalat (Mauro vd., 2016), eğitim (Rubistein, 2013), sağlık (Tang ve Karim, 2017) ve ulaştırma ve enerji sektörlerinde (Goes, 2014) kullanılabilmektedir. Büyük veri, programların depolama, yönetim ve işleme kapasitesinin ötesinde olan veri kümelerini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Büyük veri birbiriyle ilgisiz birden çok veri kümesini

birleştirmek, büyük miktarda yapılandırılmamış veriyi işlemek ve sınırlı bir süre içinde gizli bilgileri toplamak gibi çeşitli işlemleri gerçekleştirmektedir (Erl vd., 2016).

2.1.4. Endüstri 4.0'da bulut bilişim

Büyük hacimli verilerin analizi, kullanıldığı alanların depolanması ve takibi kadar önemlidir. Bu nedenle bu takibin yapılabilmesi için teknolojilerden faydalanılması gerekmektedir. Bilgi işleme teknolojisi, anında müdahale ile birlikte verilerin ne zaman ve kim tarafından saklandığını takip etmede kolaylık sağlamaktadır (Goodburn ve Hill, 2010). Bulut bilişim teknolojileri eğitimde bireylerin verilerini/anlık verilerini izlemek ve alınan eğitim süreçlerini kontrol etmek için kullanılmaktadır (Fox, 2012). Bulut bilişim aynı zamanda bireysel kullanıcılar, küçük işletmeler ve ofis çalışanları için bilgi teknolojisi maliyetlerini de azaltmaktadır (Mladen, 2008). Bulut bilişim, genellikle belirli hizmetleri içeren ve bunları esnek yapılandırılabilirlikle kullanıcıya sunan bir ağ modelidir. Bu ağ modelinde üç temel hizmet sunulmaktadır. Bunlar; yazılım, platform ve altyapı hizmetleridir. Yazılım hizmeti, kullanıcıların herhangi bir kurulum yapmadan internete bağlı herhangi bir platformdan uygulamalara erişerek yararlandıkları bir hizmettir (Shao vd., 2011). Bir platform hizmeti kullanıcılarına yazılımlarını ve uygulamalarını çevrimiçi olarak geliştirme, test etme, dağıtma ve yalnızca bu yazılımı barındırmak için gereken çevre birimlerini kontrol ederek yönetme fırsatı sunmaktadır. (Pandey, 2010). Bir altyapı hizmeti, ihtiyaç duyduğu işlemciye, depolamaya, ağ kaynaklarına ve diğer ana bilgisayar bileşenlerine erişebilir, üzerlerine herhangi bir işletim sistemi kurabilir, uygulamalar geliştirebilir ve çalıştırabilir (Lu, 2010).

2.1.5. Endüstri 4.0'da blok zinciri

Teknolojideki gelişmeler ile birlikte verilerin merkezi sistemlerde tutulmasına gerek kalmamıştır. İstenilen veri setinin çoğaltılması ve bu verilerin sınırlı sayıda kişi ile paylaşılması ile yüksek hızlı ve güvenli iletişim kurulabilmektedir (Kshetri, 2017). Birden fazla kullanıcının olduğu bir ortamda sisteme eklenen verilerin bir standardı olmalıdır. Dijital dünyada verilerin güncellenmesi, korunması ve istenilen kişi/departman ile paylaşılması için blok zinciri teknolojisi desteklenmektedir (Rao ve Clarke, 2020). BZ, bir iş ağında işlemlerin kaydedilmesini ve varlıkların izlenmesini kolaylaştıran paylaşılan, değişmez bir defter olarak tanımlanabilir. Bir varlık maddi (ev, araba, nakit, arazi) veya maddi olmayan (fikri mülkiyet, patentler, telif hakları,

markalaşma) olabilmektedir. Neredeyse değeri olan her şey bir BZ ağında izlenebilir ve alınıp satılabilir, bu da riskleri ve maliyetleri azaltmaktadır (Gupta ve Chow, 2010). BZ, kriptografi teorisine dayalı olarak üretilen bir veri bloğundan oluşur (Nakatomo, 2017; Agrawal vd., 2021). Bloklar, ağ ortakları tarafından kabul edilen fikir birliği kurallarına göre dağıtılmış bir deftere kaydedilmektedir (Swan, 2015). Ayrıca sistem, güvenilir bir üçüncü şahsa ihtiyaç duymadan bireyler arasında ticaret yapma imkanı sunmaktadır. Tüm bireyler tüm işlem geçmişini görüntüleyebilir. İşlem geçmişinin eksiksiz olması, her bir sanal işlemin geçerliliğini de sağlar ve tüm sanal işlemler oluşturuldukları andan itibaren izlenebilmektedir.

BZ ayrıca mevcut kayıtların değiştirilmesini de engeller; böylece yönetim ihtiyacı azalmaktadır (Beck vd., 2016). BZ teknolojisi, dahili olarak veya müşteriler, tedarikçiler, hissedarlar veya hükümetle yapılan işlemlerde kullanılabilir. E-ticarette, uluslararası ödemelerde, borç vermede ve mikro finasta kullanılmaktadır (Risius ve Spohrer, 2017). BZ uygulamaları birçok alanda bulunabilir; örneğin üretimde tedarik zinciri sürecinde (Ducas ve Wilner, 2017), sağlık hizmetlerinde dijital kimlik oluşturularak hastaların takibinde (Kuo vd., 2017) ve acil durumlarda yatarak müdahalede (Tandon vd., 2020), öğrenci notlarının saklanması (Chen vd., 2018), veri iletişimi sağlamak (Thoben vd., 2017), güvenli para transferleri sağlamak ve finasta bitcoin kullanmak (Pisa ve Juden, 2017) için de kullanılabilir.

2.1.6. Endüstri 4.0'da siber-fiziksel sistemler

Endüstri 4.0 uygulamaları, bilgi teknolojilerinde ve elektrikli cihazlarda veri alışverişini birleştiren siber-fiziksel sistemleri içermektedir (Kopetz, 2011; Bahetti ve Gill, 2011). Teknolojilerin gelişmesiyle birlikte bilgi teknolojileri ve siber-fiziksel sistemlerin önemi ortaya çıkmaktadır. Siber-fiziksel sistemlerin teknoloji ile birlikte gelişmesi, makinelerin gelişimini etkilemiş ve makinelerin insan hayatındaki rolünü artırmıştır. Makineler birçok sektörde insanların işini kolaylaştırmaktadır. Örneğin: savunma sanayindeki otonom sistemlerde ve robotlarda (Cross, 2018), engelli insanların sağlık hizmetlerinde, cerrahi müdahalelerde (Shaywitz, 2005) ve yatan hasta bakımında hemşirelere yardım etmede (Huang vd., 2011), üretimde verimliliği artırmak için kalite kontrolünde (Verl, 2017), eğitimde laboratuvar çalışmasına yardım etme (Steele, 2004) ve madencilik endüstrisinde jeodezik ölçme ve mekansal karar destek çalışmalarında (Thrun vd., 1998) kullanılabilir.

2.1.7. Endüstri 4.0'da 3D yazıcılar

En temel Endüstri 4.0 teknolojilerinden biri olan üç boyutlu (3D) baskı, büyük ölçekli işletmelerden ziyade girişimci bireylerin ilgisinden dolayı geliştirilmiş bir teknolojidir. Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayarlarda depolanan bilgilerin sanaldan doğal nesnelere dönüştürülmesini sağlamaktadır (Barnatt, 2013). 3D üretime olanak sağlayan bu teknoloji literatürde eklemeli üretim olarak adlandırılmaktadır (Kneissl, 2013). Eklemeli imalat, 3D verilerle kullanılan malzemelerin katman katman eklendiği ve geometrik parçaların üretiminin hızlı bir şekilde gerçekleştirildiği modern bir imalat tekniğidir (Zhang vd., 2003). Birçok sektörde uygulama alanları vardır. Örneğin, Giannatsis ve Dedoussis (2009), sağlık endüstrisinde implantlar için ameliyat öncesi planlama çalışmalarını ve insan iskeletini inceleyerek katkılı imalatın faydalarını araştırmıştır. Ayrıca 3D yazıcılar, uçak ve gemi gibi araçlar için üretilmesi zor olan parçaların (Olla, 2015) ve ar-ge birimlerinde prototip (Bergsma vd., 2016) ürünlerin üretilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır.

2.1.8. Endüstri 4.0'da artırılmış gerçeklik

Gerçek ve sanal dünya arasında geçiş yapan artırılmış gerçeklik teknolojisinde grafik, ses sistemleri ve animasyon ile görüntü kalitesini artırmaya yönelik teknolojiler sıklıkla kullanılmaktadır (Azuma, 1997). Örneğin, artırılmış gerçeklik teknolojisi astrolojide (Chi v., 2013; Sielhorst vd., 2004), trenler için simülasyon eğitimi (Öztürk vd., 2017; Cole vd., 2017) ve birbirleriyle etkileşimlerinin analizinde kullanılmaktadır. Arttırılmış gerçeklik teknolojisinde, eğitimin etkinliğini ölçmekte (Balian vd., 2019), maliyetleri azaltmakta (Ginters ve Gutierrez, 2013), çalışanların durumlarının kontrol edilmesinde (Gattulo vd., 2019) ve sağlık hizmetlerinde yeni geliştirilen bir CPR (Cardio Pulmoner Resusitation – Kardiyo Pulmoner Resüsitasyon) eğitim sisteminde kullanılması önerilmiştir (Longo vd., 2017).

2.2. Endüstri 4.0 Çalışmaları

Endüstri 4.0 tanımları, teknolojileri, geçiş yol haritaları, farklı sektörlerdeki uygulamalar ve farklı yönetim tarzlarıyla entegrasyon çalışmaları incelenmiş ve Tablo 2.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Endüstri 4.0 çalışmaları

Çalışma	Konu
Gabaçlı vd. (2017)	Endüstride devrim niteliğinde gelişme, literatür çalışması
Santos vd. (2017)	Endüstri 4.0'da hangi anahtar teknolojilerin etkili olduğunu araştırmak
Zhong vd. (2017)	Endüstri 4.0 teknolojilerinin benzerlik ve farklılıklarının analizi
Luque vd. (2017)	Endüstri 4.0 için çerçeve önerisi
Rafael vd. (2020)	Takım tezgahlarının verimliliği için bir Endüstri 4.0 modeli geliştirmek
Hamzeh vd. (2018)	Endüstri 4.0 uygulama kılavuzu - imalat şirketleri için model
Backhaus ve Nadarah (2019)	Endüstri 4.0'a geçiş için yol haritası
Faller ve Fedmüller (2015)	KOBİ'ler için akıllı fabrika dönüşüm modeli
Benesova ve Tupa (2017)	Endüstri 4.0'a geçişte yapılması gerekenler
Sung (2018)	Endüstri 4.0'a kademeli geçiş planı
Angelopolou vd. (2020)	Endüstri 4.0'da insan faktörünün önemine yönelik simülasyon çalışması
Miragliotta vd. (2018)	Veri yönetiminde endüstri 4.0 teknolojilerinin rolü
Tupa vd. (2017)	Endüstri 4.0'ın kilit yönleri ve uygulanması sırasındaki riskler
Motyl ve Baronio (2017)	Endüstri 4.0 için hangi becerilerin ve uzmanlığın gerekli olduğunu araştırmak
Centea vd. (2020)	Endüstri 4.0'ın KOBİ'lerde uygulanması
Villa ve Taurino (2019)	Endüstri 4.0'ın KOBİ'ler üzerindeki etkilerinin araştırılması
Kolla vd. (2019)	Yalın üretim ve Endüstri 4.0'ın KOBİ'lere entegrasyonu için model
Masood ve Sonntag (2020)	KOBİ'lerde Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin temel faydaları incelenmiştir.
Müller (2019)	KOBİ'lerde ve büyük işletmelerde Endüstri 4.0 uygulamalarının karşılaştırılması
Zaimovic (2019)	AB'de enerji trendlerini, elektrikli araçları ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımını incelemek
Hidayatno vd. (2019)	Endüstri 4.0 teknolojilerinin sürdürülebilir enerji üzerindeki etkileri
Meyer vd. (2019)	Sürdürülebilirliği sağlamak için BZ kullanma
Bader vd. (2019)	Otomotiv sektöründe Endüstri 4.0'ın çevik yapılanması ve entegrasyonu
Bai vd. (2020)	Otomotiv endüstrisinde BZ kullanımı
Ebrahimi vd. (2019)	Ürünlerin dönüşümü ve geliştirilmesinde Endüstri 4.0'ın rolü
Dilberoglu vd. (2017)	Katmanlı imalatın akıllı fabrikaların gelişimine etkisi
Taurino ve Villa (2019)	Endüstri 4.0 ile otomasyonun, hatların entegrasyonunun ve üretim sistemleri yönetiminin daha etkili olacağını iddia ettiler.
Büchi vd. (2020)	Akıllı fabrikaların performansının analizi ve Endüstri 4.0 ile ilişkisi

Tablo 2.1. (Devamı) Endüstri 4.0 çalışmaları

Çalışma	Konu
Karre vd. (2017)	Akıllı fabrikalar için Endüstri 4.0'da atılacak somut adımlar
Mehami vd. (2018)	Akıllı fabrika ortamında Endüstri 4.0 teknolojilerinin etkinliği
Ahmed vd. (2019)	Akıllı sanal ürün geliştirme sistemi ile ürünlerin geliştirme süreçlerinin iyileştirilmesi
Pereira vd. (2017)	Endüstri 4.0'ın güvenlik ve koruma sektörü için uygulanabilirliği
Ardito vd. (2019)	Tedarik zinciri ve pazarlama süreçlerinin dijital dönüşümü
Silva vd. (2019)	Tedarik zincirinde teknoloji transferinde Endüstri 4.0 kullanımı
Zavadska ve Zavadsky (2020)	Ürün kalitesi ve sektörel büyümeye yönelik akıllı ürün değerlendirmeleri
Javied vd. (2019)	Bulut tabanlı web uygulaması ile enerji yönetimi
Shihundla vd. (2019)	Sağlık sektöründe verileri Endüstri 4.0 teknolojileri ile yönetmek
Perez vd. (2020)	Bisiklet kazalarını azaltmak için Endüstri 4.0'ı kullanmak
Vespoli vd. (2019)	Endüstri 4.0 ile üretim çizelgeleme
Lototsky vd. (2019)	Darboğazları öngörmek için Endüstri 4.0'ı kullanma
Osman ve Ghiran (2019)	Endüstri 4.0'ın aşamalarından biri olarak süreç madenciliğini kullanmak
Gattulo vd. (2019)	Mevcut el yazması kitapların dijitalleştirilmesi

2.3. Kalite 4.0

Kalite, bir hizmet veya ürünün özelliklerini veya olası ihtiyaçlarını karşılama derecesidir. Kalite, müşteri memnuniyeti demektir (Budianto, 2019). Kalitenin artırılması, üst yönetim çalışanları ve tüm ekip üyelerinin katılımı da dahil olmak üzere, sürece dahil olan tüm aşamalardaki (Kauffman ve Douglas, 1993) çalışanların katılımı ile mümkündür. Çalışanların ortak bir hedef doğrultusunda bu amaca ulaşma çabaları her alanda işletmenin kalitesini artırmaktadır (Othman vd., 2020).

Kalitenin gelişimi sanayi devrimlerine paralel olarak ilerlemiştir. Kalite 1.0'da; kalite ölçüm ve muayene güvence alınmak, üretim miktarına kaliteden daha fazla önem verilmekte ve muayene faaliyetleri maliyet azaltma, atık veya kayıpların azaltılmasına odaklanmaktaydı. İşin yapıldığı çevre önemli değildi. Daha ziyade üretkenliğin maksimize edilmesine çalışmaktaydı. Kalite 2.0'da; üretkenliğin artırılması yine birinci öncelikli konuyken, hurda ve yeniden işleme maliyetlerinden finansal veriler çıkarılmaya başlanmıştır. Üretkenlik için ise çalışan performansları hesaplanmaya başlanmıştır. Kalite 3.0'da; kalite bir numaralı iş önceliği haline gelmiştir. Müşteri gereksinimlerine uyum ve müşteri memnuniyeti vurgusu öne çıkmıştır. Üretkenliğin

yüksek ve etkin sürelerin stabilize edilmesi yoluyla elde edilmesine odaklanılmıştır. Ayrıca işlerin standart hale getirilmesi, tüm çalışanların katılımının sağlanması ile kalitenin artırılmasına yönelik çalışılmıştır. Kalite 4.0'da ise; geri besleme uyarıları ve süreç ayarlarının optimize edilmesi, kendi kendini düzeltebilen adapte edilebilir öğrenme mekanizmaları dijitalleşmiştir. Kalitenin kontrol tabanlı odağı, süreç operatörlerinden çok süreç tasarımcılarına yönelmiştir. Makineler, kendi üretkenlik ve kalitelerini nasıl düzenleyeceğini ve yöneteceğini yine kendileri öğrenmektedirler.

Kalite 4.0 (Quality 4.0), Toplam Kalite Yönetimi'nin (TKY) dijitalleşmesi ve bunun kalite teknolojisi, süreçler ve bireyler üzerindeki etkisi (Jacob, 2020) olarak, tıpkı Endüstri 4.0 teknolojilerinin kaliteye uygulanması (Bowers ve Pickerel) gibi tanımlanabilmektedir. Bilginin nasıl ve neden kullanılması gerektiğine karar verme yetenekleri, kalite profesyonelleri için çok önemlidir, çünkü bilginin kullanımının diğer yol tarafından değil süreç tarafından yönlendirilmesi gerekmektedir (ASQ, 2018). Kalite 4.0 yeni bir kavramdır. Literatürde yer alan Kalite 4.0 çalışmaları bu nedenle sınırlıdır. Carvalho vd. (2021), kalite yönetiminin farklı uygulamaları ile Endüstri 4.0'ın yeni teknolojileri arasındaki ilişkiyi analiz etmeyi amaçlayarak, kalite yönetiminin iyileştirilmesine yol açabilecek bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma, literatür taraması yoluyla kalite yönetimi uygulamaları ile kaliteyi iyileştiren Endüstri 4.0 teknolojileri arasındaki ilişkiyi amaçlandığı şekilde ilişkilendirilmesine yol açmıştır. Escobar vd. (2021), çalışmalarında kalite/üretim mühendisleri, yöneticiler ve müdürler için bir Kalite 4.0 girişimi ve bir sertifika programı önermektedir. Önerilen çalışma altı bilgi alanını (istatistik, kalite, üretim, programlama, öğrenme, optimizasyon) ve yedi adımlı bir problem çözme stratejisini birleştiren bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntem ile kalite açısından değerlendirme yapabilmışlardır. Singh vd. (2022), geleneksel Kalite Yönetim Sistemini (Quality Management System-QMS) dijitalleştirmek için Kalite 4.0 konseptini kullanmışlardır ve yaptıkları uygulamada Otonom Kalite Yönetim Sisteminin (Autonomous Quality Management System-AQMS) etkinliğini göstermiştir. Haleem vd. (2021) çalışmalarında, Kalite 4.0'ın rolünü ve pandemi sırasında sağlık hizmeti kalitesini korumak ve zorlukları karşılamak için nasıl kullanılabileceğini araştırmışlardır. Ek olarak, COVID-19 salgını sırasında sağlık hizmetlerinde Kalite 4.0'ın önemli uygulamalarını gerçekleştirmişlerdir. Christou vd. (2022) çalışmalarında, makine öğrenmesi ve nesnelerin internetini içeren uçtan uca bir Kalite 4.0 mimarisi oluşturmuşlardır. Javaid

vd. (2021) çalışmalarında, Kalite 4.0'ın üretim alanında nasıl önemli bir etkiye sahip olacağını göstermiştir. Araştırmacılar çalışmalarında üretim için Kalite 4.0'ın çeşitli temel yönleri ve etkinleştiricilerini tartışmıştır ve son olarak, üretim alanında Kalite 4.0'ın önemli alanlarında uygulamasının yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Kalite 4.0 ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, geliştirilen bir modele rastlanılmamaktadır. Kalite 4.0 ile ilgili yalnızca genel tanımlamalar yapılmış olup, Endüstri 4.0'a kalitenin nasıl entegre edilebileceği ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışmasında ise; Kalite 4.0 ile ilgili bir model geliştirilmiş olup, bir işletmedeki her departmanda Kalite 4.0'ın nasıl uygulanabileceği incelenmiştir. Ve bu departmanlardan birisi için, tedarik için, bir uygulama yapılmıştır. Literatürde böyle bir çalışma yer almamaktadır.

2.4. Blok Zinciri (BZ)

Gelişen teknoloji ile artık verilerin merkezi sistemlerde tutulmasına gerek kalmamaktadır. İstenilen veri setinin çoğaltılması ve bu verilerin sınırlı sayıda kişi ile paylaşılması ile yüksek hızlı ve güvenli iletişim kurulabilmektedir (Kshetri, 2017). Birden fazla kullanıcının olduğu bir ortamda sisteme eklenen verilerin bir standardı olmalıdır. Dijital dünyada verilerin güncellenmesi, korunması ve istenilen kişi/departman ile paylaşılması için blok zinciri teknolojisi desteklenmektedir (Rao v Clarke, 2020). BZ, bir iş ağında işlemlerin kaydedilmesini ve varlıkların izlenmesini kolaylaştıran paylaşılan, değişmez bir defter olarak tanımlanabilir. Bir varlık maddi (ev, araba, nakit, arazi) veya maddi olmayan (fikri mülkiyet, patentler, telif hakları, markalaşma) olabilir. Neredeyse değerli olan her şey bir BZ ağında izlenebilir ve ticareti yapılabilir, bu da dahil olan herkes için riskleri ve maliyetleri azaltmaktadır (Gupta ve Chow, 2010). BZ kriptografi teorisine dayalı olarak üretilmiş bir veri bloğundan oluşmaktadır (Nakamoto, 2017; Agrawal vd., 2021). Bloklar, ağ ortakları tarafından kararlaştırılan fikir birliği kurallarına göre dağıtılmış bir deftere kaydedilmektedir (Swan, 2015). Ayrıca sistem, güvenilir bir üçüncü kişiye ihtiyaç duymadan bireyler arasında ticaret yapma imkanı sunmaktadır. Tüm bireyler tüm işlem geçmişini görüntüleyebilir. İşlem geçmişinin eksiksiz olması, her sanal işlemin geçerliliğini de sağlar ve tüm sanal işlemler oluşturuldukları andan itibaren izlenebilmektedir. Ayrıca mevcut kayıtların değiştirilmesini engellemektedir. Böylece yönetim ihtiyacı azalmaktadır (Beck vd., 2016). BZ, dahili olarak veya müşteriler,

tedarikçiler, hissedarlar ve hükümetle yapılan işlemlerde kullanılabilir. E-ticaret, uluslararası ödeme, borç verme ve mikro finansta kullanılmaktadır (Risius ve Spohrer, 2017). BZ uygulamalarına pek çok alanda rastlamak mümkün olmaktadır. Örneğin üretimde tedarik zinciri sürecinde malzemelerin takibinde (Ducas ve Wilner, 2017), sağlık hizmetlerinde dijital kimlik oluşturularak hastaların takibinde (Kuo vd., 2017) ve acil durumlarda hastaların müdahalesinde (Tandon vd., 2020), eğitim sektöründe öğrenci notlarının saklanması ve kişisel verilerin korunmasında (Chen vd. 2018), tedarikçiler ve işletmeler arasında veri iletişiminin sağlanmasında (Thoben vd., 2017), finansta bitcoin kullanımı ile para transferlerinin güvence altına alınmasında (Pisa ve Juden, 2017) kullanılmaktadır.

2.5. Pisagor Bulanık SWARA Yöntemi

Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan SWARA (Stepwise Weigth Assessment Ratio Analysis) yöntemi, bir karar vericiye kendi önceliklerini seçebilme şansı veren, odağında uzmanların olduğu bir karar verme yöntemidir (Zolfani ve Bahrami, 2014). SWARA yöntemi, kriter ağırlıklarını belirleme aşamasında kriterlerin belirlenen önem oranlarındaki uzman görüşlerini tahmin edebilmeye dayanmaktadır. Pisagor Bulanık SWARA yönteminde Literatürde birçok farklı alanda SWARA yöntemi kullanılmaktadır. SWARA yöntemi ile ilgili yapılan çalışmalar Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Pisagor Bulanık SWARA çalışmaları

Çalışma	Konu
Adalı ve Tuş Işık (2017)	Tedarikçi seçim problemlerinde karar verme
Mardani vd. (2017)	SWARA ve bulanık mantığın etkileşimi
Zolfani ve Behrami (2014)	SWARA ile işletmelerin etkinliğinin değerlendirilmesi
Çakır (2017)	SWARA ve Copeland yönteminin birlikte kullanımı
Görener ve Alişarlı (2021)	SWARA ile kriter önceliklendirme performans değerlendirme
Piriştine (2019)	Kurumsallık düzeyi belirlemede SWARA yöntemi
Derse ve Yontar (2020)	Yenilenebilir enerji kaynağı belirleme
Yarlıkaş, Arslaner (2019)	Global tedarik zinciri yönetimini etkileyen faktörlerin önem düzeyini belirleme
Şenel vd. (2021)	Uzaktan eğitim sunucu seçimi
Madenoglu (2019)	Tedarikçi seçiminde SWARA ve TOPSIS yöntemi

2.6. CoCoSo Yöntemi

Literatürde birçok çok ölçütlü karar verme yöntemi bulunmaktadır. Farklı karar alternatiflerini değerlendirmek için kullanılan etkili yöntemlerden birisi de CoCoSo (Combined Compromise Solution) yöntemidir. Bu yöntem, Yazdani vd. (2018) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde birbirinden farklı birleştirme fonksiyonları kullanılarak çeşitli açılardan alternatif kararların fayda değerleri hesaplanmaktadır. Daha sonra bir çözüm uzlaşması sağlayabilmek için her bir alternatif kararın fayda değerlerini birleştirmek için bir operatör kullanılmaktadır (Coudhary ve Mishra, 2021). CoCoSo yöntemi ile ilgili yapılan çalışmalar Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. CoCoSo çalışmaları

Çalışma	Konu
Görçün ve Küçükönder (2022)	BWM ve CoCoSo yöntemleri ile kentlerin ulaşım performanslarının analizi
Topal (2021)	Elektrik üretim şirketlerinin finansal performans analizi
Ersoy (2022)	CoCoSo yöntemi normalizasyon prosedürlerinin belirlenmesi
Demir (2021)	Finansal Performans ölçümü
Akgül (2021)	Ticari bankaların finansal performans analizi
Çalış ve Sakarya (2022)	Otomotiv sektöründe finansal performans analizi
Adalı ve Çağlar (2020)	Bursiyer seçiminde CoCoSo yöntemi
Özdağoğlu vd. (2022)	Uçuş okullarının uçak seçimlerinin değerlendirilmesi
Gençkaya vd. (2021)	CoCoSo yöntemi ile finans analizi



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kalite

Kalite, bir hizmet veya ürünün özelliklerini veya olası ihtiyaçlarını karşılama derecesidir. Kalite, müşteri memnuniyeti demektir (Budianto, 2019). Kalitenin artırılması, üst yönetim çalışanları ve tüm ekip üyelerinin katılımı da dahil olmak üzere, sürece dahil olan tüm aşamalardaki (Kauffman ve Douglas, 1993) çalışanların katılımı ile mümkündür. Çalışanların ortak bir hedef doğrultusunda bu amaca ulaşma çabaları her alanda işletmenin kalitesini artırmaktadır (Othman vd., 2020). Sanayi devrimleri ve yönetim felsefelerindeki değişimlerle birlikte kalite çeşitlenmektedir. Kalitenin gelişimi sanayi devrimlerine paralel olarak gelişmiştir.

