


## ENDÜSTRİ 4.0'IN ETKİLERİNİN KALİTE 4.0 ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

### EVALUATION OF THE EFFECTS OF INDUSTRY 4.0 THROUGH QUALITY 4.0

Aysel ÇETİNDERE FİLİZ\*,

\* Dr. Öğr. Üyesi, İnönü Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, aysel.cetindere@omu.edu.tr, 

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><b>Gönderilme Tarihi</b> 23.05.2022</p> <p><b>Revizyon Tarihi</b> 14.06.2022</p> <p><b>Kabul Tarihi</b> 30.06.2022</p> <p><b>Makale Kategorisi</b> Araştırma Makalesi</p> <p><b>JEL Kodları</b> L23 M10 M11</p>	<p><i>Endüstri 4.0 çağında kalite yönetimi alanındaki gelişmelerin takip edilmesi ve dijital teknolojilerin süreç iyileştirmelerinde nasıl kullanılacağına çok iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda Endüstri 4.0'ın kalite yönetimine etkilerinin Kalite 4.0 kavramı üzerinden değerlendirilmesi çalışmanın önemini teşkil etmektedir. Çalışmada Endüstri 4.0'ın gelişim seyri ve özellikleri, Kalite 4.0 kavramı, boyutları, araçları ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimi uygulamaları üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Bunun için Endüstri 4.0 ve Kalite 4.0 ile ilgili yayınlanmış çalışmaların incelenmesi yoluyla güncel düşüncelerin özetlenmesi ve çalışmalardan elde edilen bilgilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.</i></p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Endüstri 4.0, Kalite Yönetimi, Kalite 4.0</p>

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Received</b> 23.05.2022</p> <p><b>Revized</b> 14.06.2022</p> <p><b>Accepted</b> 30.06.2022</p> <p><b>Article Classification:</b> Research Article</p> <p><b>JEL Codes</b> L23 M10 M11</p>	<p><i>In the age of Industry 4.0, it is essential to follow the developments in the field of quality management and to understand how to use digital technologies in process improvements. The importance of the study is to evaluate the effects of Industry 4.0 on quality management through the idea of Quality 4.0 for this goal. In the study, the history and characteristics of Industry 4.0, the concept of Quality 4.0, its dimensions, tools, and the effects of Industry 4.0 technologies on quality management practices are discussed. By reviewing existing studies on Industry 4.0 and Quality 4.0, it is intended to summarize current opinions and analyze the information acquired from the investigations.</i></p> <p><b>Keywords:</b> Industry 4.0, Quality Management, Quality 4.0</p>

**Atf (Citation):** Çetindere Filiz, A. (2022). "Endüstri 4.0'ın Etkilerinin Kalite 4.0 Üzerinden Değerlendirilmesi", *Ekonomi Maliye İşletme Dergisi*, 5(1): 176-188



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

## Giriş

Endüstriyel alanda yaşanan gelişmeler, insanların ihtiyaçlarını gidermek üzere kurulan işletmeler üzerinde her zaman etkili olmuştur. Sanayi devrimleri olarak ifade edilen ve bu gelişmelerin başlangıcını teşkil eden Endüstri 1.0 (1890'dan önce) su ve buhar gücü vasıtasıyla çalışan makinelerin yaygınlaşmaya başladığı bir dönemdir. Bu dönemde fabrikalaşma ile birlikte kullanılan makineler sayesinde üretilen ürünlerdeki tutarlılık, üretim miktarlarındaki artış ve ürün hareketliliğindeki kolaylık dikkati çekmektedir. Endüstri 2.0 (1890-1940) seri üretimin hız kazandığı bir dönemdir. Bu dönemde elektriğin gücü ile makineler daha da güçlendirilmiş ve artan otomasyon performans düzeylerindeki artışı da beraberinde getirmiştir. Endüstri 3.0 çağında (1940-1995) çalışanların verimliliğini arttırmada bilgisayarların gücünden yararlanılmıştır. Bu dönemde bilgi ve iletişim teknolojileri üretimde gelişmenin önemli bir itici gücü olmuş birbiri ile iletişimde olmayan yani bağımsız çalışan ve belli hareketleri yapabilen robotlar iş gücünün yerini almaya başlamıştır. Endüstri 4.0 çağında (1995'den itibaren) ise iş çevresi, siber fiziksel sistemler haline dönüştürülmüş ve tüm süreçler uçtan uca entegrasyon ile otomatik olarak yönetilmeye başlamıştır. Endüstri 4.0, “dördüncü endüstri devrimi” olarak 2011 yılında Almanya'da Hannover fuarında tanıtılmış ve imalat endüstrisinin rekabet gücünü artırmak için yüksek teknoloji bir stratejik plan olarak başlatılmıştır.