3.1.1. Endüstri 4.0'da kalite maliyetleri

Kalitenin maliyeti, mevcut düşük kaliteden veya potansiyel düşük kaliteyi önlemek için alınan önlemlerden kaynaklanmaktadır (Juran ve Godfrey, 1999). Kalite maliyeti, bir işletmenin kalite seviyesini yansıtan kritik kriterlerden biridir (Battini vd., 2012; Castillo-Villar vd., 2012). İşletmeler kalite maliyetlerini tahmin edebilmeli ve buna göre planlayabilmelidir. Kalite sistemlerinin kazançlar üzerindeki etkisini en üst düzeye çıkarmak için tüm kalite maliyetleri minimumda tutulmalıdır. Kalite maliyetleri, bu maliyetlerin etkin bir şekilde ölçülmesiyle yönetilebilir (Moica ve Radulescu, 2014). Endüstri 4.0 teknolojileri, maliyetlerin daha etkin bir şekilde ölçülmesini kolaylaştırabilir; örneğin, tedarikçiler için maliyet hesaplanarak Blok Zinciri yöntemi ile finansal kaliteyi ölçmek mümkündür (Thakur ve Breslin, 2020).

3.1.2. Endüstri 4.0'da kalite kontrol

Kalite kontrol, sürecin kalite verimliliğini azaltabilecek durumlara karşı önlem olarak kaliteye hakim olmak olarak tanımlanabilir (Philips vd., 2020). Kalite kontrolün temel amacı, işletmelerin stratejik hedeflerini ve müşteri beklentilerini karşılayabilecek üretim planları geliştirip uygulayarak ekonomik düzeyde sürekliliği sağlamaktır (Scheimer vd., 2011; Zhang vd., 2019). Üretim işletmelerinde kalite kontrol süreçlerin vazgeçilmez bir parçasıdır. Uygun kalite kontrolü, üretim maliyetlerini azaltacak ve

müşteri memnuniyetini artıracaktır (Szajna vd., 2020). Üretim sırasında beklenmedik değişiklikler olması durumunda kalite kontrol, durumun hemen tespit edilmesini ve düzeltilmesini sağlar. Etkin kalite kontrol için ileri teknolojiler kullanılabilir ve proseslerin kalite kontrolünde birçok Endüstri 4.0 teknolojisi kullanılabilir. Örneğin, Alberts vd. (2016) tedarik zincirindeki ürünleri kontrol etmek için bulut teknolojisini kullanmıştır.

3.1.3. Endüstri 4.0'da kalite performansı

Kalite, işletmelerdeki temel stratejik araçlardan biridir (Albers vd., 2016) ve işletmeler, kalitenin sürdürülebilir başarı için ürün ve hizmet geliştirmede ana faktör olduğunun farkındadır (Boateng-Okrah ve Fening, 2012). Bu nedenle, ürün ve hizmet geliştirmede kalite performansının iyileştirilmesi esastır. Ürün performansı, ürün/hizmet kalitesi, zamanında teslimat, ürün uygunluğu, ürün standardizasyonu, toplam garanti maliyeti ve ürün tasarımının uygunluğu gibi bazı kriterler de kalite performansının ölçülmesinde dikkate alınmaktadır (Bolatan vd., 2016). Kalite performansının ölçülmesinde kullanılan bu kriterler, toplam kalite yönetimi uygulamalarında da oldukça etkilidir (Zehir vd., 2012). Performans ölçümü aynı zamanda kalitenin etkinliğinin bir ölçümüdür. Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren akıllı teknolojiler ile kalite performansı artmaktadır. Akıllı fabrikalar, akıllı ürünler ve kullanılan Endüstri 4.0 teknolojileri kalite performansını olumlu yönde etkilemektedir. Örneğin, departmanlardaki süreçlerin kalitesi nesnelerin interneti kullanılarak ölçülebilir (Büchi vd., 2020).

3.1.4. Endüstri 4.0'da kalite yönetimi

Kalite yönetimi, istenen mükemmellik seviyesini sürdürmek için yapılması gereken tüm faaliyetleri ve görevleri kontrol etme eylemidir (Bashan ve Kordova, 2021). İşletmelerde stratejiler uygulandığında, özellikle beklenmedik durumlarla karşılaşıldığında kalite yönetiminin etkisi daha da kritik hale gelmektedir (McAdam vd., 2019). Kalite yönetimi, işletmelerde kullanılan tüm süreçlerin ve verilerin kontrolünü kolaylaştırmaktadır (Somasunduran vd., 2020; Badach vd., 2020). Kaliteyi daha iyi yönetebilmek için Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, nesnelerin interneti teknolojisi (Müller vd., 2020) üretimde kapasite planlamak için kullanılmıştır ve büyük veri (Badri vd., 2018) sağlık çalışanlarının sağlık kayıtlarını yönetmek için kullanılmıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu teknolojilerin işletmelere entegre edilmesi ve belirli bir kalite düzeyine ulaşılması giderek önem kazanmaktadır (Feigenbahum, 1991). Kalitenin gelişimi sanayi devrimlerine paralel olarak gerçekleşmiştir. Endüstri 4.0'da işletmelerin kalitesini değerlendirmek için belirlenen kalite kriterlerinde kalitenin gelişimi dikkate alınmıştır. Kalite kriterleri olarak; izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik kriterleri belirlenmiştir.

3.1.5. Kalite kriterleri

Bu çalışmada, karşılanan kalite düzeyini değerlendirmek için izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik kriterleri olarak ele alınmıştır. Endüstri 4.0'da her işletme fonksiyonu için kalite, her bir kritere göre değerlendirilmiştir. Örneğin üretim faaliyetlerinde Endüstri 4.0 uygulanırken kalitenin izlenebilirliği, kalitenin kontrol edilebilirliği ve üretimin sürdürülebilirliği ile ilgili bir değerlendirme yapılmıştır. Endüstri 4.0'da kalitenin izlenebilirliğini, kontrol edilebilirliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamak için Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılmaktadır. Bir işletmedeki faaliyetlerin kalitesinden söz ediliyorsa, kalite izlenebilir, kontrol edilebilir ve sürdürülebilir olmalıdır. Şekil 3.1, kalite kriterlerini göstermektedir.



Şekil 3.1. Kalite kriterleri

3.1.5.1. Kalitenin izlenebilirliği

Kalite iyileştirme sürecinin izlenebilirliği ile işletmeler herhangi bir koordinasyon sorununu algılayabilecektir (Ramesh, 2002). Bu kriterler, süreçten beklenen kaliteyi göz önünde bulundurarak, sürecin doğru yöntemle/doğru zamanda/doğru maliyetle yürütülüp yürütülmediğini izlemektedir. İzleme konusunda Endüstri 4.0 teknolojilerinden yardım alınmakta ve bu takip ile doğru zamanda müdahale edilebilmektedir. Her bir iş fonksiyonu için, Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılarak süreçlerin kalitesi izlenebilmektedir. Kalitenin izlenebilirliğini sağlamak için Blok

Zinciri teknolojisi kullanılabilir. BZ teknolojisi ile yetkililer ve belirlenen paydaşlar arasındaki erişilebilirlik de belirlenmektedir ve bilgi protokolleri ile gizlilik sağlanmaktadır. BZ teknolojisi tüm verileri kaydettiği için hem işletmeler hem de paydaşlar ürünlerin izlenebilirliğini sağlamaktadır (Agrawal vd., 2021).

3.1.5.2. Kalitenin kontrol edilebilirliği

Endüstri 4.0'da kalite izlenebilirlik kriterleri ile süreçlerin takibi daha erişilebilir hale gelmiştir. Ancak bu süreçlerin denetlenmesi, kontrol edilmesi ve gerekirse düzeltmelerin yapılması elzem hale gelmiştir (Lee vd., 2011). Süreç gizli kalmalı ve bu bilgilere sadece ilgili kişiler erişebilmelidir. Kontroller sonucunda elde edilen bu bilgiler doğrultusunda alınacak kararlar sadece belirli kişiler tarafından verilmelidir (Barnett, 1975). Sadece süreçleri takip etmek yeterli değildir. Kontrol edilebilirlik ile izlenen süreçlerin verimliliği kontrol edilir ve müdahale imkanı sağlanır. Ayrıca sürecin istenilen çizgide devam edip etmeyeceği, istenilen kalitede ilerleyip ilerlemediği kontrol edilmelidir. Kalite kontrol için Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılabilir ve izlenebilirlikte olduğu gibi kontrol edilebilirlikte de bir bilgi protokolü oluşturulması esastır.

3.1.5.3. Kalitenin sürdürülebilirliği

Kalite iyileştirme sürecinin devamlılığının sağlanması gerekmektedir. Kalite iyileştirme süreçleri belirli bir düzeyde olmalı ve beklentileri karşılamalıdır. Bir işletmede varlıkların devamlılığı sağlanarak istenilen kaliteye ulaşılabacaktır (Dautidis vd., 2016). İş fonksiyonlarında süreçlerin kalitesinin sürdürülebilirliği esastır. Ekonomik büyüme planlaması doğru yapılmalıdır (Iwaniec vd., 2020). Sürdürülebilirliği sağlarken ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği, bir çevre yönetim sisteminin etkin kullanımını ve yenilikleri sağlamak gerekmektedir (Carpenter vd., 2015; Iwaniec ve Wiek, 2014). Sivas vd. (2016), sürdürülebilir ürün geliştirme ve kalite yönetimi yaklaşımlarının birlikte kullanıldığı çalışmaları incelemiştir.

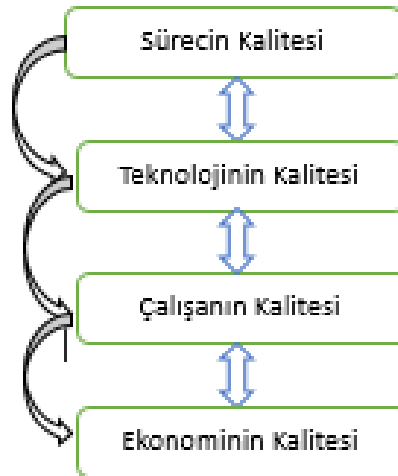
Kalite yönetiminin sürdürülebilir ürün geliştirmeyi desteklediğini gösteren dört alan belirlemişlerdir. Bunlar; yönetim sistemlerinin entegrasyonu ile sürdürülebilirliğin desteklenmesi, kalite ve çevre yönetim sistemlerinin uygulanmasının desteklenmesi, sürdürülebilirlik ve paydaş yönetimi ile müşteri odaklılıktır. Bastaş ve Liyanage (2018) ürün kalitesinin sürdürülebilirliği için kritik temaları tanımlamıştır. Bunlar; liderlik, müşteri odaklılık, tedarik zinciri entegrasyonu, ilişki yönetimi ve kanıta dayalı

karar vermedir. Bu çalışmada iş süreçleri yürütülürken ekonomiye uyum, çevreye uyum, teknolojiye uyum/yönelim, müşteri beklentilerine uyum/yönlendirme ve çevresel/sosyal güvenliği sağlamak için bilgi kaybetmeme konularına odaklanılmıştır. Bu hedeflere ulaşılırken Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılmıştır.

Kalitenin sürdürülebilirliğini sağlamak için teknolojinin ve çalışanların katkıları büyük olacaktır.

3.1.6. Kalite bileşenleri

Geliştirilen Kalite 4.0 modeli ile işletmelerdeki altı temel iş fonksiyonunda (İmalat, Tedarik, Planlama, Satış&Pazarlama, AR-GE, İnsan Kaynakları Yönetimi) kullanılabilecek bir model önerilmektedir. Model, işletmedeki bu fonksiyonlara ait tüm sistemlerde uygulanabilir. Her bir fonksiyondaki kalitenin değerlendirilmesi ve ölçülmesi açısından dört bileşen (süreç, teknoloji, çalışan ve ekonomi) belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Kalite bileşenleri

Kalite bileşenleri Şekil 3.2’de sırasıyla açıklanmıştır.

3.1.6.1. Sürecin kalitesi

Bir kalite süreci, kontrollü, tekrarlanabilir, güvenilir ve kararlı ise ölçülebilir olmalıdır (Vörös ve Rappai, 2016). Süreçlerin kalitesinin artırılması birimlerin genel kalitesini olumlu yönde etkileyecektir. Ancak bir sürecin kalitesinin artması veya azalması hakkında yorum yapabilmek için kalitenin ölçülebilir olması gerekmektedir. Literatürde sürecin ölçümü (Benesova vd., 2019), yapılanması (Kabugo vd. 2020),

tasarımı (Enyoghasi ve Badurdeen, 2021), kalite evrimi (Landherr vd., 2016; Yu ve Schweisfurth, 2020) ve hizmet kalitesini (Neumann vd., 2021) içeren çalışmalar bulunmaktadır. Ancak literatürde Endüstri 4.0 teknolojileri ile sürecin kalitesini ölçen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle sınıflandırma çalışmasının dördüncü aşamasında Endüstri 4.0 teknolojileri ve bu kaliteli anahtar kelimelerin birlikte çalışıldığı yayınlar incelenmiştir.

3.1.6.2. Teknolojinin kalitesi

Her sanayi devrimi ile birlikte teknoloji gelişimi hızlanmıştır. Yüksek teknoloji kullanımı ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. İleri teknoloji ile ürün kalitesi, taleplere daha iyi ve daha hızlı cevap verebilmekte, bu sayede kalite yükselmektedir. Literatürde işletmelerde üretim ve yönetim faaliyetlerinde kullanılan teknolojilerle Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonunu (örneğin ar-ge’de ürün geliştirmede kullanılan nesnelerin interneti teknolojisi (Grassi vd., 2020) ve büyük verinin işlenmesinde kullanılması) içeren birçok çalışma bulunmaktadır. Tedarikçilerin satın alma bilgileriyle (Lodgaard ve Dransfeld, 2020), insan kaynakları departmanları için personel bilgi kayıtlarını tutmak için bulut bilişim teknolojisi (Kadir ve Broberg, 2020) ve üretimde üretim bilgilerine uzaktan erişim için bulut bilişim teknolojisi kullanılmıştır (Gallo ve Santolamazza, 2021). Ancak Endüstri 4.0 teknolojileri ile kullanılan teknolojinin izlenebilirliğini, kontrol edilebilirliğini ve sürdürülebilirliğini ölçen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle sınıflandırma çalışmasının dördüncü aşamasında Endüstri 4.0 teknolojileri ve bu kaliteli anahtar kelimelerin birlikte çalışıldığı yayınlar incelenmiştir.

3.1.6.3. Çalışan kalitesi

Verimli kullanılacak teknolojilerin geliştirilmesi için bu teknolojilere uyum sağlayabilecek bireylerin istihdam edilmesi gerekmektedir. Teknoloji ve makineler pek çok sektörde yaygın olarak kullanılsa da her zaman nitelikli personele ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde kurumsal süreçlerde görev alan personelin özelliklerinin Endüstri 4.0 teknolojileri ile bütünleştirilmesini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, AR-GE’de çalışan personele ilişkin bilgilerin tutulması için bulut bilişim teknolojisi, satın almada ürün kayıtları için büyük veri, insan kaynaklarında personel bilgilerine erişim için bulut bilişim kullanılabilir (Baran ve Korkusuz Polat, 2022). Endüstri 4.0 teknoloji süreçlerinin kalitesi, istihdam edilen

personelin izlenebilirliği, kontrol edilebilirliği ve sürdürülebilirliği ölçülerek geliştirilebilir. Bu nedenle sınıflandırma çalışmasının dördüncü aşamasında Endüstri 4.0 teknolojileri ve bu kaliteli anahtar kelimelerin birlikte çalışıldığı yayınlar incelenmiştir.

3.1.6.4. Ekonominin kalitesi

Bir firmanın ne kadar güçlü olabileceğini çeşitli maliyet analizleri kullanarak ölçmek mümkündür. Tüm kurumsal süreçlerde kullanılan teknoloji ve işgücünün artırılması, ürün veya hizmet üretilirken uygun kalitenin elde edilmesi için hayati önem taşımaktadır. Ancak bu artışın işletme için ekonomik bir maliyeti vardır. Bu nedenle süreçlerin kalitesi artarken “ekonomi” bir kısıt olarak görülmektedir. Bir ekonominin kalitesi, ekonominin izlenebilirliği, kontrol edilebilirliği ve sürdürülebilirliği için Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılarak ölçülebilir.

Endüstri 4.0'da süreç, ekonomi, teknoloji ve insan gibi kriterler iş faaliyetlerinde kaliteyi ölçmek için kullanılabilir. Bu nedenle sınıflandırma çalışmasının dördüncü aşamasında Endüstri 4.0 teknolojileri ve bu kaliteli anahtar kelimelerin birlikte çalışıldığı yayınlar incelenmiştir.

3.2. Kalite 4.0

Kalite 4.0, yeni optimum düzeye ulaşabilmek için organizasyonel verimliliğe ve yaratıcılığı içermektedir. Ayrıca geleneksel kalite yaklaşımları ile gelişen teknolojiyi bütünleştirmektedir (Bryndin, 2018). Yapay zeka, mobil cihazlar ve işlemler, yeni ortaya çıkan işbirliği yollarını sağlamaktadır. Akıllı sensör ağları, büyük veri, bulut bilişim ve artırılmış gerçeklik (AG) ve sanal gerçeklik (SG) gibi uygulamalar kalite için yeni gelişmeler arasında gösterilmektedir. Kalite 4.0, kalite, liderlik ve kalite süreç kültüründe gerçek değişim sağlayan teknolojiler tarafından yönlendirilmektedir. Kalite 4.0, üretim yeteneklerini geliştirmek için çeşitli yenilikleri kapsamaktadır (Quan ve Park, 2017). Sosyal ağ platformları, kuruluşlar aracılığıyla ve kuruluşlar arasında ders ve bakış açısı alışverişinde bulunmak için kullanılabilir. Yapay zeka ve makine öğrenimi uygulamaları yeni yetenekler oluşturmak için kullanılabilirken, insanlarla çalışma yeteneğini geliştirmek için kullanılan sistemler AG ve SG'dir. Akıllı teknolojiler ve giyilebilir cihazlar, çalışanların değerlendirilmesine yardımcı olurken,

öğrenme yönetimi, AG ve SG sistemleri eğitim sunumunu iyileştirebilir (Gadre ve Deoskar, 2020).

3.3. Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo Yöntemi

Aşağıda Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yönteminin adımları sunulmuştur ((Zolfani ve Bahrami, 2014; Mardani vd., 2017).

- Pisagor Bulanık SWARA Yönetiminin Uygulanması:

1.Adım: Çok kriterli karar verme probleminin oluşturulması

$A=\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ alternatiflerin kümesini, $K= \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ kriterlerin kümesini ve $P=(\eta_{ij}^{(k)})$ ve her i, j karar uzmanlarını belirtmektedir. Karar uzmanları kümesini $DESE = \{E_1, E_2, \dots, E_l\}$ göstermektedir.

2.Adım: Karar uzmanlarının ağırlıklarının hesaplanması

Çok kriterli karar vermede, karar uzmanları tarafından tahsis edilen ağırlıkların değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. k . karar uzmanının ağırlığını değerlendirmek amacıyla, (b_k, n_k) bir karar uzmanı tarafından verilen uzmanların derecelendirmesini göstermektedir. Bu durumda ağırlık değeri denklem 3.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\omega_k = \frac{(b_k^2 + \pi_k^2 \times (\frac{b_k^2}{b_k^2 + n_k^2}))}{\sum_{k=1}^l (b_k^2 + \pi_k^2 \times (\frac{b_k^2}{b_k^2 + n_k^2}))}, \quad k=1(1)l, \omega_k \geq 0, \sum_{k=1}^l \omega_k = 1 \quad (3.1)$$

3.Adım: Toplu pisagor bulanık karar matrisinin oluşturulması

Toplu pisagor bulanık karar matrisinin oluşumu için dilsel değerlerden yararlanılır.

$$A=(\xi_{ij})_{m \times n} \quad (3.2)$$

$$\xi_{ij} = (\sqrt{1 - \prod_{k=1}^l (1 - b_k^2)^{\omega_k}}, \prod_{k=1}^l (n_k)^{\omega_k}) \quad (3.3)$$

4.Adım: Ağırlıkların hesaplanması için SWARA modeli

4.Adım-1: Kesin dereceler tahmin edilir. Pisagor bulanık sayıların puan dereceleri denklem 3.2 ile hesaplanır.

4.Adım-2: Kriterlerin tercih edilmesi yapılır. Kriterler, karar uzmanlarının tercihlerine göre en önemli olandan en az önemli olana doğru önceliklendirilir.

4.Adım-3: Ortalama değerin göreceli önemi değerlendirilir. Önem derecesi, ikinci konumda sıralanan kriterden tahmin edilir ve göreceli önem, B_j kriteri ile B_{j-1} kriteri karşılaştırarak hesaplanır.

4.Adım-4: Göreceli katsayı K_j şu şekilde hesaplanabilir:

$$K_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

4.Adım-5: Ağırlıkların hesaplanması yapılır. Yeniden hesaplanan ağırlık ρ_j olarak tanımlanır.

$$\rho_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{\rho_{j-1}}{K_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

4.Adım-6: Normalleştirilmiş ağırlıklar hesaplanır. Kriter ağırlıkları denklem 3.6 ile normalleştirilir:

$$w_j = \frac{\rho_j}{\sum_{j=1}^q \rho_j} \quad (3.6)$$

5.Adım: Normalleştirilmiş pisagor bulanık karar vermenin değerlendirilmesi yapılır.

$$\xi_{ij} = \begin{cases} \xi_{ij} = (b_{ij}, n_{ij}), & \text{fayda kriteri için} \\ ((\xi_{ij})^c = (n_{ij}, b_{ij}), & \text{maliyet kriteri için} \end{cases} \quad (3.7)$$

- CoCoSo Yönteminin Uygulanması:

6.Adım: Ağırlıklı toplam modeli, ağırlıklı ürün modelinin değerlendirilmesi

Ağırlıklı toplam modeli $C_i^{(1)}$ ve ağırlıklı ürün modeli $C_i^{(2)}$ ile denklem 3.8 ve denklem 3.9'deki gibi hesaplanır:

$$C_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij} \quad (3.8)$$

$$C_i^{(2)} = \sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij} \quad (3.9)$$

7.Adım: Alternatiflerin puanlarının dengelenmesinin yapılması.

Bu adım, aşağıdaki gibi türetilen, alternatiflerin dengeli uzlaşma puanını değerlendirmek amacıyla verilen değerlendirme puanlarını içermektedir:

$$Q_i^{(1)} = \frac{S^*(C_i^{(1)}) + S^*(C_i^{(2)})}{\sum_{i=1}^m (S^*(C_i^{(1)}) + S^*(C_i^{(2)}))} \quad (3.10)$$

$$Q_i^{(2)} = \frac{S^*(C_i^{(1)})}{\min S^*(C_i^{(1)})} \frac{+ S^*(C_i^{(2)})}{\min S^*(C_i^{(2)})} \quad (3.11)$$

$$Q_i^{(3)} = \frac{\gamma S^*(C_i^{(1)}) + (1-\gamma) S^*(C_i^{(2)})}{\gamma \max S^*(C_i^{(1)}) + (1-\gamma) S^*(C_i^{(2)})} \quad (3.12)$$

Burada γ karar stratejisi katsayısıdır.

8.Adım: Genel durumun değeriendirilmesi yapılır.