“Endüstri 4.0” terimi, “akıllı fabrika”, “akıllı üretim”, “büyük veri analitiği”, “siber-fiziksel sistemler” ve “akıllı makineler” gibi daha birçok kelime ile ilişkilendirilmektedir. Çoğu bilim insanı tarafından imalatın dijitalleşmesi olarak adlandırılan bu devrim teknoloji birikimini ifade etmektedir (Sanghavi vd., 2019, s.3). Endüstri 4.0'ın gelişimi işletmelerde dikkate değer bir performans artışı da beraberinde getirmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanan şirketlerde %50'ye kadar verimlilik, %80'den fazla etkinlik artışı olduğunu ve müşterilerin %45'ten fazlasının ürün kusurlarındaki azalma ile birlikte memnuniyetlerinin arttığını göstermektedir (Albers vd., 2016, ss.262-263). Sanayi sektörü araştırma, geliştirme, bakım ve üretim gibi fonksiyonları ile bu dijital dönüşüme dahil olurken kalite yönetim sürecinin dijitalleştirilmesinde önemli ölçüde geri kalmıştır. İşletmelerin çoğu hala eski kalite kontrol yaklaşımlarını kullanmakta kaliteyi manuel olarak veya ayrı platformlar/uygulamalar aracılığıyla yönetmektedirler. Sık sık ortaya çıkan hatalarla, maliyet artışlarıyla ve düşük ürün kalitesiyle karşılaşılmasının nedeni de budur (Ralea vd., 2019, s.121). Endüstri 4.0 teknolojileri ile yürütülen kalite yönetimi uygulamaları kişiselleştirilmiş ürün/hizmet kalitesinde büyük bir değişim yaşanmasına yol açmıştır (Sony vd., 2020, s.3). Endüstri 4.0 bağlamında tanımlanan Kalite 4.0 araçları ile elde edilecek üstünlükler stratejik, kültürel ve teknolojik konuları da içerisine alan çok yönlü bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu yaklaşımı benimseyen işletmeler düşük hata oranları, daha fazla müşteri memnuniyeti ve iyileştirilmiş süreçlerden elde edilen yüksek verimlilik ile rekabet avantajı elde edebileceklerdir.

### 1. Endüstri 4.0'ın Gelişimi ve Özellikleri

Dördüncü sanayi devrimi olarak ifade edilen Endüstri 4.0 nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT), bilgi entegrasyonu ve diğer yüksek teknolojik gelişmeleri özümseyerek üretim sektörüne odaklanma ile başlayan ve birçok sektöre yayılan dijital dönüşümü temsil etmektedir (Zaidin vd., 2018, s.82). Endüstri 4.0 üretim tekniklerinin tam olarak entegre bir işbirlikçi üretim sistemi kullanılarak küresel ve merkezi olmayan bir şekilde yapılmasını ifade eder (Carvalho vd., 2021, s.343). Endüstri 4.0 üretimde otomasyonu ve daha yüksek verimlilik elde etmek için makinelerin işbirliği yapabileceği, üretkenlik ve ürün özelleştirme yeteneklerini artırabileceği ileri bir düzeye çıkarmıştır. Endüstri 4.0 çağı, makineleri sosyal bir ağda olduğu gibi birbirine bağlamak üzere internetin kullanılmasıyla karakterize edilmektedir (Sader vd., 2019, s.118). Dördüncü endüstri devriminin amacı dijital olarak üretilen ve üretim sürecinde ilgili tüm taraflar arasındaki eş zamanlı iletişim ile birleştirilen ürün ve hizmetler açısından esnek üretim modellerinin geliştirilmesidir. Örneğin bulut hizmetleri aracılığıyla özel satın almalar yapan veya talimatlar alan ve farklı müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için üretim hattında anında değişiklik yapabilen bir işletme olarak geleneksel üretim satış modellerinin büyük ölçüde etkilendiği bir yapı ortaya çıkmaktadır (Zaidin vd., 2018, s.82). Endüstri 4.0'ı karakterize eden bazı temel kavramlar ve özellikleri aşağıda

belirtildiği gibidir (Armani vd., 2021, s.133; Kagermann vd., 2013, ss.15-16; Sader vd., 2019, ss.119-122; Sony, Antony & Douglas, 2020, s.780).