Uzlaşma indeksi Q_i , alternatifin önemini şu şekilde göstermek için değeriendirilir:

$$Q_i = (Q_i^{(1)} + Q_i^{(2)} + Q_i^{(3)})^{1/3} + \frac{1}{3} (Q_i^{(1)} + Q_i^{(2)} + Q_i^{(3)}) \quad (3.13)$$

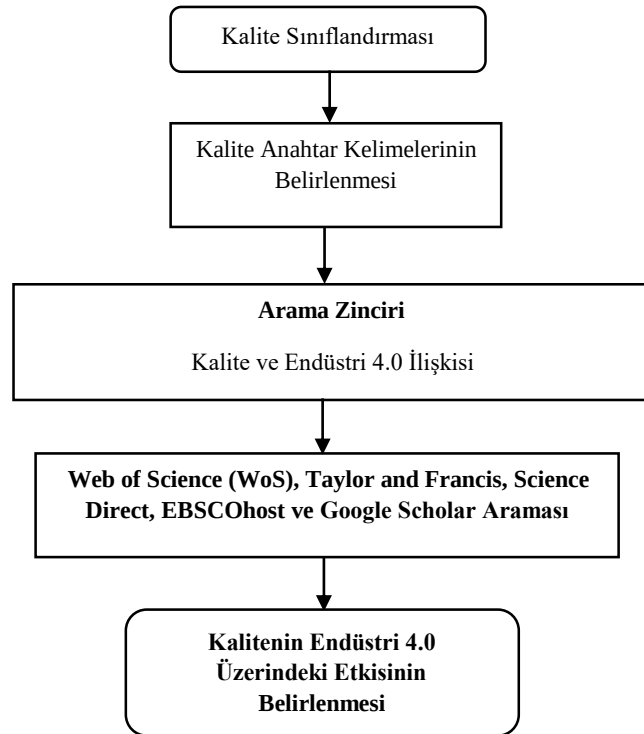
Genel uzlaşma indeksi Q 'nın dereceleri artırılarak alternatiflerin öncelikleri hesaplanır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Sınıflandırma Çalışması

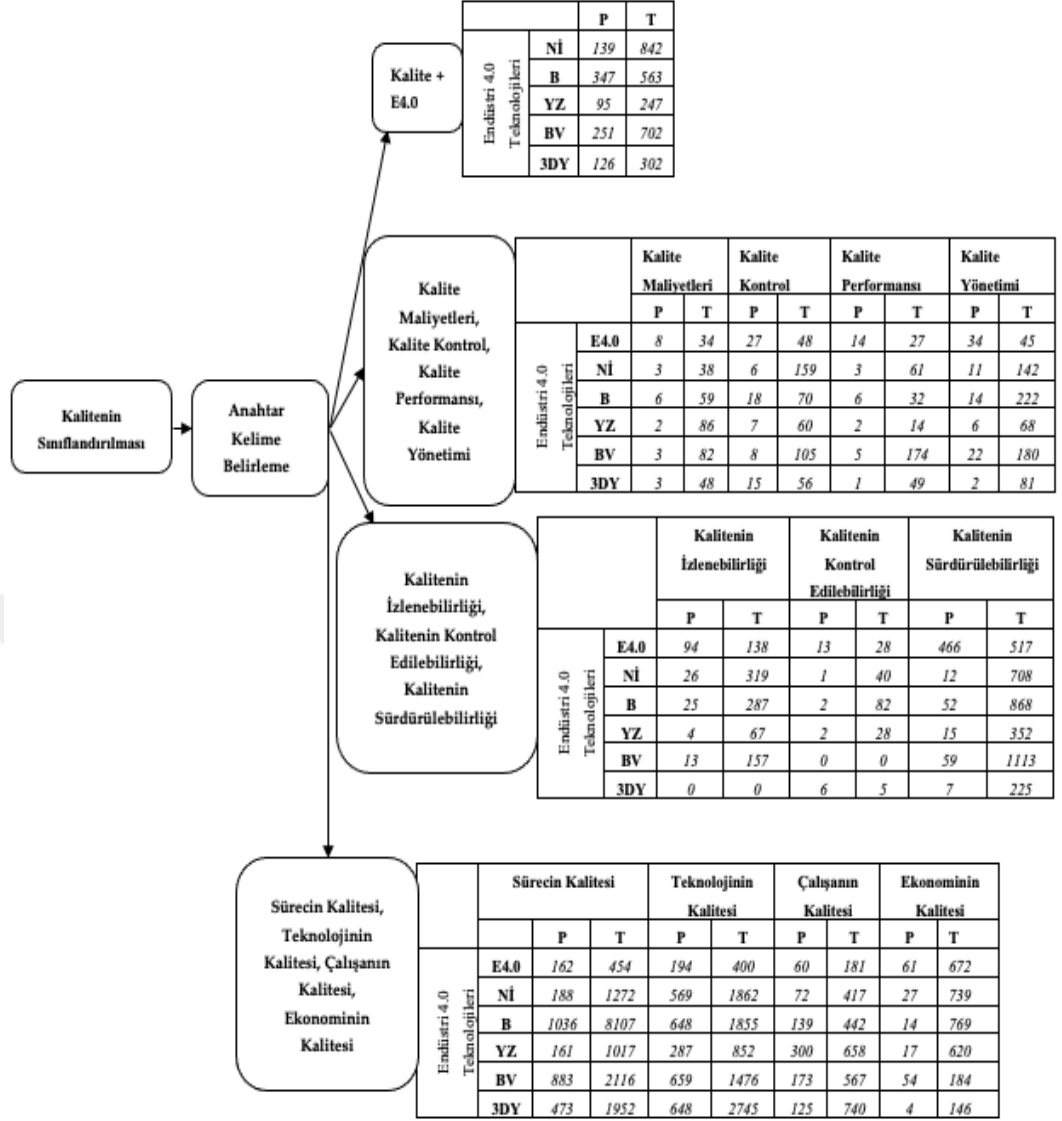
Çalışmanın sınıflandırma kısmında Endüstri 4.0 ile yapılan çalışmalar ve kalite çalışmaları dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Sınıflandırmanın ilk aşamasında, kalite çalışmalarında kullanılan Endüstri 4.0 teknolojileri (nesnelerin interneti, bulut bilişim, yapay zeka, büyük veri ve 3D yazıcı) incelenmiştir. Endüstri 4.0 ve kalite araştırmaları sınıflandırmasının ikinci aşamasında kalite kavramı dört ana başlık (kalite maliyetleri, kalite kontrol, kalite performansı ve kalite yönetimi) altında detaylandırılmıştır. Sınıflandırmanın üçüncü aşamasında Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı çalışmalar ve kalite anahtar kelimeleri (izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik) incelenmiştir. Son olarak dördüncü aşamada ise Endüstri 4.0 teknolojileri ile birlikte süreç, ekonomi, teknoloji ve çalışan kriterlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Sınıflandırmanın akış şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sınıflandırmanın akış şeması

Sınıflandırma çalışması yapılırken, WoS, Taylor ve Francis, Science Direct, EBSCOhost ve Google Scholar veri tabanlarında mühendislik, yönetim ve üretim alanlarında son beş yılda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu tez çalışmasında öncelikle Endüstri 4.0 teknolojilerinin tanımları, uygulama alanları, avantajları ve zorlukları hakkında literatür taraması yapılmıştır. Çalışmada ayrıca SciMAT ve VOSviewer programları yardımıyla kalite ve Endüstri 4.0 teknolojileri (nesnelerin interneti, bulut, yapay zeka, büyük veri, 3D yazıcı, siber-fiziksel sistemler, artırılmış gerçeklik) incelenmiştir ve sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Çalışmada yapılan sınıflandırma dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kalite ve Endüstri 4.0 teknolojileri ile ilgili 958 makale incelenmiştir. İkinci aşamada kalite dört ana başlığa (kalite maliyetleri, kalite kontrol, kalite performansı, kalite yönetimi) ayrılmış ve her konunun Endüstri 4.0 teknolojileri ile ilişkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Sınıflandırma yapısı Tablo 1'de gösterilmiştir. İkinci aşamada toplam 226 makale incelenmiştir. Üçüncü aşamada, kalite değerlendirmesinde izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik kriterlerinin her birinin Endüstri 4.0 teknolojileri ile birlikte kullanıldığı 797 makale incelenmiştir. Son olarak sınıflandırmanın son aşamasında ise Endüstri 4.0'da süreç, teknoloji, insan, ekonomi ve Endüstri 4.0 teknolojileri arasındaki ilişkinin kaliteyi nasıl belirlediği incelenmiştir. Bu aşamada 6954 makale taranmıştır. Sınıflandırma detayları Şekil 4.2'de gösterilmiştir (P araştırma ile ilgili yayın sayısını, T ise ilgili anahtar kelimenin yayınlarda tekrarlanma sayısını temsil etmektedir).



Şekil 4.2. Sınıflandırma analizi

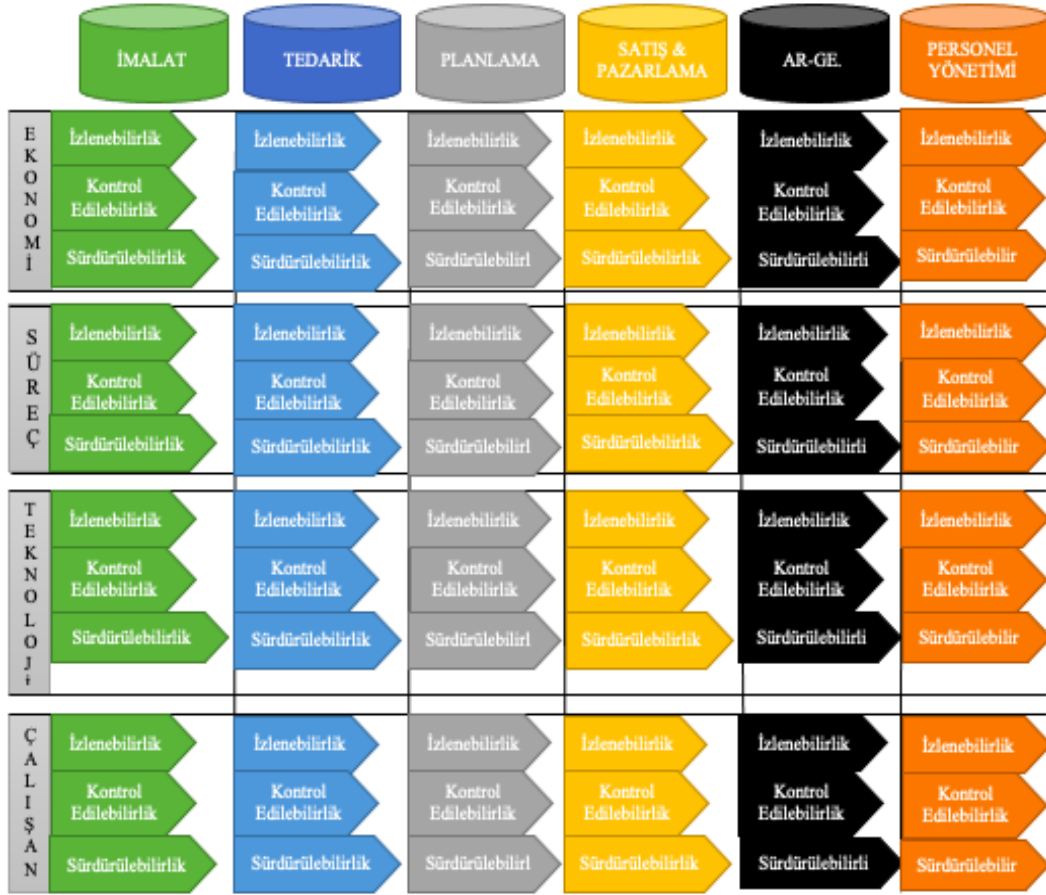
Sınıflandırmada nesnelerin interneti (Nİ), bulut bilişim teknolojisi (B), yapay zeka (YZ), büyük veri (BV) ve 3D yazıcı (3DY) tercih edilen Endüstri 4.0 teknolojileri bulunmaktadır. Kalite sınıflandırması, kalite maliyeti, kalite kontrol, performans ve yönetimi araştırılmıştır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, sınıflandırmanın ilk aşaması olan kalite ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin ortak yayınlarına yönelik sınıflandırmada en çok tekrarlanan konu, 139 yayında 842 tekrar ile nesnelerin interneti teknolojisi ve kalite ortak çalışmaları olmuştur. Öte yandan, bulut bilişim teknolojisi ve kalitesinin 347 yayın ile en çok çalışılan konular olduğu görülmektedir. Bu nedenle, sınıflandırmanın ikinci aşaması, Endüstri 4.0 ile kalite maliyet, kalite kontrol, kalite performans ve kalite yönetiminin birlikte kullanıldığı yayınları içermektedir.

Bu tez çalışmasında yapılan literatür araştırması ve bu bölümde anlatılan sınıflandırma çalışması neticesinde, kalitenin tam olarak kapsamlı şekilde Endüstri 4.0 teknolojileriyle birlikte ele alınmadığını görülmüştür. Endüstri 4.0 teknolojilerinin hangi süreçlere nasıl entegre edileceği literatürdeki çalışmalarda yer almamaktadır. Bunlara istinaden bu tez çalışmasında bir Kalite 4.0 modeli geliştirilmiştir.



5. KALİTE 4.0 MODELİ

Gelişen teknoloji ile birlikte bu teknolojileri işletmelere entegre etmek ve belirli bir kaliteye ulaşmak giderek daha önemli hale gelmektedir. Bir süreç ya da durumun ne ölçüde kaliteli olduğunu söyleyebilmek için, kalitesinin ölçülebilir olması gerekmektedir. Kaliteyi ölçebilmek için bazı kriterler kullanılabilir. Kalite kriterleri, sürecin kalitesini belirlemek ve sürecin ilgili standartları ne kadar karşıladığını ölçmek için kullanılan kriterlerdir. Bu çalışmada önerilen Kalite 4.0 modeli ile işletme süreçlerinde kalitenin ne düzeyde karşılandığını değerlendirmek için izlenebilirlik-kontrol edilebilirlik-sürdürülebilirlik kriterleri kullanılarak işletmenin kalitesi hem süreçler hem süreçlerde kullanılan teknoloji hem de süreçleri çalıştıran personel açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeyi yaparken maliyet önemli bir etken olduğundan Kalite 4.0'a geçiş için yapılacak tüm iyileştirme çalışmalarının ekonomik açıdan değip değmediği de dikkate alınmıştır. Şekil 5.1.'de Kalite 4.0 modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kalite 4.0 modeli

Geliştirilen Kalite 4.0 modelinde işletme için değerlendirilmesi gereken dört bileşen vardır: süreç, teknoloji, çalışan ve ekonomi. İşletmedeki süreçlerin, kullanılan teknolojinin ve işgücünün kalitesinin ne derece olduğunun belirlenmesi için de kalite kriterleri belirlenmiştir (izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik). Yani her bir bileşen üç kriter açısından değerlendirilmiştir. İşletmedeki süreçlerin-teknolojinin-işgücünün kalitesinin izlenebilirliği, kontrol edilebilirliği ve sürdürülebilirliği sağlanırken aynı zamanda da kalite için yapılan uygulamaların ve iyileştirmelerin ekonomik açıdan uygun olup olmadığı da takip edilmelidir.

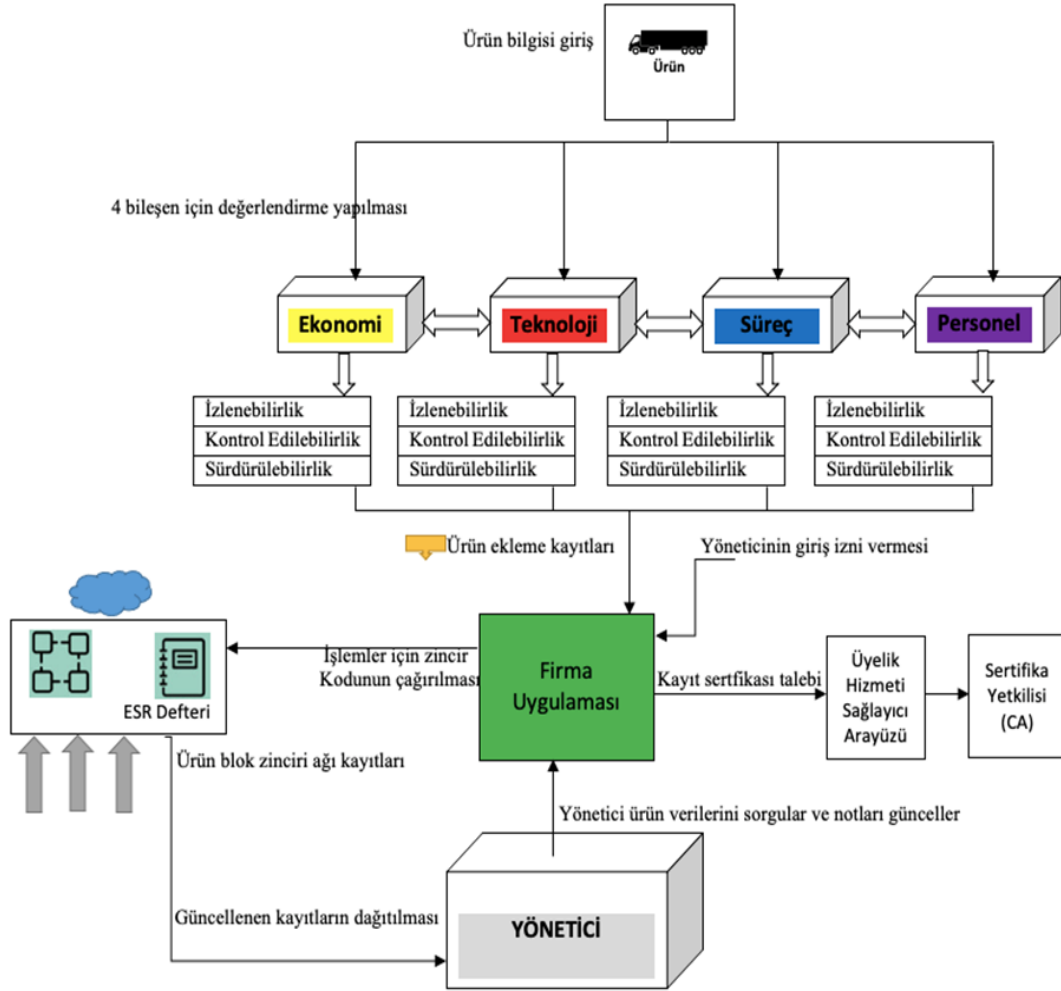
Kalite 4.0 modeli işletmedeki tüm iş fonksiyonlarına (İmalat, Tedarik, Planlama, Satış&Pazarlama, ar-ge, İnsan Kaynakları Yönetimi) uygulanabilir. Önerilen Kalite 4.0 modelinde işletmelerde kalitenin ne düzeyde karşılandığını değerlendirmek için izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik kriterleri kullanılmıştır. Geliştirilen Kalite 4.0 modeli ile işletmelerdeki altı temel iş fonksiyonunda (İmalat, Tedarik, Planlama, Satış&Pazarlama, AR-GE, İnsan Kaynakları Yönetimi) kullanılabilecek bir model önerilmektedir. Model işletmedeki bu fonksiyonlara ait tüm

sistemlerde uygulanabilir. Her bir fonksiyondaki kalitenin değerlendirilmesi ve ölçülmesi açısından dört bileşen (süreç, teknoloji, çalışan ve ekonomi) belirlenmiştir. Kaliteyi ölçebilmek için izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik olmak üzere üç kalite kriteri belirlenmiştir. Bu kriterler için de Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanılması önerilmektedir.

5.1.1. Blok zinciri tabanlı kalite 4.0 mimarisi

Bu çalışmada Kalite 4.0 modeli, işletmenin depo yönetim sistemi için uygulanırken öncelikle depo yönetim sisteminin alt süreçleri belirlenmiştir. Depo yönetim sisteminde ürün tedarikçisi, işçi, depo sorumlusu ve satın alma müdürü olmak üzere dört katılımcı bulunmaktadır. Sonrasında belirlenen süreçler için BZ tabanlı bir Kalite 4.0 mimarisi oluşturulmuştur. Ve BZ desteği ile katılımcılara gerekli yetkilendirme yapılmıştır.

Tez çalışmasında, Endüstri 4.0 teknolojilerinden BZ kullanılarak Kalite 4.0 modeli için bir mimari geliştirilmiştir. Şekil 5.2.'de 'Blok Zinciri Tabanlı Kalite 4.0' mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Blok zinciri tabanlı Kalite 4.0 mimarisi

Bu sistemde, şekildeki mimari yapıya ek olarak; Create Product Record, GrantAccessToProvider, Grant Access To Warehouse, Revoke Access, Revoke Access To Warehouse komutları da dahil edilecektir. Bu komutlar ile BZ algoritmasındaki işlemler gruplanacaktır. Ancak bunlarla sınırlı olmadan da çeşitli varlıklar ve akıllı sözleşmeler de ayrıca tanımlanacaktır. Şekil 5.2’de gösterilen mimariye göre öncelikle sistem katılımcıları Üyelik Hizmet Sağlayıcısı (Membership Service Provider– MSP) aracılığı ile sertifika yetkilisinden bir kayıt sertifikası talep eder. Talepleri karşılandığında istemci uygulaması aracılığı ile sisteme kayıt olurlar. Ardından sertifika yetkilisi, katılımcıya sertifikasını ve özel anahtarı olan yeni bir kimlik verir. Tüm işlemler Ürün Blok Zinciri Ağı Kayıtları üzerinden dağıtılmaktadır. Ve ESR (Electronic Supply Records) defterine kaydedilir. Katılımcılar sistemde farklı rollere sahiptirler ve BZ yapısı gereği yalnızca erişim hakkına sahip oldukları kayıtlara erişebilirler. Ürünleri sisteme kayıt etmek için depo sorumlusu ilgili zincir kodunu çağırarak istemci uygulamasını kullanır ve ürünleri kayıt eder. Kayıt işlemi BZ ağına

aktarıldıktan sonra güncellenen işlemler ağ üzerinden tüm katılımcılara dağıtılır. BZ ağındaki kayıtlar sürekli güncellenir ve yapılan güncellemeler tüm kullanıcılar tarafından görülebilir. Dolayısıyla bu dağıtım işlemi ile yapılan her işlemin yetkisiz kullanıcılar tarafından değiştirilemeyeceğinin ve/veya silinemeyeceğinin garantisi de sağlanmış olur. Her yeni işlem sadece bir zaman damgası ile önceki bloğa eklenir. Bu nedenle ağ tamamen güvenlidir. Yetkisi fazla olan sağlayıcılar, ağ üzerinden gerekli verilerle ilgili sorgulama yapabilirler. Eğer yetkisi fazla olan sağlayıcılar (yapılan uygulama için satın alma müdürü ve depo sorumlusu), yetkisi daha az olan sağlayıcılara (yapılan uygulama için işçiler ve tedarikçiler) kayıtları ESR defterinde görüntüleme ve güncelleme izni verilerse, bu sağlayıcılar da ürünlerin kayıtlarını görüntüleme ve güncelleme yetkisine sahip olacaklardır.

BZ mimari yapısının çalışabilmesi için her bir katılımcı için BZ algoritması oluşturulmalıdır. Yetkisi yüksek olan bir yönetici için geliştirilen BZ algoritması Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Yöneticinin kayıt sertifikası, sertifika yetkilisinden istenir. Yönetici, yazma, okuma, güncelleme ve katılımcıların çıkarılması dahil olmak üzere sisteme tam erişime sahiptir. Yöneticiler diğer katılımcılara BZ ağına erişim için bir kimlik verebilmektedirler. Katılımcılardan birinin uygunsuz bir kullanım yaptığı tespit edilirse, yönetici bu katılımcıyı BZ ağı üzerinden bir açıklama yapmak sureti ile kaldırabilir. Şekil 5.4'te tedarikçiden gelen ürünlerin döngüsü için oluşturulan BZ algoritması, Şekil 5.5'te daha az yetkisi olan bir katılımcının (bu uygulama için işçi) BZ algoritması, Şekil 5.6'da ilgili iş fonksiyonları (bu uygulama için depo çalışmaları) için hazırlanan BZ algoritması gösterilmektedir. (Algoritmalar depo yönetim sistemi uygulaması için geliştirildiğinden PHL: ürün kayıt defteri, WHL: işçi kayıt defteri, SHL: depo sorumlusu kayıt defteri, NAdmin: ağ yöneticisi, BN: blok zinciri ağı, WID: işçi kimliği, PID: ürün kimliği, SID: depo sorumlusu kimliği, PK: özel anahtar, UName: kullanıcı adı, PREC_I: ürün kayıtları ve MPID: ürün hareket kayıtları'dır.)