• **Siber-fiziksel sistemler (Cyber-Physical Systems-CPS):** Üretim ortamında akıllı makineleri, dijital olarak geliştirilmiş üretim sistemlerini entegre eder ve malzeme girişinden dağıtıma kadar uçtan uca entegrasyonu içerir. CPS esnek tabanlı geçici ağ oluşturma, kalite, zaman, risk, sağlamlık, fiyat ve çevre dostu olma gibi iş süreçlerinin farklı yönlerinin dinamik olarak yapılandırılmasını sağlamaktadır. CPS ile üretim süreçleri daha çevik hale gelmekte, süreçler hızlıca değiştirilebilmekte, tedarik kaynaklı sorunlar hızla telafi edilebilmekte ve çıktı miktarında kısa sürede önemli artışlar sağlanabilmektedir. Aynı zamanda üretimi durdurmak zorunda kalmadan kaynak tüketiminin azaltılması yoluyla üretim süreçleri sürekli olarak optimize edilebilmektedir. En düşük kaynak miktarını kullanarak mümkün olan en yüksek çıktı düzeyine ulaşmak bu sistemlerin en temel yararlarındanıdır.

• **Akıllı fabrika:** Endüstri 4.0 bilgi ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemenin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum CPS şeklinde makinelerin, ürünlerin ve insanların birbirleriyle etkileşime girip iletişim kurabildiği yer olarak ifade edilen “akıllı fabrikaların” kurulmasına yol açmıştır. Bu ilerleme üretim ortamında dijitalleşmeyi ve otomasyonu arttırarak dijital ve fiziksel dünya arasındaki sınırları ortadan kaldıran dijital bir değer zinciri yaratmıştır.

• **Üretim sistemlerinde kendi kendine örgütlenme:** Merkezi olmayan sistemler ile klasik üretim hiyerarşisi yerine kendi kendine örgütlenebilen sistemler oluşmaya başlamıştır.

• **Ürün ve hizmetlerin dağıtımında, satın alınmasında ve geliştirilmesinde aşamalı olarak bireyselleştirilebilecek yeni sistemler:** Bu sistemler ile bireysel müşteri gereksinimlerinin karşılanması tasarım, sipariş, üretim, planlama gibi süreçlerde müşteriye özel kriterlerin dahil edilmesini ve son dakika değişikliklerinin yapılabilmesini sağlamaktadır.

• **Uçtan uca şeffaflık:** Endüstri 4.0 teknolojileri eş zamanlı olarak mühendislik alanındaki tasarım kararlarının erkenden doğrulanmasına ve bir işletmenin tüm tesislerinde çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilecek kesintilere karşı daha esnek yanıtlar verilmesine olanak tanımaktadır.

• **Bağlanabilirlik:** Ürünlerin değer zinciri boyunca üretim sistemi ile iletişim kurabilme yeteneğidir. Üretim sisteminde ürün bilgileri CPS’ye aktarılabilir, senaryolar simüle edilebilir ve optimum bir üretim şeması elde etmek için yinelemeler yapılabilir. Birbirine bağlı makineler üretilmekte olan bir parçanın bir aşamadan diğerine geçişi sırasında bilgilendirilebilmektedir. Böylece makineler daha sonraki üretim aşamalarına devam etmek için parçayı almaya hazır hale gelmektedir. Üretim sürecinde ihtiyaç duyulduğu takdirde lojistik sistemler de bilgilendirilebilmektedir.