Algoritma-1: Yönetici Çalışmasındaki Algoritma

Input: Enrollment Certificate (Ec) requested from Certification Authority (CA)

Output: Access to P_{HL} , W_{HL} and S_{HL} transactions for all (P_{HL} , W_{HL} , S_{HL}) E_{BN}

Initialization: N_{Admin} should be valid node. N_{Admin} can Write/Read/Update/Remove nodes W_{ID} , P_{ID} , S_{ID}

```

1: procedure ADMIN( $P_{ID}$ ,  $W_{ID}$ ,  $S_{ID}$ )
2:   while (True) do
3:     if ( $W_{ID}$  is valid) then
4:       Add_Worker to the blockchain Network
5:       Add_Worker( $B_N$ ,  $W_{ID}$ )
6:       Grant_access( $W_{ID}$ ,  $U_{Name}$ ,  $P_K$ )
7:     else
8:       Not_exist( $W_{ID}$ )
9:     end if
10:    if ( $P_{ID}$  is valid) then
11:      Add Product to the blockchain Newtork
12:      Add_Worker( $B_N$ ,  $P_{ID}$ )
13:      grant_access( $P_{ID}$ ,  $U_{Name}$ ,  $P_K$ )
14:    else
15:      Not_exist( $P_{ID}$ )
16:    end if
17:    if ( $S_{ID}$  is valid) then
18:      Add Storage to the blockchain Newtork
19:      Add_Storage( $B_N$ ,  $S_{ID}$ )
20:      grant_access( $S_{ID}$ ,  $U_{Name}$ ,  $P_K$ )
21:    else
22:      Not_exist( $S_{ID}$ )
23:    end if
24:  end while
25:  int N; (0 means bad behaviour, 1 means good behaviour)
26:  for all (,,) do
27:    if (behaviour_node(N)) then
28:      Not update( $W_{ID}$ ,  $P_{ID}$ ,  $S_{ID}$ )
29:    else
30:      Remove_update( $W_{ID}$ ,  $P_{ID}$ ,  $S_{ID}$ )
31:    end if
32:  end for
33: end procedure

```

Şekil 5.3. Yönetici için geliştirilen BZ algoritması

Algoritma-2: Ürün Çalışmasındaki Algoritma**Input:** ID and key requested from N_{Admin} **Output:** Get access to P_{HL} transactions**Initialization:** P_{HL} should be valid node. P_{HL} can Read/Write/Grant/Revoke ESR records.

```
1: procedure PRODUCT( $P_{ID}$ )
2:   while (True) do
3:     if ( $P_{ID} \in B_N$ ) then
4:       if ( $P_{REC\_I}$  not  $B_N$ ) then
5:         Create_records( $P_{ID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $B_N$ )
6:       else
7:         Update_records( $P_{ID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $B_N$ )
8:         Read_records( $P_{ID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $W_{ID}$ ,  $S_{ID}$ ,  $B_N$ )
9:       end if
10:    else
11:      Not_exist( $P_{ID}$ )
12:    end if
13:    if Visit( $P_{ID}$ ,  $W_{ID}$ ,  $S_{ID}$ ,  $B_N$ ) then
14:       $M_{PID} = Moverecord(P_{ID})$ 
15:      if then  $M_{PID} \in P_{HL}(B_N)$ 
16:        Grant_records( $M_{PID}$ ,  $W_{ID}$ ,  $S_{ID}$ ,  $B_N$ )
17:      else
18:        ( $W_{ID}$ ,  $S_{ID}$ ) <<< NOTIFY("Movement record does not exist")
19:      end if
20:      if ( $M_{PID} \in W_{ID}$ ,  $S_{ID}$  Treatment_completed( $P_{ID}$ )) then
21:        Revoke_records( $M_{PID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $W_{ID}$ ,  $S_{ID}$ ,  $B_N$ )
22:      else
23:        ( $C_{ID}$ ,  $L_{ID}$ ) <<< NOTIFY("PID voluntary revoke  $M_{PID}$ ")
24:        Revoke_records( $M_{PID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $W_{ID}$ ,  $S_{ID}$ ,  $B_N$ )
25:      end if
26:    else
27:      Not Visit
28:    end if
29:  end while
30: end procedure
```

Şekil 5.4. Ürün için geliştirilen BZ algoritması

Algoritma-3: İşçilerin Çalışmasındaki Algoritma
Input: ID and key requested from N_{Admin}
Output: Get access to W_{HL} transactions
Initialization: W_{HL} should be valid node. W_{HL} can Read/Write Permissioned ESR records by the workers and write movement records of the workers.

```

1: procedure WORKER( $W_{ID}$ )
2:   while (True) do
3:     if ( $W_{ID} \in B_N$ ) then
4:       if (Granted  $M_{PID} \in W_{ID}$ ) then
5:         Read_records( $W_{ID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $M_{PID}$ ,  $B_N$ )
6:         Update_records( $W_{ID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $M_{PID}$ ,  $B_N$ )
7:       else
8:         Write_records( $W_{ID}$ ,  $M_{PID}$ ,  $B_N$ )
9:         Read_records( $W_{ID}$ ,  $S_{ID}$ ,  $B_N$ )
10:      end if
11:    else
12:      Not_exist( $C_{ID}$ )
13:    end if
14:  end while
15: end procedure

```

Şekil 5.5. İşçiler için geliştirilen BZ algoritması

Algoritma-4: Depo Çalışmasındaki Algoritma
Input: ID and key requested from N_{Admin}
Output: Get access to S_{HL} transactions
Initialization: S_{HL} should be valid node. S_{HL} can Read/Write Permissioned ESR records by the workers.

```

1: procedure STORE( $S_{ID}$ )
2:   while (True) do
3:     if ( $S_{ID} \in B_N$ ) then
4:       if (Granted  $M_{PID} \in S_{ID}$ ) then
5:         Read_records( $S_{ID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $M_{PID}$ ,  $B_N$ )
6:         Write_records( $S_{ID}$ ,  $P_{REC\_I}$ ,  $M_{PID}$ ,  $B_N$ )
7:       else
8:         Read_records( $S_{ID}$ ,  $M_{PID}$ ,  $B_N$ )
9:       end if
10:    else
11:      Not_exist( $S_{ID}$ )
12:    end if
13:  end while
14: end procedure

```

Şekil 5.6. Depo için geliştirilen BZ algoritması

Önerilen Kalite 4.0 modeli için işletmelerde uygulanırken modelin uygulandığı iş fonksiyonuna göre farklı Endüstri 4.0 teknolojilerinden destek alınabilir. Bu çalışmada alım-satım faaliyetinde bulunan bir ticaret işletmesinin depo yönetim sisteminde Kalite 4.0 modeli uygulanmıştır ve depo yönetim sistemindeki süreçlerin yapısından dolayı BZ Teknolojisi tercih edilmiştir.

Depo yönetim sistemi için ürünün tedarikçiye sipariş verilmesinden işletme tarafından teslim alınmasına kadar çalıştırılan tüm süreçlerin kalitesinin, kullanılan teknolojinin kalitesinin, süreçlerde çalışanların kalitesinin dört katılımcı (satın alma müdürü, depo sorumlusu, işçi ve tedarikçi temsilcisi) tarafından izlenmesi, kontrol edilmesi ve kalitelerinin sürdürülebilir olması için BZ algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca katılımcılar için arayüz oluşturulmuştur. Bu arayüz sayesinde satın alınan ürünün kalitesine dair tüm faaliyetler kolayca izlenebilecektir. Katılımcılar kendilerine ait sisteme giriş bilgilerini kullanarak arayüze giriş yapabilecekler ve yetki düzeylerine göre Kalite 4.0 modelinin dört kalite bileşeni (süreç, teknoloji, çalışan, ekonomi) ve kalite kriterleri (izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik) açısından depo yönetim sistemindeki faaliyetlerin kalitesini ölçebileceklerdir.

Katılımcılar kendilerine tanımlanan kullanıcı adı ve şifre ile ana ekrandan giriş yaptıktan sonra “ürün seçimi” menüsünü görecektir. Bu menüde katılımcılar ürün seçimi, depo seçimi, tedarikçi seçimi ve müşteri seçimi olmak üzere dört farklı seçim yapabileceklerdir. Ürün seçimi yapıldığında katılımcının karşısına “ana operasyonel süreci” sekmesi (tedarik süreci, ürün kabul süreci, ürün yerleşim süreci ve ürün teslim süreci) ve “kalite bileşeni seçimi” sekmesi (süreç, teknoloji, çalışan, ekonomi) çıkacaktır. Kalite bileşeni seçimi yapıldığında, katılımcı yetkisi dahilinde o bileşene ait kalite kriterlerini (izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik) görebilecektir. İlgili kalite kriteri de seçildiğinde katılımcı yine yetkisi dahilinde o kalite kriterine ait kalite ölçümlerinin sonuçlarını görebilecektir.

BZ tabanlı Kalite 4.0 modeli ile pek çok işlem kolay ve hızlıca gerçekleştirilebilmektedir. Kalite 4.0 modelinin sunduğu izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik kriterleri sayesinde kalitede yaşanabilecek herhangi bir problem daha kısa sürede fark edilerek daha kısa sürede çözüm sağlanabilecektir. Kalite 4.0 modelinin BZ tabanlı olarak çalıştırılması da depo yönetim sisteminin güvenliğini arttıracaktır.

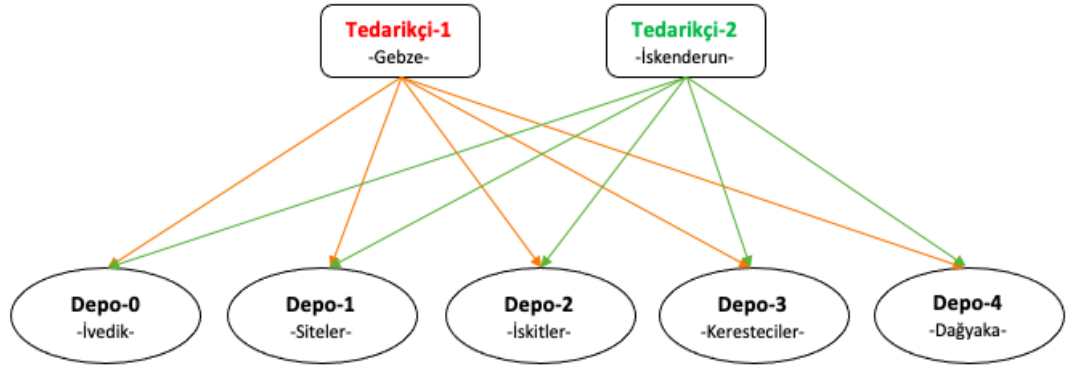
Bu sistem üzerinden ürünlerin taşınması esnasında konum takibi de yapılabilecektir. Tedarikçiden temin sırasında ve müşteriye teslimat sırasında bu uygulama üzerinden haritada araçların konumları belirlenebilecektir.



6. BLOK ZİNCİRİ TABANLI KALİTE 4.0 UYGULAMASI

6.1. Depo Yönetimi Uygulaması

Bu çalışmada sac metal & profil alım-satımı yapan bir işletmenin tedarik fonksiyonlarından depo yönetim sistemi için Kalite 4.0 modeli uygulanmıştır. İşletmenin ürün gruplarından 100x100x4 mm lik sac profil için uygulama yapılmıştır. Geliştirilen Kalite 4.0 modelinin depo yönetim sistemi için BZ tabanlı uygulaması sac metal&profil alım-satımı yapan bir ticaret işletmesinde yapılmıştır. İşletme Ankara’da beş farklı depoya sahiptir. Depolar birbirinden uzakta bulunmaktadır ve her birinde farklı ürünler depolanmaktadır. Şekil 6.1’de depolar gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Firma depoları

Firmanın tedarikçileriyle depolar arasındaki mesafe Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Tedarikçiler ve depolar arasındaki mesafeler

	Tedarikçi-1	Tedarikçi-2
Depo-0	380 km	614 km
Depo-1	395 km	611 km
Depo-2	392 km	608 km
Depo-3	387 km	611 km
Depo-4	364 km	627 km

Bu mesafeler arasında birden fazla sefer yapılabilir. Belirli zamanlarda sipariş üzerine tedarikçilerden sipariş verilmektedir. Taşıma araçlarının yaktığı mazot tutarı ortalama 100 km’de 9,5lt olarak hesaplanmaktadır. Taşıma maliyeti mazot litre

fiyatına bağı olarak aydan aya az da olsa farklılık gösterebilmektedir. Taşıma maliyetleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Taşıma maliyetleri

	Tedarikçi-1	Tedarikçi-2
Depo-0	1588,4 TL	2566,5 TL
Depo-1	1651,1 TL	2554,0 TL
Depo-2	1638,5 TL	2541,4 TL
Depo-3	1617,6 TL	2554,0 TL
Depo-4	1521,5 TL	2620,8 TL

Firmada bulunan 5 depoda çalışan toplam personel sayısı 163’tür. Bu kişilerin bir kısmı asgari ücret ile maaş alırken, bir kısmı ise farklı ücrete tabidir. Çalışanların Nisan ayında aldığı maaşların net miktarı yaklaşık olarak Tablo 6.3’de verilmiştir (Nisan/2022).

Tablo 6.3. Çalışan ücretleri (Nisan/2022)

Personel	Ücret
Tekniker	4253,4 TL
Teknisyen	4847,2 TL
Muhasebe	4253,4 TL
Bilgi İşlem	4954,7 TL
Temizlik	4253,4 TL
Soför	4253,4 TL
Mühendis	8874,2 TL
Depo Sorumlusu	9672,2 TL

Firma ile yapılan görüşmeler neticesinde satılan ürünlerden birinin 1 aylık sipariş miktarı ve ürünün giriş-çıkış bilgisi de edinilmiştir. Tablo 6.4’de 100x100x4(mm) kutu profil için Nisan 2022 bilgileri verilmiştir. Profilin et kalınlığı 4mm iken, 1 boyu 6 metredir. Siparişler için her paket 20 boydan oluşan paketler mevcuttur. Her bir profilin ağırlığı 70kg’dır. Toplamda sekiz müşteri ile çalışılmaktadır.

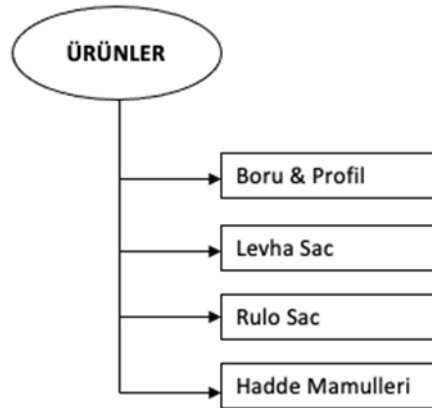
Tablo 6.4. Malzeme giriş-çıkışları

Tarih	Tedarikçi	Depo	Müşteri	Satır Türü	Miktar	Birim Fiyat
1.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	138	337,9 TL
1.04.2022	2	3	2	100x100x4mm Sac Boru	24	337,9 TL
1.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	108	337,9 TL
1.04.2022	2	3	2	100x100x4mm Sac Boru	186	337,9 TL
2.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	120	337,9 TL
4.04.2022	2	3	2	100x100x4mm Sac Boru	60	337,9 TL
4.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	54	337,9 TL
5.04.2022	2	3	2	100x100x4mm Sac Boru	90	337,9 TL

Tablo 6.4. (Devamı) Malzeme giriş-çıkışları

Tarih	Tedarikçi	Depo	Müşteri	Satır Türü	Miktar	Birim Fiyat
5.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	150	337,9 TL
5.04.2022	2	3	2	100x100x4mm Sac Boru	150	337,9 TL
6.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	120	337,9 TL
6.04.2022	2	3	2	100x100x4mm Sac Boru	18	337,9 TL
7.04.2022	1	4	5	100x100x4mm Sac Boru	300	217,3 TL
8.04.2022	1	1	2	100x100x4mm Sac Boru	12	337,9 TL
9.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	24	337,9 TL
9.04.2022	1	1	2	100x100x4mm Sac Boru	48	337,9 TL
11.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	150	337,9 TL
11.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	162	337,9 TL
11.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	120	222,7 TL
11.04.2022	2	2	6	100x100x4mm Sac Boru	480	222,7 TL
11.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	36	337,9 TL
11.04.2022	1	1	2	100x100x4mm Sac Boru	12	337,9 TL
12.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	120	337,9 TL
14.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	18	337,9 TL
18.04.2022	1	1	2	100x100x4mm Sac Boru	6	337,9 TL
18.04.2022	1	1	2	100x100x4mm Sac Boru	192	337,9 TL
19.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	222	337,9 TL
22.04.2022	1	4	5	100x100x4mm Sac Boru	18	337,9 TL
25.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	12	337,9 TL
25.04.2022	2	3	3	100x100x4mm Sac Boru	18	337,9 TL
26.04.2022	1	1	2	100x100x4mm Sac Boru	12	192,6 TL
27.04.2022	1	1	2	100x100x4mm Sac Boru	84	337,9 TL
27.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	300	337,9 TL
28.04.2022	1	1	2	100x100x4mm Sac Boru	84	337,9 TL
29.04.2022	1	4	3	100x100x4mm Sac Boru	180	222,7 TL
29.04.2022	1	4	4	100x100x4mm Sac Boru	84	337,9 TL
29.04.2022	2	2	6	100x100x4mm Sac Boru	120	222,7 TL
30.04.2022	1	4	8	100x100x4mm Sac Boru	450	217,3 TL

İşletmede birçok farklı tipte ürün bulunmaktadır. Bu ürünler kendi içinde de çeşitlenmektedir. İşletmede bulunan ürünler; boru & profil, levha sac, rulo sac ve hadde mamulleridir. Şekil 6.2’de bu ürünleri gösterilmiştir.

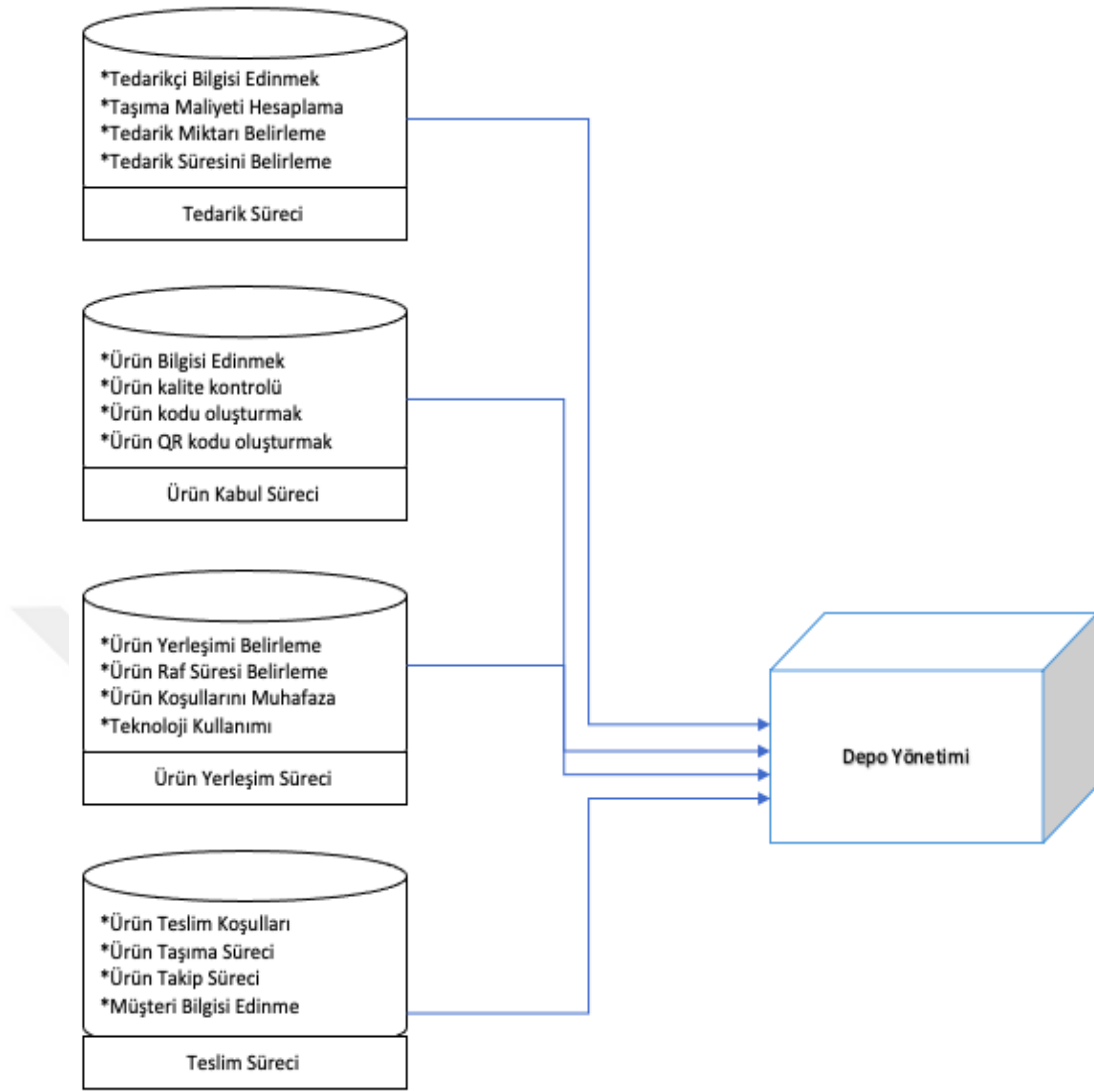
**Şekil 6.2. İşletme ürünleri**

İşletmenin depo yönetim sistemine ait ilk operasyonel süreç: “tedarik işlemi süreci” dir. Tedarikçi firmalardan belirli zaman aralıklarında siparişler işletmeye ait araçlar ile gelmektedir. İki farklı tedarikçi firmadan alınan ürünler işletmeye ait beş depoya taşınmaktadır. Tedarikçi firmalardan ürünlerin tedarik edilmesinden sonra ikinci operasyonel süreç: “ürün kabul süreci” dir. Ürün kabul süreci olumlu olduğunda depoya girişi yapılan ürün “ürün yerleşim süreci” operasyonel sürecine dahil edilir. Depoya yerleşimin uygun ve planlı şekilde yapılması, müşterinin ihtiyacı doğrultusunda ürünlerin hızlı sevkıyatının sağlanması açısından önemlidir. Depo yönetim sisteminin son operasyonel süreci ise: “teslim süreci” dir. Depolarda hangi üründen ne kadar olduğunu önceden bilebilmek ürünün zamanında teslimi açısından oldukça önemlidir. Şekil 6.3’te depo yönetim sistemine ait ana operasyonel süreçler gösterilmektedir.



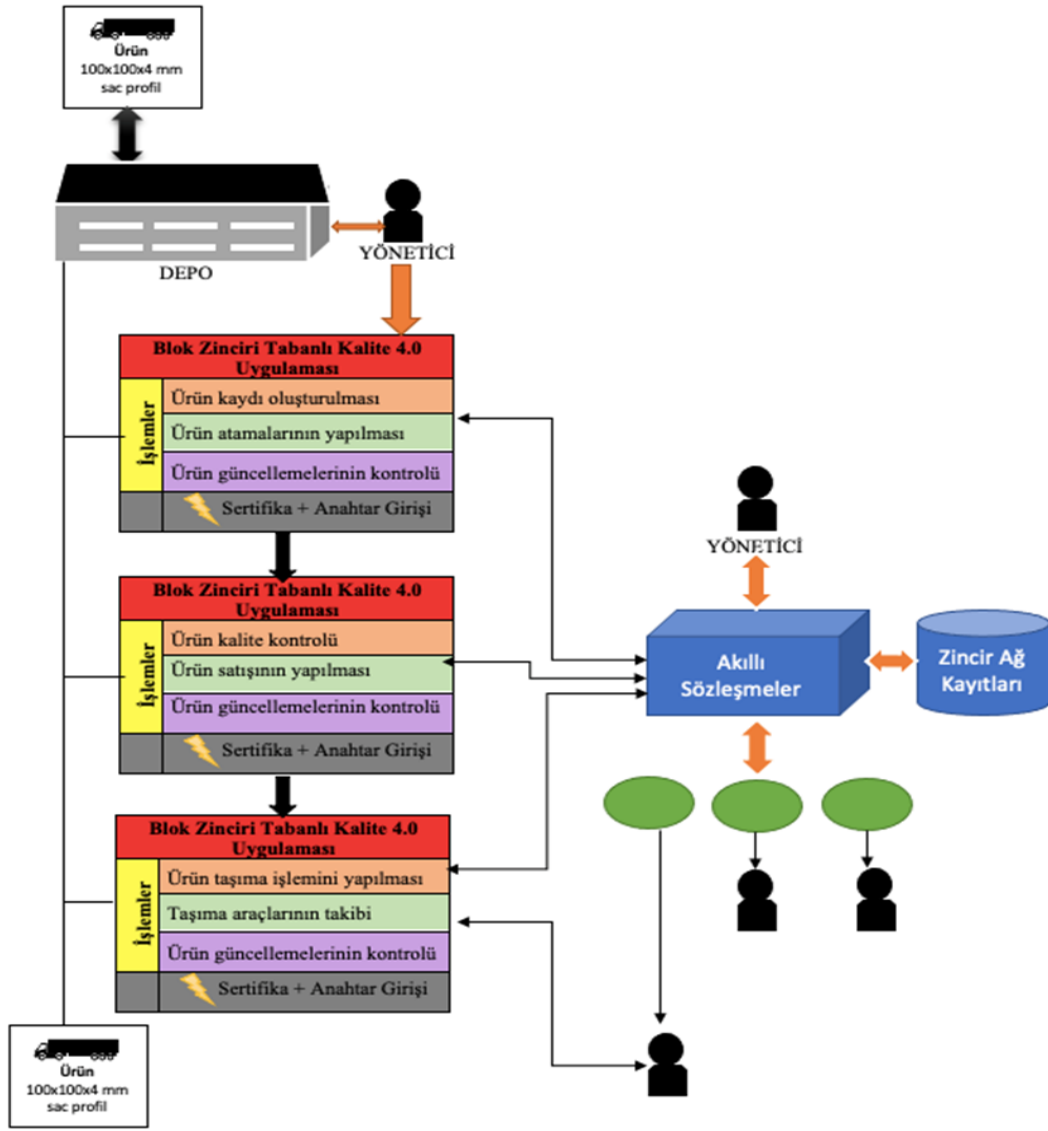
Şekil 6.3. Depo yönetim sistemine ait ana operasyonel süreçler

İşletmenin depo yönetim sistemindeki dört ana operasyonel sürecinde kullanılan teknolojinin, süreç çalışanlarının kalitesinin izlenebilirliğini, kontrol edilebilirliğini ve sürdürülebilirliğini işletme için kabul edilebilir ekonomik çerçevede sağlamak için bu çalışmada Kalite 4.0 modeli BZ tabanlı olarak uygulanmıştır. Her bir ana sürecin alt süreçleri ve bu alt süreçlerinde de yapılması gereken faaliyetler vardır. Şekil 6.4’te depo yönetim sisteminin alt süreçleri gösterilmektedir.



Şekil 6.4. Depo yönetim sisteminin alt süreçleri

Uygulamanın yapıldığı işletmede mevcut bir depo yönetim sistemi bulunmaktadır. Mevcut depo yönetim sisteminde sadece ürün takibi yapılarak, raf durumu ve miktarı izlenebilmektedir. Finansal bilgilere, çalışan bilgisine ve tedarik aracının durum bilgisine ulaşmak için başka sistemler kullanılmaktadır. Tüm bu farklı bilgilerin tek sistem üzerinden entegre şekilde elde edilebilmesi işletme süreçlerine hız kazandıracak, dolayısıyla işletmenin verimliliğini de arttıracaktır. BZ tabanlı Kalite 4.0 modeli ile depo yönetim sisteminin tüm süreçleri sürecin kalitesi, kullanılan teknolojinin kalitesi, çalışanın kalitesi işletmenin belirlediği ekonomik çerçevede sürdürülebilir şekilde izlenebilecek ve kontrol edilebilecektir. Sistemin güvenliği de BZ algoritmaları ile sağlanacaktır. İşletmenin depo yönetim sistemi için geliştirilen BZ tabanlı Kalite 4.0 modelinin uygulama adımları Şekil 6.5’te gösterilmektedir.