• **Entegrasyon:** Yatay, dikey ve uçtan uca olmak üzere üç temel kategoride değerlendirilmektedir. Yatay entegrasyon, işletmeler arasında işbirliğini ve değer zinciri içerisindeki kaynak ve bilgi ağı arasındaki entegrasyonu ifade eder (Zhou vd., 2015, s.2148). Değer zincirinin yatay olarak entegrasyonunda müşterilerin ve tedarikçilerin entegre edilmesi amaçlanmaktadır. Sistemin yatay entegrasyonu ile müşteriler değer zinciri boyunca sipariş ettikleri ürünün tüm aşamalarını izleyebilmektedirler. Sorun olması durumunda sorunla nasıl başa çıkılacağına karar vermek üzere müşterilere anında bilgi verilebilmektedir. Ayrıca günümüzün karmaşık ürünleri üretim sürecinde sıklıkla değiştirilebilmektedir. Müşterilerin üretim sürecine entegrasyonu ile değişiklik talepleri dikkate alınmakta ve müşteriler üretim sürecinde daha etkin olabilmektedir. Buna ek olarak yapılan değişikliklerin etkileri hakkında müşteriler anında geri bildirim almakta ve sorun olması durumunda bir sonraki üretim adımında parti büyüklüğü düzenlenebilmektedir. Yatay entegrasyon tedarikçiler açısından da oldukça faydalıdır. Stoklar ve gelecekteki talep hakkında elde edilen eş zamanlı bilgiler ile teslimat planları daha etkin yapılabilmektedir (Foidl ve Felderer, 2016, ss.128-129). Dikey entegrasyon bir fabrika içinde çeşitli departmanlar arasındaki etkileşimi ifade eder (Sanghavi vd., 2019, s.6). İşletme içindeki hiyerarşik sistemlerin entegrasyonu ile esnek ve yeniden yapılandırılabilir üretim sistemlerinin oluşturulması sağlanır (Foidl ve Felderer, 2016, s.125). Özellikle de geleceğin akıllı fabrikalarında ağ bağlantılı üretim sistemleri ve montaj hattı üretimi gibi geleneksel üretim

süreçlerine alternatif olarak kişiselleştirilmiş özel üretim imkanları da sunulmaktadır (Zhou vd., 2015, s.2148). Uçtan uca entegrasyon müşteriler, tedarikçiler ve firma arasındaki etkileşimlerden oluşur (Sanghavi vd., 2019, s.7; Zhou vd., 2015, s.2148). Tasarımdan ürün ömrünün sonuna kadar müşterilerle entegrasyon sağlanmaktadır. Ürün odaklı değer yaratan tüm faaliyetlerin entegrasyonu uçtan uca entegrasyon kapsamında değerlendirilir (Chiarini, 2020, s.603; Sony, Antony & Douglas, 2020, s.783). Uçtan uca entegrasyon ile değer zincirinin her aşamasında (mühendislik, tasarım, planlama, hizmet ve bakım gibi) tutarlı bir ürün modelinin kullanılmasını sağlayan güçlü bir yazılım araç zinciri oluşturmak amaçlanır. Bu araç zinciri, akıllı fabrikalarda ürün tasarımının üretim üzerindeki etkilerinin görülmesini sağlar ve müşteriye özel ürünlerin üretilmesine olanak tanır (Foidl ve Felderer, 2016, s.125). Ürün yaşam döngüsü boyunca uçtan uca entegrasyon ile üreticiler tarafından ürünün kalitesi, güvenilirliği ve performansı etkin bir şekilde izlenebilmektedir. Elde edilen performans verileri ürün ve hizmetlerin sürekli iyileştirilmesi için önemli bir tasarım girdisi olmaktadır (Sony, Antony & Douglas, 2020, s.783).

• **Büyük veri:** Bu teknoloji ile birbiriyle uyumsuz çeşitli sistemlerden, veri tabanlarından ve web sitelerinden toplanan veriler bile işlenmekte belirli bir şirketin veya kişinin bulunduğu durumu ifade etmek üzere birleştirilebilmektedir (Witkowski, 2017, s.768).

## 2. Kalite 4.0 Kavramı

Kalite 4.0 ilk olarak üretim araştırma ve danışmanlık firması olan LNS Research'de Dan Jacob tarafından kullanılmıştır. Teknolojiyi kullanarak kalitenin şirket çapında bir strateji olması gerektiğini ifade eden Dan Jacob'a (2017) göre Kalite 4.0, kalite yönetiminin dijitalleşmesini ve bu dijitalleşmenin kalite teknolojisi, süreçler ve insanlar üzerindeki etkisini ifade eden bir kavramdır. Dördüncü sanayi devrimi ile birlikte kalite yönetimi uygulamalarında insan müdahalesi olmadan otomatik olarak kontrol edilebilen ve tüm süreçleri birbirine bağlayan akıllı teknolojilerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu durum kalite yönetimi yaklaşımları ile araç ve teknikleri üzerinde bir takım etkiler göstermiştir. Endüstrideki gelişmelere bağlı olarak kalitenin gelişim seyri tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1: Kalite 4.0 Devriminin Gelişim Aşamaları**