Şekil 6.5. BZ tabanlı Kalite 4.0 modelinin uygulama adımları

Geliştirilen Kalite 4.0 modeli ile işletmenin alım-satım yaptığı ürünlerin kalite bilgileri (ürünün sürecine, teknolojisine ve çalışanına ait) daha geniş kapsamda BZ ağ yapısına aktarılmaktadır. Model ile kalite ölçümüne ait tüm bilgilerin izlenebilirliği, kontrol edilebilirliği ve sürdürülebilirliği sağlanmış olacaktır. İşletmenin mevcut depo yönetim sistemi ile önerilen BZ tabanlı Kalite 4.0 modelinin kalite kriterlerini (izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik) karşılama durumları kalite bileşenlerine (süreç, teknoloji, çalışan ve ekonomi) göre kıyaslandığında önerilen BZ tabanlı Kalite 4.0 modelinin işletme açısından çok daha faydalı olacağı ve kriterleri daha çok karşıladığı görülmüştür. İki sistemin süreç kalite bileşenine göre yapılan kıyaslaması Tablo 6.5’de; teknoloji kalite bileşenine göre kıyaslaması Tablo 6.6’da;

alışan kalite bileşenine göre kıyaslaması Tablo 6.7’de; ekonomi kalite bileşenine göre kıyaslaması ise Tablo 6.8’de gösterilmektedir.

Tablo 6.5. Süreç kalite bileşenine göre kıyaslama

Teknoloji	Ürün İşlemleri	Mevcut Stok Sistemi	Kalite 4.0 – Stok Sistemi
Kalitenin İzlenebilirliği	Depoya giren-çıkkan malzemelerin takibi	Mevcut sistemde barkod sistemi kullanılmaktadır. Ürünler giriş yapınca raf bilgisi, ürün bilgisi ürün üzerine yapıştırılmaktadır.	Her ürün için QR kod oluşturularak blockchain ağ yapısına bu bilgi işlenmektedir.
	Depodaki ürünlerin bilgi sorgulaması	Barkod sorgusu ya da ürünlerin seri numarası ile sorgulama yapılabilir.	Ürün ismi, ürün seri numarası ve QR kod ile sorgulama yapılabilir.
	Malzeme taşıma araçlarının takibi	-	Her sipariş için taşıyacak araç ve sürücü bilgisi ilgili zincir defterine kaydedilir ve izlenir.
	Depodan çıkış yapan ürünlerin hareketlerini izleme	-	Ürün depodan çıktıktan sonra müşteriye ulaşana kadar GPS ile bilgisi görüntülenebilir.
	Deponun verimliliğinin ölçülmesi	-	Deponun mevcut kapasitesi ve doluluk oranı takip edilebilir.
Kalitenin Kontrol Edilebilirliği	Depoya giren-çıkkan malzemelerin takibi	Ürünlerin yerlerinin listesi toplu olarak bulunmamaktadır. Yalnızca ürünlerin bulunduğu raf belirtiliyor.	Raflardaki ürün listesi de görüntülenebileceği için çapraz sorgulama yapılabilir.
	Depodaki ürünlerin bilgi sorgulaması	Depodaki ürünlerin olup olmadığının kontrolü barkod ile yapılabilir.	Depodaki ürün bilgisi QR kod ile ve seri numarası ile yapılabilir.
	Malzeme taşıma araçlarının takibi	-	Ürünleri taşıyan araç bilgileri sorgulanıp kontrol edilebilir.
	Depodan çıkış yapan ürünlerin hareketlerini izleme	-	Ürün depodan çıktıktan sonra rota takip edilir, sapma olduğunda ya da taşıma süresi aşıldığında bildirim gelmektedir.
	Deponun verimliliğinin ölçülmesi	-	Mevcut kapasitesinin ne kadarı kullanılıyor, verimlilik yüzdesi belirlenebilir. Anlık doluluk görüntülenir.
Kaliteni Sürdürülebilirliği	Bir önceki zaman dilimiyle şimdiki durumun kıyaslanması	-	Sistemdeki hata oranı hesaplanır ve raporlanarak deftere kaydedilir.
	Teknolojik süreklilik sağlanması	Sistem değiştirilmeden kullanılmaya devam ediyor.	Sistemde bir hata tespit edilirse, hemen düzeltilip süreklilik sağlanıyor.

Tablo 6.6. Teknoloji kalite bileşenine göre kıyaslama

Teknoloji	Ürün İşlemleri	Mevcut Stok Sistemi	Kalite 4.0 – Stok Sistemi
Kalitenin İzlenebilirliği	Depoya giren-çıkan malzemelerin takibi	Mevcut sistemde barkod sistemi kullanılmaktadır. Ürünler giriş yapınca raf bilgisi, ürün bilgisi ürün üzerine yapıştırılmaktadır.	Her ürün için QR kod oluşturularak blockchain ağ yapısına bu bilgi işlenmektedir.
	Depodaki ürünlerin bilgi sorgulaması	Barkod sorgusu ya da ürünlerin seri numarası ile sorgulama yapılabilir.	Ürün ismi, ürün seri numarası ve QR kod ile sorgulama yapılabilir.
	Malzeme taşıma araçlarının takibi	-	Her sipariş için taşıyacak araç ve sürücü bilgisi ilgili zincir defterine kaydedilir ve izlenir.
	Depodan çıkış yapan ürünlerin hareketlerini izleme	-	Ürün depodan çıktıktan sonra müşteriye ulaşana kadar GPS ile bilgisi görüntülenebilir.
	Deponun verimliliğinin ölçülmesi	-	Deponun mevcut kapasitesi ve doluluk oranı takip edilebilir.
Kalitenin Kontrol Edilebilirliği	Depoya giren-çıkan malzemelerin takibi	Ürünlerin yerlerinin listesi toplu olarak bulunmamaktadır. Yalnızca ürünlerin bulunduğu raf belirtiliyor.	Raflardaki ürün listesi de görüntülenebileceği için çapraz sorgulama yapılabilecektir.
	Depodaki ürünlerin bilgi sorgulaması	Depodaki ürünlerin olup olmadığının kontrolü barkod ile yapılabilir.	Depodaki ürün bilgisi QR kod ile ve seri numarası ile yapılabilir.
	Malzeme taşıma araçlarının takibi	-	Ürünleri taşıyan araç bilgileri sorgulanıp kontrol edilebilir.
	Depodan çıkış yapan ürünlerin hareketlerini izleme	-	Ürün depodan çıktıktan sonra rota takip edilir, sapma olduğunda ya da taşıma süresi aşıldığında bildirim gelmektedir.
	Deponun verimliliğinin ölçülmesi	-	Mevcut kapasitesinin ne kadarı kullanılıyor, verimlilik yüzdesi belirlenebilir. Anlık doluluk görüntülenir.
Kalitenin Sürdürülebilirliği	Bir önceki zaman dilimiyle şimdiki durumun kıyaslanması	-	Sistemdeki hata oranı hesaplanır ve raporlanarak deftere kaydedilir.
	Teknolojik süreklilik sağlanması	Sistem değiştirilmeden kullanılmaya devam ediliyor.	Sistemde bir hata tespit edilirse, hemen düzeltilip süreklilik sağlanıyor.

Tablo 6.7. Çalışan kalite bileşenine göre kıyaslama

İnsan	Ürün İşlemleri	Mevcut Stok Sistemi	Kalite 4.0 – Stok Sistemi
Kalitenin İzlenebilirliği	Depoda bulunan personel hareketleri	-	Depodaki tüm personel hareketleri zincir yapıyla takip edilir.
	Depoda çalışanların verimlilik hesabı	-	Depodaki personelin çalıştığı süre sistemde gözükeceği için, gün içindeki yaptığı iş ile verimliliği takip edilebilir.
	Şoförlerin iş atamalarını yapmak	-	Taşıma işlemi öncesinde araç ve personel ataması yapılır ve sistem üzerinden görüntülenir
Kalitenin Kontrol Edilebilirliği	Depoda bulunan personel hareketleri	-	Depodaki personel hareketleri ve atamalar görüntülenip kontrol edilebilir.
	Depoda çalışanların verimlilik hesabı	-	Gün içinde çalışılması gereken süre ve yapılması gereken işin hesabı yapılarak, personelin günlük verimliliği hesaplanabilir.
	Şoförlerin iş atamalarını yapmak	-	Taşıma için ataması yapılan personelin doğru olup olmadığı görüntülenerek kontrol edilebilir.
Kalitenin Sürdürülebilirliği	Bir önceki zaman dilimiyle kıyaslama	-	Bir ürün için atanan personellerin listesi zaman dilimleri bazında kıyaslanabilir.
	Çalışanların sürekliliğinin sağlanması	-	Önceki zaman dilimlerindeki insan performansı kontrol edilerek devamlılık sağlanır.

Tablo 6.8. Ekonomi kalite bileşenine göre kıyaslama

Ekonomi	İşlem	Mevcut Stok Sistemi	Kalite 4.0 – Stok Sistemi
Kalitenin İzlenebilirliği	Tedarikçiden ürün satın alma işlemi	Tedarikçilerden gelen siparişler için kullanılan uygulama üzerinden bildirim gelmektedir. Bunu sisteme giren herkes görebiliyor ve değişiklik yapabiliyor.	Tedarikçilerden gelen siparişler blockchain ile oluşturulan kriptografik yapı ile yetki verilen kişilere iletilebiliyor ve sadece yetkili kişiler bu siparişin onayı, iptali ve değişikliği konusunda işlem yapabiliyor.
	Ürünleri depoda bulundurma hesabı	Mevcut uygulama bunun bilgisini vermiyor. İşletme kendisi ayrı olarak bunun hesabını muhasebe biriminde tutuyor.	Ürünlerin depoya giriş ve çıkış süreleri arasındaki sürede gerçekleşen maliyetler, ürün blok zinciri ağı defterine kaydedilir ve takibi yapılır.
	Depoda çalışanların giderlerinin takibi	-	Depodaki çalışan personelin maliyet bilgisi, ağ yapısına kaydedildiği için, istenildiği zaman görüntülenebilir.
	Depodaki ortam koşullarının takibi	-	Ortam koşulları her ürün için ilk girişte blok zinciri defterine ürün bilgisi olarak kaydedildiği için takibi yapılabilmektedir.
	Depoya ilk giriş kalite kontrol işlemi	Mevcut uygulamada bunun bilgisi yer almamaktadır. Kalite kontrol birimi ayrı olarak bunun bilgisini tutmaktadır.	Depoya ilk girişte yapılan kalite kontrol bilgileri ve tedarikçi firmanın üretim sonrası yaptığı kalite kontrol bilgileri izlenebilmektedir.
Kalitenin Kontrol Edilebilirliği	Tedarikçiden ürün satın alma işlemi	Mevcut uygulama ile geçmiş satın alma bilgilerine filtreleme ile sorgulama yapılarak bakılabilir. Böyle kıyaslama yapılabilir.	Ürün seçimi yapıldıktan sonra, ilgili ürün bilgileri zincir yapıya dahil olduktan sonra, tüm işlemler aynı yerden görülebilmektedir.
	Ürünleri depoda bulundurma hesabı	Mevcut uygulamada bu bilgiye erişilemiyor. Muhasebe biriminden manuel olarak bilgiye erişim sağlanıyor.	Her ürün için depoda bulundurulması gereken standart süre belirlidir. Süre aşıldığında sistem yöneticisine bildirim geliyor.
	Depoda çalışanların giderlerinin takibi	-	Depoda çalışanların gider kontrolü için ayrılan bütçe sınırı kontrolü yapılıyor. Sınır aşılsa bilgilendirme yapılıyor.
	Depodaki ortam koşullarının takibi	-	Ortam koşulları bilgisi takip ediliyor. Değerlerde değişiklik olduğunda sistem yöneticisi bilgi sahibi oluyor.
	Depoya ilk giriş kalite kontrol işlemi	Kalite kontrol biriminden bilgi sağlanıyor.	Ürün kalite sınır değerleri ürün bilgi zincir ağına tutulmaktadır. Kalitesi yeterli olmayan ürünlerin bilgisi yöneticiye bildirilmektedir.
Kalitenin Sürdürülebilirliği	Bir önceki zaman dilimiyle kıyaslama	Manuel olarak yapılabilir.	Zincir ağ yapısı birbirine bağlı olduğu için erişim filtreleme ile sağlanabilir.
	Ekonomik süreklilik sağlanması	Zaman aralığı girilerek ilgili ürünlerin ekonomik bilgilerine erişim sağlanabilir.	Zaman aralığı girilerek ilgili ürünlerin ekonomik bilgilerine erişim sağlanabilir.

Tablo 6.5’de verilen mevcut sistem ile önerilen sistem arasındaki süreç kalite bileşeni kıyaslamasına göre temel fark: depoda bekleme sürelerinin takibi ve kontrolündedir. Mevcut sistemde takip ve kontrol manuel olarak yapılırken Kalite 4.0 modelinin BZ algoritmaları ile bu süreler ağ yapısından görüntülenip kontrol edilebilecek, bir problem varsa ve sonraki süreçlere müdahale etmek gerekirse hızlı bir şekilde müdahale edilebilecektir.

Tablo 6.6’da verilen mevcut sistem ile önerilen sistem arasındaki teknoloji kalite bileşeni kıyaslamasına göre ürün giriş-çıkışı ve ürün sorgulama açısından iki sistem benzerlik göstermektedir. Ancak ürünlerin depodan çıktıktan sonraki hareketleri mevcut sistemde takip edilemezken, önerilen Kalite 4.0 modeli ile takibi yapılabilir. Ayrıca mevcut sistemde verimlilik hesabı yapılamazken, önerilen Kalite 4.0 modelinde mevcut kapasite ve doluluk oranı anlık olarak görülebileceği için gerçek zamanlı verimlilik hesabı da yapılabilmektedir.

Tablo 6.7’de mevcut sistem ile önerilen sistem arasında yapılan çalışan kalite bileşeni kıyaslaması gösterilmektedir. Çalışan kalite bileşenine yönelik olarak mevcut sistemde bir çalışma yapılmamaktadır. Ürünlerin alım-satım sevkıyat işlemleri için hazırlanan çalışan listesi depo yönetim sisteminden ayrı olarak bir dokümana kaydedilmektedir. Liste mevcut depo yönetim sistemine aktarılmamaktadır. Geliştirilen Kalite 4.0 modelinin BZ tabanında ise tüm çalışanlara ait bilgiler mevcuttur. Çalışan hareketleri ve yapılan değişiklikler gerçek zamanlı olarak görüntülenip raporlanabilmektedir.

Tablo 6.8’de gösterilen mevcut sistem ile önerilen sistem arasındaki ekonomi kalite bileşeni kıyaslamasına göre temel fark: mevcut sistemde yalnızca ürün ile ilgili ekonomik verinin bulunması, geliştirilen Kalite 4.0 modelinde ise ürün ile ilgili diğer bileşenlerin bilgilerinin de olmasıdır. Mevcut depo yönetim sisteminde ürünler için maliyet hesabı yapılamıyorken, Kalite 4.0 modelinde gerçek zamanlı maliyet hesabı yapılabilecektir.

İşletmenin mevcut depo yönetim sisteminde, satın alma işlemi gerçekleştirildiği zaman, depo yönetim sistemindeki herkes satın alma işlemini görüntüleyebilmektedir ve değişiklik yapabilmektedir. Geliştirilen BZ tabanlı Kalite 4.0 modelinde ise, BZ ile sağlanan kriptografik yapı sayesinde ürünlerin satın alma bilgileri sadece yetkilendirilen kullanıcılar tarafından görüntülenebilmektedir. Sistemde değişiklik için

kısıtlı izin vardır ve değişiklikler sadece yetkilendirilen kullanıcılar tarafından yapılabilmektedir. BZ tabanı ile depo yönetim sisteminin güvenliği artacaktır.

6.2. Blok Zinciri Tabanlı Kalite 4.0 Uygulaması Arayüzü

BZ teknolojisinin geliştirilen Kalite 4.0 modeline uygulanması ile birlikte, bu dört kullanıcının süreçleri kontrol edebilmesi için bir ara yüz oluşturulacaktır. Bu arayüz sayesinde ürünün tüm hareketleri kolaylıkla izlenebilecektir. Kişiler bu arayüz ile birlikte dört bileşen açısından tüm süreçleri gözleme ve kontrol etme imkanı bulacaktır.

BZ ile birlikte her kullanıcı kendisine ait sisteme giriş bilgileriyle birlikte sisteme giriş yaparak işletmenin tedarik departmanındaki stok bilgilerine erişerek, sistemdeki ürün takibini gerçekleştirebilecektir.

Şekil 6.6’da Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması kullanıcı giriş ekranı gösterilmektedir.

 Kullanıcı Adı	
 Şifre	

[Giriş](#)

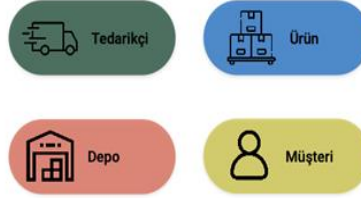
[Şifremi unuttum](#)

Baran & Korkusuz Polat

Şekil 6.6. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü kullanıcı giriş ekranı

Kullanıcılar burada kendilerine tanımlanan kullanıcı adı ve şifre ile giriş yapabileceklerdir. Ana ekrana giriş yapıldıktan sonra ana menü karşımıza çıkacaktır. Kalite 4.0-Blok Zinciri Ana Menü ekranı Şekil 6.7’de gösterilmektedir.

🏠 ANA MENÜ



Şekil 6.7. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü kullanıcı ana menü ekranı

Burada, kullanıcı adı ve şifre ile giriş yaptıktan sonra ürün seçimi menüsüyle karşımıza çıkacaktır. Bu menüde kullanıcılar ürün seçimi, depo seçimi, tedarikçi seçimi ve müşteri seçimi yapılabilecektir. Ürün seçimi ekranı Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

Ürün Seçimi



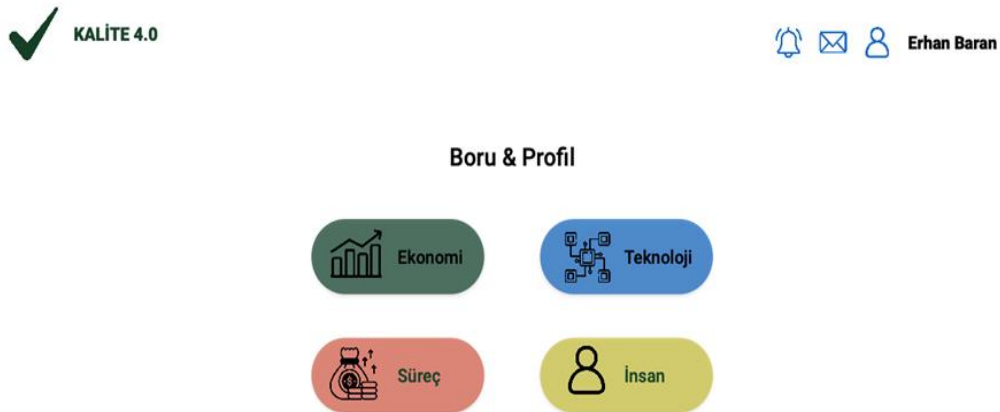
Şekil 6.8. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü kullanıcı ürün seçimi ekranı

Ürün seçimini yaptığımızda, ana operasyonel süreç ekranı (Tedarik Süreci, Ürün Kabul Süreci, Ürün Yerleşim Süreci ve Ürün Teslim Süreci) ve bileşen seçim ekranları

karşımıza çıkacaktır. Boru & Profil ürünü için operasyonel süreç ekranı ve bileşen seçim ekranı Şekil 6.9 ve Şekil 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü operasyonel süreç ekranı



Şekil 6.10. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü bileşen seçim ekranı

Her bir bileşenin altında, yetkilendirilen kişiler işlemleri görüntüleyebilecek ve gerekirse değişiklik de yapılabileceklerdir. Tek bir uygulama ile bütün işlemler kontrol edilebilecektir. Bileşenler seçildikten sonra karşımıza iki menü gelecektir (İzleme ve Kontrol). Ekonomi bileşeni seçildiğinde karşımıza çıkan ekran görüntüsü Şekil 6.11’de gösterilmiştir.

 Ekonomi

Şekil 6.11. Kalite 4.0-Blok Zinciri uygulaması arayüzü ekonomi bileşeni ekranı

Bu uygulama ile görüldüğü üzere birçok işlem kolaylıkla ve hızlıca gerçekleştirilebilecektir. İşlemlerin hızlı ve tek bir uygulama üzerinden gerçekleştirilmesi, işletmenin stok departmanının tümünün kalitesini artıracaktır. Blok zinciri kullanımı sistemin güvenliği de artıracığından dolayı, özellikle birden çok kullanıcının erişebildiği bu tarz stok sistemlerinde bu Kalite 4.0 modeli ve BZ teknolojisinin kullanımı sistemin kalitesini artıracaktır.

Bu sistem üzerinden ürünlerin taşınması esnasında konum takibi de yapılabilecektir. Tedarikçiden temin sırasında ve müşteriye teslimat sırasında bu uygulama üzerinden haritada araçların konumları belirlenebilecektir.



7. DEĞERLENDİRME

7.1. Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo Yöntemi ile Modelin Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında ayrıca geliştirilen yöntemin, uygulamanın yapıldığı işletmenin kullandığı sistem ile ve sektörde kullanılmakta olan diğer stok kontrol sistemleri ile kıyaslamasını değerlendirmek için bir Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin kullanılma nedeni, literatürdeki diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerine göre daha kapsamlı bir analiz sunmasıdır. Kriterler uzman görüşlerine dayalı olarak değerlendirilecek ve hesaplanan fayda değerleri göz önüne alınarak CoCoSo yöntemi ile alternatifler arasından seçim yapılabilecektir.

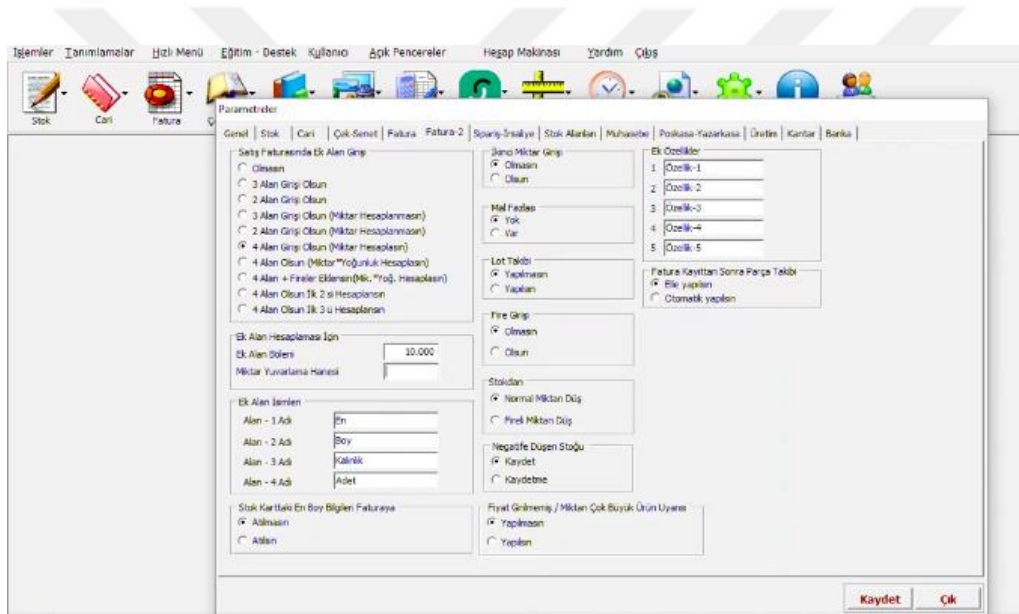
SWARA yöntemi, çeşitli disiplinlere yaygın olarak uygulanmaktadır. Öznel kriter ağırlıklarını veya niteliklerin önem derecesini tahmin etmek için kullanılabilir. SWARA önceliklerine bağlı olarak ağırlıklandırma kriterleri üzerinde çalışan bir yöntemdir. Literatürde Pisagor Bulanık SWARA kullanılan çalışmalar çok azdır. Bu çalışmada Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yöntemi entegre kullanılarak çalışmaya özgünlük katılmıştır. CoCoSo yöntemi, Pisagor Bulanık SWARA ile birlikte kullanıldığında nesnelerin interneti gibi endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı uygulamalarda etkili olabilmektedir. Bu çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojileri kullanıldığı için bu yöntem tercih edilmiştir. CoCoSo yöntemin uygulama alanı, SWARA ile birlikte kullanıldığında, daha gelişmiş olacaktır.

Bu çalışmadaki alternatif yöntemler; ülkemizde en yaygın olarak kullanılan üç adet sistem ve geliştirilen yöntem olmak üzere toplam dört adettir. Alternatif yöntemler Tablo 7.1’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yöntemi alternatifleri

Alternatif No	Alternatifler
Alternatif-1 (A ₁)	Kalite 4.0 Modeli
Alternatif-2 (A ₂)	Uygulama yapılan işletmenin kullandığı yazılım
Alternatif-3 (A ₃)	Türkiye’de faaliyet gösteren yazılım şirketi
Alternatif-4 (A ₄)	Türkiye’de faaliyet gösteren yazılım şirketi

Burada A₁ alternatifi, geliştirilen BZ Tabanlı Kalite 4.0 modelidir. A₂ alternatifi ise, uygulamanın yapıldığı işletmenin kullandığı depo takip sistemini ifade etmektedir. İşletmenin kullandığı sistemde; ürünlerin giriş-çıkışı takibi kullandıkları depo yönetim yazılımı aracılığıyla takip edilmektedir. Şekil 7.1’de, uygulamanın kullandığı yazılımın ekran görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Uygulama yapılan işletmenin kullandığı mevcut depo yönetim yazılımının ekran görüntüsü

Bu yazılım ile işletmenin tedarikçilerden satın aldığı malzemelerin alış fiyatı, satış fiyatı, satın alınan adet miktarı ve satın alma tarihi gibi bilgiler de takip edilebilmektedir. A₃ alternatifi, ülkemizde faaliyet gösteren, birçok işletmenin kullandığı yazılımı ifade etmektedir. Şekil 7.2’de Alternatif-3’ün ekran görüntüsünü gösterilmektedir.

Şekil 7.2. A₃ alternatifinin ekran görüntüsü

[illegible]

Şekil 7.3. A₄ alternatifinin ekran görüntüsü

S₄ alternatifi ile; alış-satış fiyatları, depodaki ürün miktarları, QR kodlama ile takip etmek, depolar arasındaki transferlerin izlenmesi gibi işlemler takip edilebilmektedir. Çalışmada kriter olarak, 41 adet kriter tercih edilmiştir. Bu kriterler oluşturulurken bir depo yönetim sisteminin süreçleri ile modelimizdeki kriterler ve bileşenlerden yararlanılmıştır. Tablo 7.2’de kriterler gösterilmiştir.

Tablo 7.2. Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yöntemi kriterleri

Kriter No	Kriterler
Kriter-1 (K ₁)	Tedarikçi Bilgisi Edinirken Teknoloji Kullanımı
Kriter-2 (K ₂)	Tedarikçi Bilgisi Edinirken Maliyet Hesabı
Kriter-3 (K ₃)	Tedarikçi Bilgisi Edinen Personelin Yetkinliği
Kriter-4 (K ₄)	Taşıma Maliyetini Hesaplarken Teknoloji Kullanımı
Kriter-5 (K ₅)	Taşıma Maliyetini Hesaplayan Personelin Yetkinliği
Kriter-6 (K ₆)	Tedarik Miktarını Belirlemede Teknoloji Kullanımı
Kriter-7 (K ₇)	Tedarik Miktarını Belirleme Maliyeti
Kriter-8 (K ₈)	Tedarik Miktarını Belirleyen Personelin Yetkinliği
Kriter-9 (K ₉)	Tedarik Süresini Belirlemede Teknoloji Kullanımı
Kriter-10 (K ₁₀)	Tedarik Süresini Belirlemede Maliyet Hesabı
Kriter-11 (K ₁₁)	Tedarik Süresini Belirleye Personelin Yetkinliği
Kriter-12 (K ₁₂)	Ürün Bilgisi Edinirken Teknoloji Kullanımı
Kriter-13 (K ₁₃)	Ürün Bilgisi Edinmede Maliyet Hesabı
Kriter-14 (K ₁₄)	Ürün Bilgisi Edinen Personelin Yetkinliği
Kriter-15 (K ₁₅)	Ürün Kalite Kontrolünde Teknoloji Kullanımı
Kriter-16 (K ₁₆)	Ürün Kalite Kontrolünün Maliyet Hesabı
Kriter-17 (K ₁₇)	Ürün Kalite Kontrolünü Yapan Personelin Yetkinliği
Kriter-18 (K ₁₈)	Ürün QR Kodu Oluşturmada Teknoloji Kullanımı
Kriter-19 (K ₁₉)	Ürün QR Kodu Oluşturmanın Maliyet Hesabı
Kriter-20 (K ₂₀)	Ürün QR Kodu Oluşturan Personelin Yetkinliği
Kriter-21 (K ₂₁)	Ürün Yerleşimi Belirlerken Teknoloji Kullanımı
Kriter-22 (K ₂₂)	Ürün Yerleşimi Yaparken Maliyet Hesabı
Kriter-23 (K ₂₃)	Ürün Yerleşimi Yapan Personelin Yetkinliği
Kriter-24 (K ₂₄)	Ürün Raf Süresi Belirlerken Teknoloji Kullanımı
Kriter-25 (K ₂₅)	Ürün Raf Süresi Belirlerken Maliyet Hesabı
Kriter-26 (K ₂₆)	Ürün Raf Süresi Belirleyen Personelin Yetkinliği
Kriter-27 (K ₂₇)	Ürün Koşullarını Muhafaza Ederken Teknoloji Kullanımı
Kriter-28 (K ₂₈)	Ürün Koşullarını Muhafaza Etmenin Maliyet Hesabı
Kriter-29 (K ₂₉)	Ürün Koşullarını Muhafaza Etmede Çalışan Personel
Kriter-30 (K ₃₀)	Ürün Teslim Koşullarını Belirlerken Teknoloji Kullanımı
Kriter-31 (K ₃₁)	Ürün Teslim Koşullarını Belirlerken Maliyet Hesabı
Kriter-32 (K ₃₂)	Ürün Teslim Koşullarını Belirleyen Personelin Yetkinliği
Kriter-33 (K ₃₃)	Ürün Taşıma Sürecinde Teknoloji Kullanımı
Kriter-34 (K ₃₄)	Ürün Taşıma Sürecinde Maliyet Hesabı
Kriter-35 (K ₃₅)	Ürün Taşıma Sürecinde Çalışan Personelin Yetkinliği
Kriter-36 (K ₃₆)	Ürün Takip Sürecinde Teknoloji Kullanımı
Kriter-37 (K ₃₇)	Ürün Takip Sürecinde Teknoloji Kullanımının Maliyeti
Kriter-38 (K ₃₈)	Ürün Takip Sürecinde Çalışan Personelin Yetkinliği
Kriter-39 (K ₃₉)	Müşteri Bilgisi Edinmede Teknoloji Kullanımı
Kriter-40 (K ₄₀)	Müşteri Bilgisi Edinmenin Maliyet Hesabı
Kriter-41 (K ₄₁)	Müşteri Bilgisi Edinmede Çalışan Personelin Yetkinliği

Bu kriterlerden K₁, tedarikçi bilgilerinin elde edilmesinde herhangi bir Endüstri 4.0 kullanılarak, tedarikçi bilgi edinmenin kalitesine nasıl katkıda bulunulacağını; K₂ kriteri, tedarikçi bilgisi edinmenin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₃ kriteri, tedarikçi bilgisi edinmede yer alan personelin bu konudaki tecrübesini ve yetkinliğinin bilgi edinme kalitesine etkisini; K₄ kriteri, tedarikçilerden satın alınan hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin taşınması sırasında teknoloji kullanımının taşıma kalitesine etkisini; K₅ kriteri, tedarikçilerden satın alınan hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin taşınması sırasında çalışan personelin yetkinliğinin taşıma kapasitesine etkisin; K₆ kriteri, tedarikçilerden sipariş edilecek olan sipariş miktarını belirlerken teknoloji kullanımının sipariş kalitesine etkisini; K₇ kriteri, tedarikçilerden sipariş edilecek olan sipariş miktarını belirlemenin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine katkısını; K₈ kriteri, tedarikçilerden sipariş edilecek olan sipariş miktarını belirlemede çalışan personelin sipariş kalitesine etkisini; K₉ kriteri, tedarik süresini belirlemede teknoloji kullanımının sürenin kalitesine etkisini; K₁₀ kriteri, tedarik süresini belirlemenin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletme ekonomisinin kalitesine etkisi; K₁₁ kriteri, tedarik süresini belirlemede çalışan personelin yetkinliğinin sürenin kalitesine etkisini; K₁₂ kriteri, temin edilen ürünlerinin bilgisinin edinilmesinde teknoloji kullanımının bilgi edinme kalitesine etkisini; K₁₃ kriteri, temin edilen ürünlerin bilgisinin edinilmesinin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₁₄ kriteri,temin edilen ürünlerin bilgisinin edinilmesinde çalışan personelin yetkinliğinin bilgi edinme kalitesine etkisini; K₁₅ kriteri, ürün kalite kontrolünde teknoloji kullanımının kalite kontrolünü; K₁₆ kriteri, ürün kalite kontrolünün maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₁₇ kriteri, ürün kalite kontrolünü yapan personelin yetkinliğinin kalite kontrolüne etkisini; K₁₈ kriteri, ürün QR kodu oluşturulmasında teknoloji kullanımını; K₁₉ kriteri, ürün QR kodu oluşturmanın maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₂₀ kriteri, ürün QR kodu oluşturulmasında çalışan personelin yetkinliğini; K₂₁ kriteri, ürünlerin işletme deposundaki yerleşimini belirlerken teknoloji kullanımını; K₂₂ kriteri, ürünlerin işletme deposundaki yerleşimini belirlemenin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₂₃ kriteri, ürünlerin işletme deposundaki yerleşimini yapan personelin yetkinliğini; K₂₄ kriteri, ürünlerin depodaki raf süresinin belirlemede teknoloji kullanımını; K₂₅ kriteri, ürünlerin depodaki raf

süresini belirlemenin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletme ekonomisinin kalitesine etkisini; K₂₆ kriteri, ürünlerin depodaki raf süresinin belirlenmesinde çalışan personelin yetkinliğini; K₂₇ kriteri, ürün koşullarını muhafaza ederken teknoloji kullanımını; K₂₈ kriteri, ürün koşullarını muhafaza etmenin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₂₉ kriteri, ürün koşullarını muhafaza etmede çalışan personelin yetkinliğini; K₃₀ kriteri, ürün teslim koşullarını belirlerken teknoloji kullanımını; K₃₁ kriteri, ürün teslim koşullarını belirlemede maliyetin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₃₂ kriteri, ürün teslim koşullarının belirlenmesinde çalışan personelin yetkinliğini; K₃₃ kriteri, ürün taşıma sürecinde teknoloji kullanımının taşıma sürecinin kalitesine etkisini; K₃₄ kriteri, ürün taşıma sürecinin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₃₅ kriteri, ürün taşıma sürecinde çalışan personelin yetkinliğinin taşıma sürecinin kalitesine etkisini; K₃₆ kriteri, ürün takip sürecinde teknoloji kullanımının ürün takibinin kalitesine etkisini; K₃₇ kriteri, ürün takip sürecinin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₃₈ kriteri, ürün takip sürecinde çalışan personelin yetkinliğinin takip sürecinin kalitesine etkisini; K₃₉ kriteri, müşteri bilgisi edinmede teknoloji kullanımının bilgi edinme kalitesine etkisini; K₄₀ kriteri, müşteri bilgisi edinmenin maliyetinin uygun seviyelerde olmasının işletmenin ekonomik kalitesine etkisini; K₄₁ kriteri de müşteri bilgisi edinmede çalışan personelin yetkinliğinin bilgi edinme kalitesine etkisini ölçmektedir.

Bu yöntem için seçilen değerlendirmeyi yapan üç Karar Uzmanları (KU), çalışma alanlarına ve mesleklerine göre çeşitli işletmelerden seçilmiştir. KU'ların uzmanlık alanlarında kaç yıl çalıştıkları da dikkate alınmıştır. Değerlendirmeler için işletmeden elde edilen verilerden yararlanılmıştır.

Yöntem için seçilen üç Karar Uzmanı (KU) Tablo 7.3.'te verilen dilsel değişkenleri kullanarak çevrimiçi bir anket aracılığıyla değerlendirmişlerdir. Tablo-7.4.'te KU'ların vermiş oldukları ağırlıklar, Pisagor Bulanık Sayıları (PBS) olarak gösterilmiştir. Daha sonra KU'ların belirttiği ağırlıklar dikkate alınarak kriter ağırlığını hesaplamak için Pisagor Bulanık SWARA yöntemi uygulanmıştır. Alternatifleri ağırlıklı kriterlere göre sıralamak için ise CoCoSo yöntemi kullanılmıştır.

Karar verme süreci, birçok seçenek arasından bilimsel ve mantıksal olarak en iyisini seçim sürecidir. Karar uzmanları bu tip kararları alırken, kararların çok kriterli karar verme olarak kabul edilebilmeleri için çeşitli açılardan önem taşıyan kriterleri göz önüne alarak alternatifleri değerlendirmek gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, karar uzmanları dilsel değişkenleri de kullanarak belirsizliklere karşı Pisagor bulanık kümelerini uygulamıştır. Tablo 7.3'te bu dilsel değerler verilmiştir.

Tablo 7.3. Karar uzmanlarının performansını değerlendirmek için dilsel değerler

Dilsel Değerler	Pisagor Bulanık Sayılar
Son Derece Önemli (SDÖ)	Y(0.90, 0.15, 0.409)
Çok Çok Önemli (ÇÇÖ)	Y(0.75 0.40, 0.527)
Çok Önemli (ÇÖ)	Y(0.70, 0.55, 0.456)
Önemli (Ö)	Y(0.60, 0.70, 0.387)
Az Önemli (AÖ)	Y(0.40, 0.80, 0.447)
Çok Az Önemli (ÇAÖ)	Y(0.30, 0.90, 0.316)

Tablo 7.4. Seçenekler ve performans derecelerinin dilsel değerleri

No	Pisagor Bulanık Sayılar
İnanılmaz Yüksek (İY)	Y(0.95, 0.20, 0.387)
Çok Çok Yüksek (ÇÇY)	Y(0.85, 0.30, 0.433)
Çok Yüksek (ÇY)	Y(0.80, 0.35, 0.487)
Yüksek (Y)	Y(0.70, 0.45, 0.554)
Orta Yüksek (OY)	Y(0.60, 0.55, 0.581)
Orta (O)	Y(0.50, 0.60, 0.624)
Orta Düşük (OD)	Y(0.40, 0.70, 0.592)
Düşük (D)	Y(0.30, 0.75, 0.589)
Çok Düşük (ÇD)	Y(0.20, 0.85, 0.487)
İnanılmaz Düşük (İD)	Y(0.10, 0.95, 0.296)

Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yönteminin uygulanmasında Tablo 7.3 ve Tablo 7.4 karar uzmanlarının dilsel değer olarak verdiği ağırlıkları göstermektedir.

Belirlenen kriterlere ilişkin karar matrisi Tablo 7.5.'te verilmiştir. Tablo 7.5'teki bilgiler, Tablo 7.4'teki değerler kullanılarak ve Denklem 3.1'den yararlanarak oluşturulmuştur.

Tablo 7.5. Seçeneklerin değerlendirilmesi için karar uzmanlarının ağırlıkları

Karar Uzmanı	Dilsel Değerler	Pisagor Bulanık Sayılar	Ağırlık
E ₁	Önemli (Ö)	Y(0.60, 0.70, 0.387)	0.2325
E ₂	Çok Çok Önemli (ÇÇÖ)	Y(0.75 0.40, 0.527)	0.4277
E ₃	Çok Önemli (ÇÖ)	Y(0.70, 0.55, 0.456)	0.3398

Belirttiğimiz gibi, karar vermenin ilk adımı karar matrisini oluşturmaktır. Üç karar uzmanının farklı kriterler için alternatifler üzerindeki ağırlıkları Tablo 7.6’da gösterilmiştir.

Tablo 7.6. Karar uzmanlarının kriterler için belirlediği dilsel değerler

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
K ₁	(D,D,O)	(D,ÇD,ÇD)	(D,O,OD)	(D,OD,OD)
K ₂	(OD,D,D)	(OY,D,D)	(OY,Y,O)	(OY,OY,O)
K ₃	(OD,D,OD)	(OD,O,OD)	(Y,ÇY,O)	(OY,ÇY,O)
K ₄	(OD,ÇD,ÇD)	(D,OD,D)	(OD,O,OD)	(OD,ÇD,OD)
K ₅	(OD,O,Y)	(OD,OY,Y)	(OY, ÇÇY,OY)	(O,ÇY,Y)
K ₆	(ÇY,OY,O)	(OD,ÇY,Y)	(O,OD,ÇY)	(O,O,OY)
K ₇	(OD,D,ÇD)	(O,D,ÇD)	(OY,O,ÇY)	(OY,O,Y)
K ₈	(OD,OD,O)	(D,ÇD,OD)	(OY,OD,O)	(OY,D,O)
K ₉	(OY,ÇY,Y)	(O,ÇY,Y)	(O,ÇD,OD)	(O,ÇD,OD)
K ₁₀	(OD,O,Y)	(OY,ÇÇY,Y)	(OD,OY,O)	(OD,Y,O)
K ₁₁	(OY,Y,Y)	(O,OY,O)	(OD,ÇD,O)	(OD,D,O)
K ₁₂	(OY,D,Y)	(O,O,O)	(OD,D,O)	(OD,D,OY)
K ₁₃	(OY,OY,Y)	(O,OD,O)	(OD,OD,O)	(D,ÇD,O)
K ₁₄	(OY,O,Y)	(O,OD,ÇD)	(Y,OY,O)	(Y,Y,O)
K ₁₅	(O,ÇY,Y)	(OD,OY,Y)	(Y,O,OY)	(Y,OD,OY)
K ₁₆	(Y,ÇY,Y)	(ÇY,Y,ÇY)	(OD,O,Y)	(OD,O,OY)
K ₁₇	(OD,O,Y)	(ÇY,O,Y)	(OD,OD,OY)	(OD,O,Y)
K ₁₈	(OD,OY,Y)	(OD,Y,Y)	(OY,OD,O)	(ÇY,O,O)
K ₁₉	(ÇD,OY,D)	(O,ÇD,D)	(ÇY,Y,O)	(ÇÇY,Y,OY)
K ₂₀	(OD,OY,D)	(D,ÇD,D)	(O,OY,O)	(Y,OY,O)
K ₂₁	(Y,ÇY,ÇY)	(O,Y,ÇY)	(OD,O,OY)	(OD,O,Y)
K ₂₂	(Y,O,Y)	(O,ÇY,Y)	(O,OD,Y)	(D,OD,Y)
K ₂₃	(D,D,O)	(D,ÇD,ÇD)	(D,O,OD)	(D,OD,OD)
K ₂₄	(OD,D,D)	(OY,D,D)	(OY,Y,O)	(OY,OY,O)
K ₂₅	(OD,D,OD)	(OD,O,OD)	(Y,ÇY,O)	(OY,ÇY,O)
K ₂₆	(OD,ÇD,ÇD)	(D,OD,D)	(OD,O,OD)	(OD,ÇD,OD)
K ₂₇	(OD,O,Y)	(OD,OY,Y)	(OY, ÇÇY,OY)	(O,ÇY,Y)
K ₂₈	(ÇY,OY,O)	(OD,ÇY,Y)	(O,OD,ÇY)	(O,O,OY)
K ₂₉	(OD,D,ÇD)	(O,D,ÇD)	(OY,O,ÇY)	(OY,O,Y)
K ₃₀	(OD,OD,O)	(D,ÇD,OD)	(OY,OD,O)	(OY,D,O)
K ₃₁	(OY,ÇY,Y)	(O,ÇY,Y)	(O,ÇD,OD)	(O,ÇD,OD)
K ₃₂	(OD,O,Y)	(OY,ÇÇY,Y)	(OD,OY,O)	(OD,Y,O)
K ₃₃	(Y,ÇY,Y)	(ÇY,Y,ÇY)	(OD,O,Y)	(OD,O,OY)
K ₃₄	(OD,O,Y)	(ÇY,O,Y)	(OD,OD,OY)	(OD,O,Y)
K ₃₅	(OD,OY,Y)	(OD,Y,Y)	(OY,OD,O)	(ÇY,O,O)
K ₃₆	(ÇD,OY,D)	(O,ÇD,D)	(ÇY,Y,O)	(ÇÇY,Y,OY)
K ₃₇	(OD,OY,D)	(D,ÇD,D)	(O,OY,O)	(Y,OY,O)
K ₃₈	(Y,ÇY,ÇY)	(O,Y,ÇY)	(OD,O,OY)	(OD,O,Y)
K ₃₉	(Y,O,Y)	(O,ÇY,Y)	(O,OD,Y)	(D,OD,Y)
K ₄₀	(D,D,O)	(D,ÇD,ÇD)	(D,O,OD)	(D,OD,OD)
K ₄₁	(OD,D,D)	(OY,D,D)	(OY,Y,O)	(OY,OY,O)

SWARA kullanılarak karar uzmanları tarafından oluşturulan her bir kriterin ağırlığı Tablo 7.7’de verilmiştir. Her karar uzmanından her bir kriterin önemini seçmesi istenmiştir.

Tablo 7.7. Karar uzmanlarının belirlediği kriterler ve alternatiflerin pisagor bulanık değerleri

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
K ₁	(0.385,0.695,0.607)	(0.228,0.826,0.516)	(0.430,0.666,0.610)	(0.380,0.711,0.591)
K ₂	(0.327,0.738,0.590)	(0.402,0.698,0.593)	(0.622,0.520,0.585)	(0.570,0.567,0.595)
K ₃	(0.362,0.721,0.591)	(0.447,0.655,0.609)	(0.706,0.446,0.550)	(0.687,0.467,0.557)
K ₄	(0.263,0.812,0.520)	(0.347,0.728,0.591)	(0.447,0.655,0.609)	(0.333,0.761,0.558)
K ₅	(0.570,0.564,0.598)	(0.607,0.543,0.580)	(0.743,0.424,0.517)	(0.721,0.432,0.542)
K ₆	(0.694,0.462,0.552)	(0.712,0.448,0.541)	(0.622,0.534,0.573)	(0.538,0.583,0.609)
K ₇	(0.301,0.770,0.563)	(0.338,0.743,0.578)	(0.661,0.490,0.569)	(0.605,0.533,0.591)
K ₈	(0.438,0.664,0.606)	(0.306,0.773,0.556)	(0.491,0.628,0.604)	(0.463,0.647,0.606)
K ₉	(0.733,0.423,0.533)	(0.721,0.432,0.542)	(0.366,0.734,0.572)	(0.366,0.715,0.596)
K ₁₀	(0.570,0.564,0.598)	(0.765,0.396,0.507)	(0.530,0.599,0.600)	(0.589,0.550,0.592)
K ₁₁	(0.680,0.471,0.562)	(0.547,0.578,0.606)	(0.380,0.722,0.579)	(0.404,0.684,0.607)
K ₁₂	(0.558,0.587,0.587)	(0.500,0.600,0.624)	(0.404,0.684,0.607)	(0.455,0.664,0.593)
K ₁₃	(0.638,0.514,0.573)	(0.461,0.641,0.614)	(0.438,0.664,0.606)	(0.358,0.733,0.578)
K ₁₄	(0.605,0.533,0.591)	(0.379,0.721,0.579)	(0.599,0.541,0.590)	(0.647,0.496,0.579)
K ₁₅	(0.721,0.432,0.542)	(0.607,0.543,0.580)	(0.592,0.545,0.594)	(0.564,0.582,0.586)
K ₁₆	(0.749,0.404,0.525)	(0.763,0.390,0.516)	(0.570,0.564,0.598)	(0.520,0.604,0.604)
K ₁₇	(0.607,0.522,0.599)	(0.654,0.499,0.569)	(0.491,0.628,0.604)	(0.500,0.588,0.636)
K ₁₈	(0.455,0.676,0.579)	(0.331,0.751,0.571)	(0.681,0.468,0.563)	(0.722,0.454,0.521)
K ₁₉	(0.481,0.646,0.592)	(0.263,0.791,0.552)	(0.547,0.578,0.606)	(0.599,0.541,0.590)
K ₂₀	(0.781,0.371,0.503)	(0.710,0.442,0.548)	(0.520,0.604,0.604)	(0.570,0.564,0.598)
K ₂₁	(0.631,0.509,0.585)	(0.721,0.432,0.542)	(0.556,0.581,0.594)	(0.527,0.612,0.590)
K ₂₂	(0.385,0.695,0.607)	(0.228,0.826,0.516)	(0.430,0.666,0.610)	(0.380,0.711,0.591)
K ₂₃	(0.327,0.738,0.590)	(0.402,0.698,0.593)	(0.622,0.520,0.585)	(0.570,0.567,0.595)
K ₂₄	(0.362,0.721,0.591)	(0.447,0.655,0.609)	(0.706,0.446,0.550)	(0.687,0.467,0.557)
K ₂₅	(0.263,0.812,0.520)	(0.347,0.728,0.591)	(0.447,0.655,0.609)	(0.333,0.761,0.558)
K ₂₆	(0.570,0.564,0.598)	(0.607,0.543,0.580)	(0.743,0.424,0.517)	(0.721,0.432,0.542)
K ₂₇	(0.694,0.462,0.552)	(0.712,0.448,0.541)	(0.622,0.534,0.573)	(0.538,0.583,0.609)
K ₂₈	(0.301,0.770,0.563)	(0.338,0.743,0.578)	(0.661,0.490,0.569)	(0.605,0.533,0.591)
K ₂₉	(0.438,0.664,0.606)	(0.306,0.773,0.556)	(0.491,0.628,0.604)	(0.463,0.647,0.606)
K ₃₀	(0.733,0.423,0.533)	(0.721,0.432,0.542)	(0.366,0.734,0.572)	(0.366,0.715,0.596)
K ₃₁	(0.570,0.564,0.598)	(0.765,0.396,0.507)	(0.530,0.599,0.600)	(0.589,0.550,0.592)
K ₃₂	(0.680,0.471,0.562)	(0.547,0.578,0.606)	(0.380,0.722,0.579)	(0.404,0.684,0.607)
K ₃₃	(0.558,0.587,0.587)	(0.500,0.600,0.624)	(0.404,0.684,0.607)	(0.455,0.664,0.593)
K ₃₄	(0.638,0.514,0.573)	(0.461,0.641,0.614)	(0.438,0.664,0.606)	(0.358,0.733,0.578)
K ₃₅	(0.605,0.533,0.591)	(0.379,0.721,0.579)	(0.599,0.541,0.590)	(0.647,0.496,0.579)
K ₃₆	(0.721,0.432,0.542)	(0.607,0.543,0.580)	(0.592,0.545,0.594)	(0.564,0.582,0.586)
K ₃₇	(0.749,0.404,0.525)	(0.763,0.390,0.516)	(0.570,0.564,0.598)	(0.520,0.604,0.604)
K ₃₈	(0.607,0.522,0.599)	(0.654,0.499,0.569)	(0.491,0.628,0.604)	(0.500,0.588,0.636)
K ₃₉	(0.455,0.676,0.579)	(0.331,0.751,0.571)	(0.681,0.468,0.563)	(0.722,0.454,0.521)
K ₄₀	(0.481,0.646,0.592)	(0.263,0.791,0.552)	(0.547,0.578,0.606)	(0.599,0.541,0.590)
K ₄₁	(0.781,0.371,0.503)	(0.710,0.442,0.548)	(0.520,0.604,0.604)	(0.570,0.564,0.598)