Kalite Devrimi	Amaç	Strateji
Kalite 1.0 (1890'dan önce) Kalite anlayışı ölçüm ve denetlemeye bağlı olarak gelişim göstermiştir.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ürün miktarının kaliteden daha fazla önemsenmesi</li> <li>• Maliyetin, israfın ve verimsizliğin ihmal edilmesi</li> <li>• Çalışan verimliliği</li> </ul>	<b>Kalite kontrol faaliyetleri</b> , ürün özelliklerine, istatistiksel süreç kontrolüne ve değişkenliklerin düzeltilmesine dayalı olarak yürütülmüştür.
Kalite 2.0 (1890-1940) Kalite, kabul edilebilir kalite düzeyleri kapsamında ele alınmıştır.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standartlara uygunluk</li> <li>• Kusurların en aza indirilmesi</li> <li>• İşgücü performansının verimlilik ölçümlerinde kullanılması</li> </ul>	Süreç performanslarının ölçümüne dayalı olarak hataları önlemeye dönük yürütülen kalite kontrol faaliyetleriyle <b>kalite güvencesinin</b> sağlanması esas alınmıştır.
Kalite 3.0 (1940-1995) Müşteri gereksinimlerinin karşılanması bir zorunluluk olarak görülmüştür. Amaç müşteriye teslim edildikten sonra ürünlerdeki arızaların maliyetli etkisini en aza indirmektir.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verimliliği yüksek iş süreçlerinin oluşturulması</li> <li>• Çalışanların katılımı</li> <li>• Süreçlerin sürekli iyileştirilmesi</li> <li>• Örgütsel mükemmelliğin hedeflendiği modeller (EFQM gibi) kapsamında kriterlerin belirlenmesi</li> <li>• Standardizasyon (ISO 9001 gibi) faaliyetlerinin sürdürülmesi</li> </ul>	Gereksinimlere uygunluğun kalite güvencesi sağlanarak <b>yönetilmesi</b> esas alınmıştır. Bunun için kalite stratejik bir zorunluluk olarak görülür ve kalite ölçümleriyle bağlantılı kurumsal hedefler belirlenerek sürekli gelişme sağlanır.
Kalite 4.0 (1995- ..) Paydaşlarla işbirlikleri esas alınmıştır.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paydaşların beklentilerinin karşılanması</li> <li>• Kontrol faaliyetlerinin süreç tasarımcıları tarafından yürütülmesi</li> <li>• Kendi kendini yöneten makinelerin kullanılması</li> </ul>	Ortaklıklar kapsamında paylaşılan değerler ve tüm paydaşlara karşı hesap verebilirlik esastır.

**Kaynak:** (Salimova, vd. 2020, s.486; Sisodia ve Villegas Forero, 2019, s.17; Zonnenshain ve Kenett, 2020, s.616).

Dördüncü sanayi devrimi, üçüncü sanayi devrimi ile ortaya çıkan dijital etkiyi genişletmekte insanları, makineleri ve verileri yeni yöntemlerle birbirine bağlayarak gelişen teknolojileri daha erişilebilir olacak şekilde demokratikleştirmektedir. Kalite 4.0 ise dijital dönüşüm yoluyla kültürün, yetkinliğin, işbirliğinin ve liderliğin geliştirilmesiyle ilgilidir (Ralea vd., 2019, s.123). Kalite 4.0, otomasyon, bilgi ve iletişim teknolojisindeki ilerlemelerle şirketlerde kalite faaliyetlerinin yürütülmesi için bir çerçeve sunar (Sony vd., 2020, s.2). Kalite 4.0 toplam kalite yönetimini esas almakla birlikte onun da ötesine geçer ve tüm paydaşlar ile veri akışı için gereken sistemleri içerisinde barındırır. Endüstri 4.0 bağlamında kalite, değer yaratma, örgütsel öğrenme, örgütsel yenilik, sürdürülebilirlik ve yeni anlayışlar getiren verilerin keşfi ile ilgilidir (Sisodia ve Villegas Forero, 2019, s.17). Kalite 4.0 tasarım kalitesi, uygunluk kalitesi ve performans kalitesi açısından gereksinimleri karşılamak üzere siber-fiziksel sistemler, IoT ve bulut bilişim gibi modern teknolojilerin kullanılmasıdır. Kalite 4.0 teknolojiye daha fazlasıdır, kullanıcıların ve süreçlerin etkileşimi yoluyla değeri en üst düzeye çıkarmanın yoludur (Ralea vd., 2019, s.123; Sony, Antony & Douglas, 2020, ss.780-781). Geleneksel kalite yönetimi anlayışında kalite standartları tanımlanarak süreçlerin ve nihai ürünün kabul edilebilir olup olmadığı belirlenmektedir. Kalite 4.0 anlayışında ise işletmelere yeni teknolojilerle desteklenen bir ürünün kalitesinin çok daha verimli bir şekilde belirlenme olanağı sunulmaktadır (Ralea vd., 2019, s.124). Kalite yönetimi uygulamalarında Endüstri 4.0 teknolojilerine yer verilmesiyle Kalite 4.0 kavramı şekillenmiştir. Bu nedenle dördüncü sanayi devrimi teknolojilerinin kaliteye uygulanması olarak da tanımlanabilmektedir.