Tablo 7.8. Kriterlerin karar uzmanları tarafından verilen ağırlıklarının dilsel değerleri

	E1	E2	E3	Bulanık Pisagor Değeri	Net Değer (S*)
K ₁	Y	O	OD	(0.536,0.591,0.602)	0.4688
K ₂	D	OD	OY	(0.469,0.655,0.592)	0.3951
K ₃	OD	O	OY	(0.520,0.604,0.604)	0.4529
K ₄	OY	OD	D	(0.436,0.678,0.593)	0.3653
K ₅	Y	OD	OD	(0.502,0.632,0.591)	0.4265
K ₆	OY	OY	D	(0.528,0.611,0.590)	0.4928
K ₇	D	OY	OD	(0.488,0.642,0.592)	0.4133
K ₈	OD	OY	OY	(0.654,0.499,0.569)	0.5893
K ₉	O	OD	OY	(0.504,0.622,0.599)	0.4334
K ₁₀	OD	O	OY	(0.632,0.518,0.576)	0.5659
K ₁₁	OY	OD	OY	(0.530,0.610,0.589)	0.4546
K ₁₂	OD	OY	Y	(0.607,0.543,0.580)	0.5368
K ₁₃	OD	OY	OD	(0.502,0.631,0.591)	0.4268
K ₁₄	O	O	OY	(0.538,0.583,0.609)	0.4750
K ₁₅	D	OD	D	(0.347,0.728,0.591)	0.2952
K ₁₆	O	O	OD	(0.470,0.632,0.616)	0.4104
K ₁₇	ÇD	D	OD	(0.321,0.754,0.573)	0.2672
K ₁₈	OY	Y	Y	(0.680,0.471,0.562)	0.6200
K ₁₉	OD	O	Y	(0.570,0.564,0.598)	0.5032
K ₂₀	Y	O	OD	(0.478,0.634,0.608)	0.4129
K ₂₁	OY	OD	OY	(0.530,0.610,0.589)	0.4546
K ₂₂	OD	OY	Y	(0.607,0.543,0.580)	0.5368
K ₂₃	OD	OY	OD	(0.502,0.631,0.591)	0.4268
K ₂₄	O	O	OY	(0.538,0.583,0.609)	0.4750
K ₂₅	D	OD	D	(0.347,0.728,0.591)	0.2952
K ₂₆	O	O	OD	(0.470,0.632,0.616)	0.4104
K ₂₇	ÇD	D	OD	(0.321,0.754,0.573)	0.2672
K ₂₈	OY	Y	Y	(0.680,0.471,0.562)	0.6200
K ₂₉	OD	O	Y	(0.570,0.564,0.598)	0.5032
K ₃₀	Y	O	OD	(0.478,0.634,0.608)	0.4129
K ₃₁	Y	O	OD	(0.536,0.591,0.602)	0.4688
K ₃₂	D	OD	OY	(0.469,0.655,0.592)	0.3951
K ₃₃	OD	O	OY	(0.520,0.604,0.604)	0.4529
K ₃₄	OY	OD	D	(0.436,0.678,0.593)	0.3653
K ₃₅	Y	OD	OD	(0.502,0.632,0.591)	0.4265
K ₃₆	OY	OY	D	(0.528,0.611,0.590)	0.4928
K ₃₇	D	OY	OD	(0.488,0.642,0.592)	0.4133
K ₃₈	OD	OY	OY	(0.654,0.499,0.569)	0.5893
K ₃₉	O	OD	OY	(0.504,0.622,0.599)	0.4334
K ₄₀	OD	O	OY	(0.632,0.518,0.576)	0.5659
K ₄₁	OY	OD	OY	(0.530,0.610,0.589)	0.4546

Denklem 3.4, Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanarak karar uzmanları mevcut tüm özellikleri birinciden sonuncuya kadar sıralamıştır. Pisagor Bulanık SWARA'ya dayalı olarak en yüksek öneme sahip kritere birinci sıra verilirken, en az öneme sahip kritere son sırada yer verilerek düzenleme yapılmıştır. Karar uzmanları tarafından elde

edilen genel sıralamalar tahmin edilmiştir. Tüm kriterlerin ağırlıkları Tablo 7.9’da w_j olarak gösterilmiştir.

Tablo 7.9. Pisagor Bulanık SWARA yöntemi kullanılarak kriterlerin önem derecesinin belirlenmesi

	Net Değer	Kriterlerin Karşılaştırması (s_j)	Önem Katsayısı (k_j)	Ağırlıkların Hesabı (ρ_j)	Son Ağırlık (w_j)
K ₆	0.6118	-	1.0000	1.0000	0.0537
K ₈	0.5893	0.0307	1.0307	0.9702	0.0517
K ₁₀	0.5659	0.0234	1.0234	0.9480	0.0517
K ₃₂	0.5368	0.0291	1.0291	0.9212	0.0491
K ₇	0.5032	0.0336	1.0336	0.8913	0.0475
K ₁₆	0.4928	0.0104	1.0104	0.8821	0.0470
K ₂₂	0.4750	0.0178	1.0178	0.8667	0.0462
K ₁₀	0.4688	0.0062	1.0062	0.8614	0.0459
K ₂₁	0.4546	0.0142	1.0142	0.8493	0.0452
K ₂₂	0.4529	0.0017	1.0017	0.8479	0.0452
K ₁₅	0.4526	0.0003	1.0003	0.8476	0.0452
K ₁₉	0.4334	0.0008	1.0008	0.8469	0.0451
K ₁	0.4268	0.0066	1.0066	0.8413	0.0448
K ₁₄	0.4265	0.0003	1.0003	0.8408	0.0448
K ₁₇	0.4133	0.0132	1.0132	0.8298	0.0442
K ₅	0.4129	0.0004	1.0004	0.8295	0.0442
K ₄	0.4104	0.0025	1.0025	0.8274	0.0441
K ₁₁	0.3951	0.0153	1.0153	0.8149	0.0434
K ₉	0.3851	0.0100	1.0100	0.8068	0.0421
K ₁₃	0.3653	0.0198	1.0198	0.7911	0.0421
K ₃	0.3252	0.0701	1.0701	0.7393	0.0394
K ₂	0.3072	0.0280	1.0280	0.7192	0.0383
K ₄₀	0.2980	0.0135	1.0135	0.7098	0.0377
K ₃₁	0.2888	0.0108	1.0108	0.6994	0.0371
K ₃₃	0.2651	0.0687	1.0687	0.6979	0.0369
K ₄₁	0.2607	0.0254	1.0254	0.6881	0.0362
K ₂₄	0.2602	0.0173	1.0173	0.6874	0.0359
K ₂₇	0.2598	0.0021	1.0021	0.6794	0.0355
K ₂₅	0.2588	0.0045	1.0045	0.6759	0.0350
K ₂₆	0.2565	0.0132	1.0132	0.6728	0.0341
K ₂₉	0.2458	0.0068	1.0068	0.6697	0.0338
K ₂₈	0.2433	0.0165	1.0165	0.6687	0.0332
K ₁₈	0.2428	0.0008	1.0008	0.6668	0.0324
K ₂₀	0.2389	0.0681	1.0681	0.6460	0.0317
K ₂₃	0.2261	0.0004	1.0004	0.6263	0.0304
K ₃₆	0.2244	0.0018	1.0018	0.6233	0.0298
K ₃₇	0.2217	0.0104	1.0104	0.6219	0.0292
K ₁₂	0.2205	0.0278	1.0278	0.6196	0.0280
K ₂₈	0.2194	0.0188	1.0188	0.6189	0.0274
K ₃₀	0.2154	0.0130	1.0130	0.6160	0.0268
K ₄₁	0.2133	0.0098	1.0098	0.6143	0.0257

Denklem 6.10, Denklem 3.11, Denklem 3.12 ve Denklem 3.13'ün kullanımı ile Entegre Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yönteminin sonuçları tahmin edilmiştir ve Tablo 7.10'da gösterilmiştir.



Tablo 7.10. Alternatiflerin genel sıralamasının yapılması

Alternatifler	$C_i^{(1)}$	$C_i^{(2)}$	$S^*(C_i^{(1)})$	$S^*(C_i^{(2)})$	$Q_i^{(1)}$	$Q_i^{(2)}$	$Q_i^{(3)}$	Q_i	Sıralama
A_1	(0.612,0.519,0.585)	(0.568,0.545,0.588)	0.555	0.522	0.2617	2.1662	1.0000	1.9733	1
A_2	(0.601,0.512,0.576)	(0.512,0.596,0.601)	0.548	0.484	0.2478	2.0685	0.9512	1.8667	2
A_3	(0.564,0.542,0.587)	(0.544,0.573,0.589)	0.512	0.479	0.2439	2.0355	0.9340	1.8340	4
A_4	(0.584,0.540,0.544)	(0.542,0.567,0.602)	0.528	0.481	0.2470	2.0678	0.9488	1.8660	3

Uzlaşma indeksi Q_i değerine göre elde edilen sonuçlara göre sıralama $A_1 > A_2 > A_4 > A_3$ şeklinde olmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda en iyi seçeneğin geliştirilen Kalite 4.0 Modeli (A_1) olduğu görülmüştür. Uygulamanın yapıldığı işletmenin kullandığı yazılım (A_2) ikinci sırada yer almıştır.



8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Toplam Kalite Yönetimi felsefesinde süreç yönetimi önemli bir yere sahiptir. Süreç yönetimi, işletmelerin performansını iyileştirmek için süreçlerin temelini oluşturan ve yöneten bir disiplindir. Endüstri 4.0 uygulamaları iş dünyasında giderek daha fazla kullanılırken, kalite yönetimi ve süreç yönetiminin dijitalleşmenin dışında kalması mümkün değildir. Endüstri 4.0'da kalite kavramı, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımını artırmak için tüm iş süreçlerini kalite açısından dijitalleştirmeyi amaçlamaktadır. Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılarak oluşturulan kalite yönetiminde, işletmelerde kullanılan teknolojinin kalitesi ve başta süreçler olmak üzere işgücünün kalitesi izlenebilmektedir. Böylece tüm süreçlerin kalitesinin izlenebilirliğini, kontrolünü, sürdürülebilirliğini sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, yapılan sınıflandırma çalışması ile Endüstri 4.0 teknolojileri ile kalitenin ilişkisi incelenmiştir. Bunun için öncelikle anahtar kelimeler belirlenmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin (Nesnelerin İnterneti (Nİ), bulut bilişim teknolojisi (B), yapay zeka (YZ), büyük veri (BV) ve 3D yazıcı (3DY)) ve “kalite” kelimesinin kullanıldığı çalışmalar birlikte incelenmiştir. Sonrasında Endüstri 4.0 teknolojileri ile kalite maliyetleri, kalite kontrol, kalite performansı ve kalite yönetiminin birlikte kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Çalışmada izlenebilirlik, kontrol edilebilirlik, sürdürülebilirlik ve Endüstri 4.0 teknolojileri de birlikte incelenmiştir. Sınıflandırmanın son aşamasında Endüstri 4.0 teknolojileri ile birlikte süreç, teknoloji, insan ve ekonominin kalitesi incelenmiştir.

Bu sınıflandırma çalışmasında Endüstri 4.0 ve kalite konularının birlikte incelendiği yayınlar bulunmaktadır. Ancak Endüstri 4.0'da kaliteyi incelerken de görülebileceği gibi, hiçbir çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerini tüm kurumların süreçlerinde, kullanılan tüm teknolojilerde ve istihdam edilen tüm işgücünde kalite izleme, kontrol ve sürdürülebilirliği sağlamak için kullanılmamıştır. Literatürde Endüstri 4.0'da kalitenin önemini araştıran sadece birkaç çalışma vardır. Dolayısıyla bu sınıflandırma çalışması Endüstri 4.0'da kaliteyi ön plana çıkaran çalışmalara olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışmasında ayrıca; bir işletmedeki tüm süreçlerin, süreçlerde kullanılan teknolojinin, süreçlerdeki çalışanların kalitesinin izlenebilirliğini, kontrol edilebilirliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamak için geliştirilen Kalite 4.0 modeli yer almaktadır. Model, Endüstri 4.0 teknolojilerinden yararlanılarak işletmelerin tüm iş fonksiyonlarında (imalat, tedarik, planlama, satış&pazarlama, ar-ge, personel yönetimi) kullanılabilmektedir. Önerilen Kalite 4.0 modelinin işletme uygulaması, depo yönetim sistemi için BZ teknolojisi desteği ile yapılmıştır.

Sac metal & profil alım-satımı yapan işletmenin hali hazırda kullandığı depo yönetim sisteminde depodaki ürünlerin takibi yapılmaktadır. Süreçlerin-teknolojinin-çalışanların kalitesinin ölçülmesi için yeterli olmamaktadır. BZ tabanlı olarak geliştirilen Kalite 4.0 modeli ile depo yönetim sistemindeki tüm alt süreçlerin kalitesi, süreçlerde kullanılan teknolojinin kalitesi, süreçlerdeki çalışanların kalitesi işletmenin ekonomi kısıtına göre izlenebilecek ve kontrol edilebilecektir. Kalitenin sürdürülebilirliğinin sağlanması için yapılması gerekenler bilinecektir.

BZ ile birlikte sistemde kriptografik bir yapı oluşturularak, tüm sistem bileşenleri birbirlerine bağlanarak, güvenli bilgi akışı sağlanmıştır. Zincir yapı sayesinde, ürün bilgileri anlık olarak görülebilmektedir. Sistemdeki sertifikalandırma sayesinde, veri/bilgi güvenliği mevcut sisteme göre çok daha fazla artırılmıştır. Yetkilendirilmeyen hiç kimse sistemi görüntüleyememekte ya da değişiklik yapamamaktadır.

Geliştirilen modelin, uygulamanın yapıldığı firmanın kullanıldığı yöntem ile kıyaslaması yapılmıştır. Kıyaslama yapılırken öncelikle firmada bu alanda çalışan yetkili kişiler ve yöneticilerle kapsamlı bir değerlendirme yapılarak bu kıyaslama tablolar halinde sunulmuştur. Firma yetkililerinin görüşlerine göre geliştirilen modelin depo takibinde kullanılması halinde, daha kapsamlı bir şekilde depo takibinin yapılabileceği görülmüştür.

Sonrasında depo yönetim sistemin kullanılan başka yöntemlerle de kıyaslama yapılabilmesi için bir çok kriterli değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Depo yönetimi alanında Türkiye’de üst düzey firmalarda çalışan, alanında yetkin üç yönetici ile bir değerlendirme yapılmıştır. İkili görüşmeler neticesinde yapılan değerlendirme için, etkin bir değerlendirme yöntemi olan Pisagor Bulanık SWARA ve CoCoSo yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle, üç karar uzmanının belirlediği 41 kriter

çerçevesinde, Geliştirilen Kalite 4.0 modeli ve üç farklı yöntemin değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde geliştirilen Kalite 4.0 modelinin en iyi alternatif olduğu görülmüştür.

- Gelecek Çalışmalar

Geliştirilen model birçok farklı alanda uygulanabilecek bir modeldir. Modelde de belirtildiği gibi tedarik, satış & pazarlama, AR-GE, imalat, planlama ve personel yönetimi bu modelin kapsamı içindedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin de kullanılmasıyla birlikte geliştirilen Kalite 4.0 modeli bu departmanlara uygulanabilecektir. Bu tez çalışmasında depo yönetim sistemi için bir uygulama yapılmıştır. Sonraki çalışmalarda ilk olarak AR-GE alanında bir uygulama yapılması planlanmaktadır. Daha sonra Endüstri 4.0 teknolojilerinden de yararlanılarak, diğer alanlarda da modelin uygulaması gerçekleştirilebilecektir.



KAYNAKLAR

- Agrawal, T K, Kumar, V, Pal, R, Wang, L, Chen, Y (2021). Blockchain-based framework for supply chain traceability: a case example of textile and clothing industry. *Computers & Industrial Engineering* 154.
- Ahmed, M B, Sanin, C, Szczerbicki, E (2019). Smart virtual product development (SVPD) to enhance product manufacturing in industry 4.0. *Procedia Computer Science*. 159, 2232-2239.
- Akgül, Y (2021). Borsa İstanbul'da işlem gören ticari bankaların finansal performansının bütünsel CRITIC CoCoSo modeliyle analizi. *Journal of Economics and Financial Resarches*. 3(2), 71-90.
- Aktaş, F, Çeken, C, Erdemli, Y E (2016). Nesnelerin interneti teknolojisinin biyomedikal alanındaki uygulamaları. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 4(1).
- Albers, A, Gladysz, B, Pinner, T, Butenko, V, Stürmlinger, T (2016). Procedure for defining the system of objectives in the initial phase of an industry 4.0 project focusing on intelligent quality control systems. *Procedia CIRP*. 52, 262-267.
- Alcacer, V, Cruz-Machado, V (2019). Scanning the industry 4.0: a literature review on Technologies for manufacturing systems. *Engineering Science and Technology, An International Journal*. 22(3), 899-919.
- Angelepoulou, A, Mykoniatis, K, Boyapati, N R (2020). Industry 4.0: the use of simulation for human reliability assessment. *Procedia Manufacturing*. 42, 296-301.
- Ardito, L, Petruzelli, A M, Panniello, U, Garavelli, A C (2019). Mapping digital Technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*. 25(2), 323-346.
- Aytac Adalı, E, Tus Isık, A (2017). Bir tedarikçi problemi için SWARA ve WASPAS yöntemlerine dayanan karar verme yaklaşımı. *International Review of Economic and Management*. 5(4), 56-77.
- ASQ (2018). Industry and quality 4.0: Bringing them together. *Quality Magazine*. <https://www.qualitymag.com/articles/95011-industry-and-quality-40-bringing-them-together>.
- Azuma, R T (1997). A survey of augmented reality. *Teleoperators and Virtual Environments*. 6(4), 355-385. 85.
- Backhaus, S K H B, Nadarajah, D (2019). Investigating the relationship between industry 4.0. and productivity: a conceptual framework for Malaysian manufacturing firms. *Procedia Computer Science*. 161,696-706.
- Badach, J, Voordeckers, D, Nyka, L, Van Acker, M (2020). A framework for air quality management zones – useful GIS-based tool for urban planning: case studies in Antwerp and Gdansk. *Building and Environment*. 174.

- Bader, S, Barth, T, Krohn, P, Ruchser, R, Storch, L, Wagner, L, Findeisen, S, Pokorni, B, Braun, A, Ohlhausen, P, Daniel, P (2019). Agile shopfloor organization design for industry 4.0 manufacturing. *Procedia Manufacturing*. 39,756-764.
- Badri, A, Boudreau-Trudel, B, Souissi, A S (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: a cause for major concern. *Safety Science*. 109, 403-411
- Baheti, R, Gill, H (2011). Cyber-physical systems. *The Impact of Control Technology*. 12, 161-166.
- Bai, C, Dallasega, P, Orzes, G, Sarkis, J (2020). Industry 4.0 technologies assessment: a sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*. 229.
- Bao, Y. F (2016). Analysis of the learning evaluation of distance education based on the internet of things. *World Transactions on Engineering and Technology Education*. 14(1), 168-172.
- Balian, S, McGovern, S, Abella, B S, Blewer, A L, Leary, M (2019). Feasibility of an augmented reality cardiopulmonary resuscitation training system for health care providers. *Heliyon*.
- Baran, E., Korkusuz Polat, T (2022). Classification of industry 4.0 for total quality management: A review. 14(6), 3329.
- Barnatt, C (2013). 3D printing: The Next Industrial Revolution. ABD: Create Space Independent Publishing Platform. 11120.
- Barnett, S (1975). Introduction to mathematical control theory. Clarendon Press, Oxford.
- Barreto, L, Amaral, A, Pereira, T (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*. 13, 1245-1252.
- Bashan, A, Kordova, S (2021). Globalization, quality and systems thinking: integrating global quality management and a systems view. *Heliyon*. 7(2).
- Bastas, A, Liyanage, K (2018). Sustainable supply chain management: a systematic review. *Journal of Cleaner Production*. 181, 726-744.
- Battini, D, Faccio, M, Persona, A, Sgarbosa, F (2012). Design of an integrated quality assurance strategy in production systems. *International Journal of Production Research*. 50, 1682-1701.
- Beck, R, Czepluch, J S, Lollike, N, Malone, S (2016). Blockchain-the gateway to trust-free cryptographic transactions. *European Conference on Information Systems*. 153.
- Benesova, A, Tupa, J (2017). Requirements for education and qualification of people in industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11, 2195-2202.
- Benesova, A, Hirman, M, Steiner, F, Tupa, J (2019). Determination of changes in process management within Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 38, 1691-1696.
- Bergsma, J, Zalm, M, Pruyn, J (2016). 3D-printing and the maritime construction sector. *Conference Paper: Hiper, At Cortona, Italy*. 10.
- Bibby, L, Dehe, B (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. *Production Planning & Control*. 29(12), 1030-1043.

- Boateng-Okrah, E, Fening, F A (2012). TQM implementation: a case of a mining company in Ghana. *Benchmarking An International Journal*. 19(6).
- Bolatan, G I , Gozlu, S , Alpkhan, L, Zaim, S (2016). The impact of technology transfer performance on total quality management and quality performance. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 235, 746-755.
- Bowers, K., Pickerel, T.V. (2019). Vox Pouli 4.0: Big data tools zoom in on the voice of the customer. *Quality Progress*. 32-39.
- Brettel, M, Friederichsen, N, Keller, M, Rosenberg, M (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an industry 4.0 perspective. *Int. J. Sci. Eng. Technol*. 8, 37-44.
- Bryndin, E (2018). Directions of development of industry 4.0, digital technology and social economy. *American Journal of Information Science and Technology*, 2(1), 9-17.
- Budianto, A (2019). Customer loyalty: quality of service. *Journal of Management Review*. 3(1), 299-305.
- Büchi, G, Cugno, M, Castagnoli, R (2020). Smart factory performance and industry 4.0. *Technological Forecasting & Social Change*. 150, 119790.
- Carpenter, S R, Booth, E G , Gillion, S (2015). Plausible futures of a social-ecological system: Yahara watershed. Wisconsin, USA, *Ecology and Society*.
- Carvalho, A.V., Enrique, D.V., Chouchene, A., Charrua-Santos, F. (2021). Quality 4.0: An overview. *Procedia Computer Science*. 181, 341-346.
- Castillo-Villar, K K, Smith, N R, Simonton, J L (2012). A model for supply chain design considering the cost of quality. *Applied Mathematical Modelling*. 36, 5920-5935.
- Centea, D, Singh, I, Wanyama, T, Magolon, M, Boer, J, Elbestawi, M (2020). Using the SEPT learning factory for the implementation of industry 4.0: case of SMEs. *Procedia Manufacturing*. 45, 102-107.
- Chandra, S, Ray, S, Goswami, R T (2017). Big data security: survey on frameworks and algorithms. *IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, Hyderabad, India. 48-54.
- Chen, G, Xu, B, Lu, M, Chen, N (2018). Exploring blockchain technology and its potential applications for education. *Smart Learning Environments*. 5(1).
- Chi, H, Kang, S, Wang, X (2013). Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering and construction. *Computer Science-Automation in Construction*.
- Christou, I.T., Kefalakis, Soldatos, J.K., Despotopoulou, A.-M. (2022). End-to-end industrial IoT platform for Quality 4.0 applications. *Computers in Industry*. 137, 103591.
- Cobo, M J, Jürgens, B, Herrero-Solana, V, Martinez, M A, Herrera-Viedma, E (2018). Industry 4.0: a perspective based on bibliometric analysis. *Procedia Computer Science*. 139, 364-371.
- Cole, C, Spiryagin, M, Wu, Q, Sun, Y Q (2017). Modelling simulation and applications of longitudinal train dynamics. *Vehicle System Dynamics*. 55(10).

- Cottyn, J, Landeghem, H V, Stockman, K, Derammelaere, S (2011). A method to align a manufacturing execution system with lean objectives. *International Journal of Production Research*. 49(14), 4397-4413.
- Coudhary, V, Mishra, A (2021). Analyzing the critical success enablers of industry 4.0 using hybrid-fuzzy AHP-CoCoSo method. *Journal of Industrial Integration*. 6(22), 1-22.
- Cross, T (2018). Human obsolescence, science and technology. *The World in 2018, The Economist*.
- Culot, G, Nassimbeni, G, Orzes, G, Sartor, M (2020). Behind the definition of industry 4.0: analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*. 226, 107617.
- Çakır, E (2017). Kriter ağırlıklarının SWARA-Copeland yöntemi ile belirlenmesi: bir üretilişletmesinde uygulama. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 4(1), 42-56.
- Çalış, N., Sakarya, Ş (2022). Covid-19 döneminde ve öncesinde firmaların finansal performanslarının CRITIC Temelli CoCoSo yöntemi ile analizi; BİST otomotiv sektörü üzerine bir uygulama. *Bingol University Journal of Economics and Administrative Sciences*. 6(2), 287-322.
- Dan Jacob. (n.d.) (2020). Quality 4.0 impact and strategy handbook. <https://Insresearchh.com/research-library/research-articles/-ebook-quality-4.0-impact-and-strategy-handbook>.
- Daoutidis, P, Zachar, M, Jogwar, S S (2016). Sustainability and process control: a survey and perspective. *Chemical Engineering and Material Science*. 184-206, 44.
- Demir, G (2021). Orta Doğu ve Avrupa ülkelerinin finansal performanslarının bulanık DEMATEL ve CoCoSo yöntemleri ile değerlendirilmesi. *XXI. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu*. 8-10 Eylül, 1, 303-324.
- Derse, O., Yontar, E (2020). SWARA-TOPSIS yöntemi ile en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesi. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*. Eylül-Aralık, 2020-3.
- Diebold, W F (2000). Big data dynamic factor models for macroeconomic measurement and forecasting, *advances in economics and econometrics*. Eight World Congress of the Econometric Society, Cambridge University Press. 115-122.
- Dilberoglu, U M, Gharehpapagh, B, Yaman, U, Dolen, M (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11, 545-554.
- Ducas, E, Wilner, A (2017). The security and financial implications of blockchain technologies: regulating emerging technologies in Canada. *International Journal*. 72(4), 538-562.
- Ebrahimi, M, Baboli, A, Rother, E (2019). The evolution of World class manufacturing toward industry 4.0: a case study in the automotive industry. *IFAC-PapersOnLine*. 52, 188-194.
- Echchakoul, S, Barka, N (2020). Industry 4.0 and its impact in plastic industry: a literature review. *Journal of Industrial Information Integration*. 20, 100172.

- Enyoghasi, C, Badurdeen, F (2021). Industry 4.0 for sustainable manufacturing: Opportunities at the product, process, and system levels. *Resources, Conservation and Recycling*. 166.
- Ersoy, N (2022). CoCoSo yöntemi için normalizasyon prosedürleri: farklı senaryolar altında karşılaştırmalı bir analiz. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*. 22(2), 217-234.
- Escobar, C.A., Chakraborty, D., McGovern, M., Macias, D., Morales-Menendez, R. (2021). Quality 4.0-Green, black and master black belt curricula. *Procedia Manufacturing*. 53, 748-759.
- Faller, C, Feldmüller, D (2015). Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. *Procedia CIRP*. 32, 88-91.
- Fatorachian, H, Kazemi, H (2018). A critical investigation of industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*. 29(8), 633-644.
- Feigenbaum, A (1991). *Total quality control*. McGraw-Hill.
- Frank, A G, Dalenogare, L S, Ayala, N F (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*. 210, 15-26.
- Fox, B, Subic, A (2019). An industry 4.0 approach to the 3D printing of composite materials. *Engineering*. 5(4), 621-623.
- Fox, B (2012). *Cloud computing a game changer for EU economy*. Kroes Saays.
- Gabaçlı, N, Uzunöz, M (2017). IV. sanayi devrimi: endüstri 4.0 ve otomotiv sektörü. 3rd International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS), 09-11 November.
- Gadre, M., Deoskar, A (2020). Industry 4.0-digital transformation, challenges and benefits. *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, 13(2), 139-149.
- Gahi, Y, Guennoun, M, Mouftah, H T (2016). Big data analytics: security and privacy challenges. *IEEE Symposium on Computers and Communication*, Messina, Italy. 952-957.
- Gallo, T, Santolamazza, A (2021). Industry 4.0 and human factor: how is technology changing the role of the maintenance operator?. *Procedia Computer Science*. 180, 388-393.
- Gattulo, M, Scurati, G W, Fiorentino, M, Uva, A E, Ferrise, F, Bordegoni, M (2019). Towards augmented reality manuals for industry 4.0: a methodology. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 56, 276- 286.
- Gençkaya, Ö., Gündoğdu, H.G., Aytakin, A (2021). Evaluation of metropolitan municipalities web sites in terms of governance principles. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 16(3), 705-726.
- Giannatsis, J, Dedoussis, V (2009). Additive fabrication technologies applied to medicine and health care: a review. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*. 40, 116-127.
- Ginters, E, Gutierrez, J M (2013). Low cost augmented reality and RFID application for logistics items visualization. *Procedia Computer Science*. 26, 3-13.

- Gligor, D M , Holcomb, M C (2012). Antecedents and consequences of supply chain agility: establishing the link to firm performance. *Journal of Business Logistics*. 33(4), 295-308.
- Goes, P B (2014). Big data and IS research. *MIS Quarterly*. 38(3), iii-viii.
- Erl, T, Wajid, K, Paul, B (2016). *Big data fundamentals, concepts, drivers & techniques*. Indiana: Arcitura Education Inc.
- Goodburn, M A, Hill, S (2010). The cloud transforms business. *Financial Executive*. 26(10), 34-39.
- Görçün, Ö.F., Küçükönder, H (2022). BWM ve CoCoSo yöntemleri ile kentlerin ulaşım performanslarının karşılaştırmalı analizi. *İdealkent*. 13(36), 824-856.
- Görener, A., Alişarlı, E (2021). SWARA metodu ile kriter önceliklendirme: tedarikçi performansının değerlendirilmesi. *Working Paper Series Dergisi*. 2(2), Haziran.
- Grassi, A, Guizzi, G, Santillo, L C, Vespoli, S (2020). A semi-heterarchical production control architecture for industry 4.0 – based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*. 24, 43-46.
- Gubbi, J, Buyya, R, Marusic, S, Palaniswami, M (2013). Internet of things: a vision, architectural elements and future directions. *Future Generation Computer Systems*. 29(7), 1645-1660.
- Gupta, R A, Chow, M Y (2010). Networked control system: overview and research trends. *IEEE Trans. Ind. Electron*. 57(7), 2527-2535.
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R.P., Suman, R. (2021). Quality 4.0 technologies to enhance traditional Chinese medicine for overcoming healthcare challenges during COVID-19. *Digital Chinese Medicine*. 4, 71-80.
- Hamzeh, R, Zhong, R, Xu, X W (2018). A survey study on industry 4.0 for New Zealand manufacturing. *Procedia Manufacturing*. 26, 49-57.
- Hidayatno, A, Destyanto, A R, Hulu, C A (2019). Industry 4.0 technology implementation impact industrial sustainable energy in Indonesia: a model conceptualization. *Energy Proedia*. 156, 227-233.
- Huang, S, Tanioka, T, Locsin, R, Parker, M, Marsoy, O (2011). Functions of a caring robot in nursing. *Seventh International Conference on Natural Language Processing and Knowledge Engineering*.
- Iwaniec, D M, Wiek, A (2014). Advancing sustainability visioning practice in planning – The general plan update in Phoenix, Arizona. *Planning Practice and Research*. 29(5), 543-568.
- Iwaniec, D M, Cook, E M, Davidson, M J, Berbes-Blazquez, M, Georgescu, M, Krayenhoff, E S, Middel, A, Sampson, D A, Grimm, N B (2020). The co-production of sustainable future scenarios. *Landscape and Urban Planning*. 197.
- Iyer, A (2018). Moving from industry 2.0 to industry 4.0: a case study from India on leapfrogging in smart manufacturing. *Procedia Manufacturing*. 21, 663-670.
- Jagadish, H V, Gehrke, J, Labrinidis, A, Papakonstantinou, Y, Patel, J, Ramakrishnan, J M R, Shahabi, C (2014). Big data and its technical challenges. *Communications of the ACM*. 57(7), 86-94.

- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Suman, R. (2021). Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. *Sensors International*. 2, 100109.
- Javied, T, Huprich, S, Franke, J (2019). Cloud based energy management system compatible with the industry 4.0 requirements. *IFAC-PapersOnLine*. 52, 171-175.
- Juran, J, Godfrey, A B (1999). *Quality Handbook*. McGraw-Hill.
- Kabugo, J C, Jamsa-Jounela, S L, Schiemann, R, Binder, C (2020). Industry 4.0. based process data analytics platform: a waste-to-energy plant case study. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 115.
- Kadir, B A, Broberg, O (2020). Human well-being and system performance in the transition to industry 4.0. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 76.
- Karre, H, Hammer, M, Kleindienst, M, Ramsauer, C (2017). Transition towards an industry 4.0 state of the lean lab at Graz university of technology. *Procedia Manufacturing*. 9, 206-213.
- Kauffman, R, Douglas, Z (1993). *Quality management plus. The Continuous Improvement of Education Press*.
- Kneissl, W (2013). 3D printing 2014-2025: Technologies, markets, players. *ABD: ID Tech Ex*, 4.
- Kolla, S. Minufekr, M, Plapper, P (2019). Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs. *Procedia CIRP*. 81, 753-758.
- Kopetz, H (2011). Internet of things. In *Real-Time Systems*. 307-323, Springer US.
- Kshetri, N (2017). Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy. *Telecommunications Policy*. 41(10), 1027-1038.
- Ku, C, Chien, C, Ma, K (2020). Digital transformation to empower smart production for industry 3.5 and an empirical study for textile dyeing. *Computers & Industrial Engineering*. 142.
- Kuo, T T, Kim, H E, Ohno-Machado, L (2017). Blockchain distributed ledger Technologies for biomedical and healthcare applications. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 24(6), 1211-1220.
- Landriscina, F (2013). *Simulation and learning a model-centered approach*. Springer-Verlag New York.
- Landherr, M, Schneider, U, Bauernhansl, T (2016). The application center Industrie 4.0 – industry-driven manufacturing, research and development. *Procedia CIRP*. 57, 26-31.
- Lee, G M, Crespi, N, Choi, J K, Boussard, M (2013). Internet of things. In *Evolution of Telecommunication Services*, 257-282, Springer Berlin Heidelberg.
- Lee, J T, Huang, S, Dovek, M (2011). PMR with improved writability and process controllability by double layer patterning. *United States Patent, US 8,027,125 B2*.
- Li, G, Hou, Y, Wu, A (2017). Fourth industrial revolution: technological drivers, impacts and coping methods. *Chin. Geogr. Sci*. 27, 626-637.

- Li, D, Landström, A, Fast-Berglund, A, Almström, P (2019). Human-centred dissemination of data, information and knowledge in industry 4.0. *Procedia CIRP*. 84, 380-386.
- Lodgaard, E, Dransfeld, S (2020). Organizational aspects for successful integration of human-machine interaction in the industry 4.0 era. *Procedia CIRP*. 88, 218-222.
- Longo, F, Nicoletti, L, Padovano, A (2017). Smart operators in industry 4.0: a human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*. 113, 144-159.
- Lototsky, V, Sabitov, R, Smirnova, G, Sirazetdinov, B, Elizarova, N, Sabitov, S (2019). Model of the automated warehouse management and forecasting system in the conditions of transition to industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*. 52(13), 78-82.
- Lu, X (2010). An approach to service and cloud computing techniques in GIS. *Geoscience and Remote Sensing (IITA-GRS)*. 1, 492-495.
- Luque, A, Peralta, M E, Heras, A D L, Cordoba, A (2017). State of the industry 4.0 in the Andalusian food sector. *Procedia Manufacturing*. 13, 1199-1205.
- Madenoglu, F.S (2019). SWARA-TOPSIS yöntemi kullanarak tedarikçi seçimi: bir üretim işletmesinde uygulama. *Uluslararası İşletmecilik Kongresi*. 02-04 Mayıs, 2233-2239.
- Mardani, A, Nilashi, M, Zakuan, N, Loganathan, N, Soheilrad, S, Muhamad Zamari Mat Saman, M Z, Ibrahim, O (2017). A systematic review and meta-analysis of SWARA and WASPAS methods: theory and applications with recent fuzzy developments. *Applied Soft Studies (IJIRAS)*. 4(2), 59-63.
- Mariani, M, Borghi, M (2019). Industry 4.0: a bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries. *Technological Forecasting & Social Change*. 149, 119752.
- Masood, T, Sonntag, P (2020). Industry 4.0: adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*. 121, 103261.
- McAdam, R, Miller, K, McSorley, C (2019). Towards a contingency theory perspective of quality management in enabling strategic alignment. *Int. J. Production Economics*. 207, 195-209.
- Mehami, J, Nawi, M, Zhong, R Y (2018). Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 26, 1077-1086.
- Mauro, A D, Greco, M, Grimaldi, M (2016). A formal definition of big data based on its essential features. *Library review*. 65(3), 22-135.
- Meyer, T, Kuhn, M, Hartmann, E (2019). Blockchain technology enabling the physical internet: a synergetic application framework. *Computers & Industrial Engineering*. 136, 5-17.
- Miorandi, D, Sicari, S, Pellegrini, F D, Chlamtac, I (2012). Internet of things: vision, applications and research challenges. *Journal of Ad Hoc Networks*. 10, 1497-1516.

- Miragliotta, G, Sianesi, A, Convertini, E, Distante, R (2018). Data driven management in industry 4.0: method to measure data productivity. IFAC- PapersOnLine. 51(11), 19-24.
- Mladen, A V (2008). Cloud computing-issues, research and implementations. Journal of Computing and Information Technology.
- Moica, S, Radulescu, E (2014). Statistical controls have a significant influence on non quality costs. Cases study in a company those manufacturing aluminum castings components. Procedia Technology. 12, 489-493.
- Motyl, B, Baronio, G (2017). How will change the future engineers' skills in the industry 4.0 framework? A questionnaire survey. Procedia Manufacturing. 11, 1501-1509.
- Muhuri, P K, Shukla, A K, Abraham, A (2019). Industry 4.0: a bibliometric analysis and detailed overview. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 78, 218-235.
- Müller, J M, Buliga, O, Voigt, K I (2020). The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business models – a comparison between SMEs and large enterprises. European Management Journal.
- Müller, J M (2019). Contributions of industry 4.0 to quality management – a SCOR perspective. IFAC Papers On Line. 52(13), 1236-1241.
- Nakamoto, S (2017). Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system.
- Olla P (2015). Opening Pandora's 3D printed box. Technology and Society Magazine. 34(3), 74-80.
- Neumann, W P, Winkelhaus, S, Groose, E H, Glock, C H (2021). Industry 4.0 and the human factor – a systems framework and analysis methodology for successful development. International Journal of Production Economics. 233.
- Osman, C C, Ghiran, A M (2019). When industry 4.0 meets process mining. Procedia Computer Science. 159, 2130-2136.
- Othman, I, Ghani, S N M, Choon, S W (2020). The total quality management (TQM) journey of Malaysian building contractors. Ain Shams Engineering Journal. 11, 697-704.
- Özdağ, A., Işıldak, B, Keleş, M.K (2022). MEREC tabanlı CoCoSo yöntemiyle uçuş okullarının uçak seçimlerinin değerlendirilmesi. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi. 13(2), 708-719.
- Özsoylu, A F (2017). Endüstri 4.0. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 21(1), 41-64.
- Öztemel, E, Gursev, S (2018). Literature review of industry 4.0 and related Technologies. Journal of Intelligent Manufacturing. 31, 127-182.
- Öztürk, V, Arar, Ö F, Rende, F Ş, Öztemel, E, Sezer, S (2017). Validation of railway vehicle dynamic models in training simulators. Vehicle System Dynamics, 55.
- Pandey, S (2010). Cloud computing technology & GIS applications. The 8th Asian Symposium on Geographic Information Systems From Computer & Engineering View (ASGIS 2010), ChongQing, China.

- Papetti, A, Marconi, M, Rossi, M, Germani, M (2019). Web-based platform for eco-sustainable supply chain management. *Sustainable Production and Consumption*. 17, 215-228.
- Pereira, T, Barreto, L, Amaral, A (2017). Network and information security challenges within industry 4.0 paradigm. *Procedia Manufacturing*. 13, 1253-1260.
- Perez, S A M, Olvera, R, Garcia, C C, Soler, A F I, Flores De La, M (2020). Internet of things and industry 4.0 applied in the delivery system for the bicipuma bike-sharing sytem in UNAM-Mexico. *Procedia Manufacturing*. 42, 434-441.
- Philips, B P, Gomez-Navarro, N, Miller, E A (2020). Protein quality control in the endoplasmic reticulum. *Current Opinion in Cell Biology*. 65, 96-102.
- Piccarozzi, M, Aquilani, B, Gatti, C (2018). Industry 4.0 in management tudies: a systematic literature review. *Sustainability*. 10(10), 3821.
- Piriştine, B (2019). Bulanık SWARA yöntemi ile işletmelerin kurumsallık düzeyinin belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*.
- Pisa, M, Juden, M (2017). Blockchain and economic development: hype vs. reality. *Center For Global Development*. 107, 5-7.
- Quan, Y., Park, S (2017). Review on the application of industry 4.0 digital twin technology to the quality management. *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 45(4), 601-610.
- Radziwon, A, Bilberg, A, Bogers, M, Madsen, E S (2014). The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*. 69, 1184-1190.
- Rafael, L D, Jaione, G E, Christina, L, Ibon, S L (2020). An industry 4.0 maturity model for machine tool companies. *Technological Forecasting & Social Change*. 159, 120203.
- Ramesh, B (2002). Process knowledge management with traceability. *IEEE Software*. 19(3), 50-52.
- Rao, A R, Clarke, D (2020). Perspective on emerging directions in using IoT devices in blockchain applications. *Internet of Things*. 10.
- Risius, M, Spohrer, K (2017). A blockchain research framework. *Business & Information Systems Engineering*, 1-25.
- Rubistein, I S (2013). Big data: the end of privacy or a new beginning?. *International Data Privacy*. 3(2), 4- 86.
- Saab, N, Helms, R, Zoet, M (2018). Predictive quality performance control in BPM: proposing a framework for predicting quality anomalies. *Procedia Computer Science*. 138, 714-723.
- Santos, C, Mehra, A, Barros, A C, Araujo, M, Ares, E (2017). Towards industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia Manufacturing*. 13, 972-979.
- Scheimer, R, Edwards, R, Notes, A (2011). Quality control and preprocessing of metagenomic datasets. *Bioinformatics*. 27(6), 863-864.

- Schumacher, A, Erol, S, Sihn, W (2016). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*. (52), 161-166.
- Schwab, K (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum: Geneva, Switzerland.
- Shao, Y, Di, L, Gong, J, Bai, Y, Zhao, P (2011). GIS in the cloud: implementing a web coverage service on amazon cloud computing platform. *Electrical Engineering and Control*, 98, Lectures Notes in Electrical Engineering, Springer Berlin Heidelberg. 289-295.
- Shaywitz, S (2005). A new and complete science-based program for reading problems at any level. *Overcoming Dyslexia*. 1.
- Shihundla, T B, Mpofu, K, Adenurga, O T (2019). Integrating product-service systems into the manufacturing industry: industry 4.0 perspectives. *Procedia CIRP*. 83, 8-13.
- Sielhorst, T, Obst, T, Burgkart, R, Riener, R, Navab, N (2004). An augmented reality delivery simulator for medical training. *Computer Science*.
- Silva, V L D, Kovalski, J L, Pagani, R N (2019). Technology transfer in the supply chain oriented to industry 4.0: a literature review. *Technology Analysis & Strategic Management*. 31(5), 546-562.
- Singh, J., Ahuja, I.P.S., Singh, H., Singh, A. (2022). Development and implementation of autonomous quality management system (AQMS) in an automotive manufacturing using quality 4.0 concept-a case study. *Computers & Industrial Engineering*. 168, 108121.
- Siva, V, Gremyr, I, Bergquist, B, Garvare, R, Zobel, T (2016). The support of quality management to sustainable development: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 138, 148-157.
- Somasundaram, M, Mohamed Junaid, K A M, Mangadu, S (2020). Artificial intelligence(AI) enabled intelligence quality management system(IQMS) for personalized learning path. *Procedia Computer Science*. 172, 438-442.
- Steele, M J (2004). *Agent-based simulation of unmanned surface vehicles: a force in the fleet*. NPS, Monterrey, CA.
- Sung, T K (2018). Industry 4.0: a Korea perspective. *Technological Forecasting & Social Change*. 132, 40-45.
- Swan, M (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. O'reilly Media Inc.
- Szajna, A, Stryjski, R, Wozniak, W, Chamier-Gliszczynski, N, Krolikowski, T (2020). The production quality control process, enhanced with augmented reality glasses and the new generation computing support system. *Procedia Computer Science*. 176, 3618-3625.
- Şenel, B., Şenel, M., Boza, N.A (2021). SWARA ve VIKOR yöntemi ile performans odaklı uzaktan eğitim sunucu seçimi. *Social Mentality and Research Thinkers Journal*. 50, 2602-2610.
- Tandon, A, Dhir, A, Islam, A K M N, Mantymaki, M (2020). Blockchain in healthcare: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. *Computers in Industry*. 122.

- Tang, J J, Karim, K E (2017). Big data in business analytics: implications for the audit profession. *CPA Journal*. 87(6), 34-39.
- Tao, F, Qi, Q, Wang, L, Nee, A Y C (2019). Digital twins and cyber-physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: correlation and comparison. *Engineering*. 5(4), 653-661.
- Taurino, T, Villa, A (2019). A method for applying industry 4.0 in small enterprises. *IFAC-PapersOnLine*. 52(13), 439-444.
- Thakur, S, Breslin, J G (2020). Scalable and secure product serialization for multi-party perishable good supply chains using blockchain. *Internet of Things*. 11.
- Thoben, K, Wiesner, S, Wuest, T (2017). Industry 4.0 and smart manufacturing – a review of research issues and application examples. *Int. J. Autom. Technol*. 11, 4-16.
- Thrun, S, Burgards, W, Fox, D (1998). A probabilistic approach to cncurrent mapping and localization for mobile robots. *Machine Learning and Autonomous Robots*. 31(5), 1-25.
- Topal, A (2021). Çok kriterli karar verme analizi ile elektrik üretim şirketlerinin finansal performans analizi: entropi tabanlı CoCoSo yöntemi. *Business and Management Studies And International Journal*. 9(2), 532-546.
- Tupa, J, Simota, J, Steiner, F (2017). Aspects of risk management implementation for industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11, 1223-1230.
- Ulaş, S (2015). Nesnelerin interneti ekosistemdeminde makineler arası özerk iletişim. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Wang, J, Wan, D, Zhang, D, Li, C, Zhang (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*. 101, 158-168.
- Wang, J, Wan, D, Zhang, D, Li, C, Zhang (2019). Towards smart factory for industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 39, 1415-1420.
- Wang, Q, Zhu, X, Ni, Y, Gu, L, Zhu, H (2020). Blockchain for the IoT and industrial IoT: a review. *Internet of Things*. 10.
- Weking, J, Stöcker, M, Kowalkiewicz, M, Böhm, M, Krcmar, H (2018). Archetypes for industry 4.0 business model innovations. *Twenty-fourth Americans Conference on Information Systems*, New Orleans.
- Verl, A (2017). *Robotics & Industrie 4.0*. IFR-International Federation of Robotics.
- Vespoli, S, Grassi, A, Guizzi, G, Santillo, L S (2019). Evaluating the advantages of an novel decentralised scheduling approach in the industry 4.0 and cloud manufacturing era. *IFAC-PapersOnLine*. 52(13), 2170-2176.
- Villa, A, Taurino, T (2019). SME innovation and development in the context of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 39, 1415-1420.
- Vörös, J, Rappai, G (2016). Process quality adjusted lot sizing and marketing interface in JIT environment. *Applied Mathematical Modelling*. 40, 6708-6724.
- Yang, G, Xie, L, Mantsalo, M, Zhou, X, Pang, Z, Xu, L, Kao-Walter, S, Chen, Q, Zheng, L (2014). Industrial informatics. *IEEE Transactions*. 10(4), 2180-2191.

- Yarlıkaş, S., Arslaner, C (2019). SWARA ve COPELAND yöntemleri ile global tedarik zinciri yönetimini etkileyen faktörlerin önem düzeylerinin değerlendirilmesi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 19(4), 83-104.
- Yazdani, M, Zarate, P, Zavadskas, E, Turskis, Z (2018). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*. 1-19.
- Yu, F, Schweisfurth, T (2020). Industry 4.0 technology implementation in SMEs – A survey in the Danish-German border region. *International Journal of Innovation Studies*. 4, 76-84.
- Zaimovic, T (2019). Setting speed limit on industry 4.0 – an Outlook of power mix and grid capacity challenge. *Procedia Computer Science*. 158, 107-115.
- Zavadska, Z, Zavadsky, J (2020). Quality managers and their future technological expectations related to industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*. 31(7-8), 717-741.
- Zehir, C, Ertosun, Ö G, Zehir, S, Müceldilli, B (2012). Total quality management practices' effects quality performance and innovative performance. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 41, 273-280.
- Zhang, L-C, Han, M, Huang, S (2003). A improved interface between CAD and rapid prototyping systems. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*. 21, 15-19.
- Zhang, Z, Gui, D, Sha, M, Liu, J, Wang, H (2019). Raman chemical feature extraction for quality control of dairy products. *Journal of Dairy Science*. 102(1), 68-76.
- Zhong, R Y, Xu, X, Klotz, E, Newman, S T (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*. 3(5), 616-630.
- Zolfani, S H, Bahrami, M (2014). Investment prioritizing in high tech industries based on SWARA COPRAS approach. *Technological and Economic Development of Economy*. 20(3), 534-553.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Erhan BARAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2012, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
- **Doktora** : 2023, Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011-2018 yılları arasında Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2018 yılından beri Gazi Üniversitesi TUSAŞ-Kazan Meslek Yüksekokulu Elektronik Otomasyon Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.
- 2017 yılında YÖK akademik teşvik ödülü almıştır.
- 2022 yılında TÜBİTAK akademik yayın teşvik ödülü almıştır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Baran, E. ve Korkusuz Polat, T. 2022. Classification of Industry 4.0 for Total Quality Management: A Review, *Sustainability*, 14(6), 3329.
- Baran, E. ve Korkusuz Polat, T. 2022. Quality 4.0 in Research and Development by Using Blockchain Technology, *Recent Advances in Intelligent Manufacturing and Service Systems*, Springer, 111-119.

DİĞER ESERLER:

- Baran, E. ve Erol, S. 2014. A Model Suggestion to Determine the Order Quantity in Supplier Selection Problems, *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 3(3), 45-50.

- Baran, E. 2017. Optimizing Medical Waste Collection in Eskişehir by Using Multi-Objective Mathematical Model, Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, 4(4), 93-100.
- Baran, E. 2017. Evaluation and Scheduling of the Car Manufacturing Factory's Employers' Work Shifts, International Journal of Engineering Technologies IJET, 3(1), 14-18.
- Baran, E. 2017. A Multi-Objective Approach for the In-Plant Milk-Run in a Furniture Factory, International Journal of Engineering Technologies IJET, 3(4), 186-189.
- Baran, E. 2018. Route Determination for Capacitated Vehicle Routing Problem with Two Different Hybrid Heuristic Algorithm, International Journal of Engineering Science and Application, 2(2), 41-46.
- Baran, E. 2018. An Innovative Fuzzy TOPSIS Method to Determine the Location of A New Hospital, International Journal of Engineering Science and Application, 2(4), 133-136.
- Baran, E. 2019. Optimizing A Route Path for a Mobile Blood Collection System, Computational Intelligence Wireless Sensor Network, 1(1), 37-39.