### 2.1. Kalite 4.0'ın Boyutları

Jacob (2017) eğitim, planlama ve harekete geçme ile ilgili olarak; **(1) Veri, (2) Analiz, (3) Bağlanabilirlik, (4) İşbirliği, (5) Uygulama geliştirme, (6) Ölçeklenebilirlik, (7) Yönetim sistemi, (8) Uyumluluk, (9) Kültür, (10) Liderlik ve (11) Yetkinlik** olmak üzere 11 tane kalite boyutunun olduğunu belirtmiştir. Bu boyutlar Kalite 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanmasında üzerinde durulması gereken önemli bileşenlerdir.

**(1) Veri:** İşletmelerde etkili karar vermek için her geçen gün veriye duyulan ihtiyaç artmaktadır. İşletmeler bilgi teknolojilerinin sağladığı avantajlar ile hızlı ve doğru bir şekilde işlenmesi gereken çok sayıda veriye rahatlıkla ulaşabilmektedir. Veriler üzerinden müşterilerin ihtiyaçları haritalandırılıp analiz edilebildiğinden söz konusu ihtiyaçların bütünsel bir şekilde anlaşılması mümkün olabilmektedir. Her geçen gün işlenmesi gereken verilerin artması nedeniyle geleneksel yönetim sistemleri kısa bir sürede yeterli veri işleme kapasitesine sahip değildir. Bu nedenle daha gelişmiş analiz araçları ve teknikleri ile işlenmesi gereken veriler hacim, çeşitlilik ve hız ile karakterize edilmektedir (Armani vd., 2021, s.136; Sony, Antony & Douglas, 2020, s.783). Geleneksel sistemlerde düzeltici ve önleyici faaliyetlerle ilgili çok sayıda verinin işlem kaydı bulunmaktadır. Ancak bağlı cihazlardan gelen veri hacmi çok daha fazladır ve veri gölleri gibi özel yaklaşımlar gerektirmektedir (Jacob, 2017, s.12). Bu özel yaklaşımlarla analiz edilen veriler sayesinde müşterilerin istekleri kolaylıkla değerlendirilir ve uygun üretim faaliyetleri gerçekleştirilir. Aynı zamanda pazar araştırması vb. konularda maliyet ve zaman tasarrufu sağlanarak bu zaman ve maliyet kalite faaliyetleri için kullanılabilir. Dolayısıyla veri yönetimi Kalite 4.0 stratejisi için oldukça önemli bir faktördür (Bolatan Sönmeztürk, 2020, s.444).

**(2) Analiz,** stratejik ve operasyonel düzeyde karar vermek için kullanılan tanımlayıcı, tahmine dayalı ve öngörücü-kuralcı (prescriptive) olmak üzere üç temel analiz türü vardır. Tanımlayıcı analizlerle bilinen veya şüphelenilen ilişkileri izlemek için performans göstergeleri kullanılarak geçmiş veya güncel olaylar hakkında bilgi üretilir. Tahmine dayalı analizlerde olası olayların öngörülmesi kapsamında planlı karar vermek mümkün hale gelir. Öngörücü-kuralcı (prescriptive) analizlerde ise öngörülen senaryolara göre ileri istatistiksel araçlar kullanılarak sorunları çözmek için ne yapılması gerektiği belirlenir. Başarısızlığı tahmin etmede ve sonucu değiştirmek için ne yapılması gerektiğini belirlemede ileri düzeyde bir analiz imkanı sunar (Armani vd., 2021, s.136; Jacob, 2017, s.13). Kalite yönetiminde kullanılan öngörücü analitik algoritmalar ile tasarım, uygunluk ve performans kalitesi için öneriler sunulabilmektedir. Bu algoritmalarından oluşan büyük çözüm kümeleri en iyi seçenekleri

ortaya koymak için insan müdahalesini de mümkün kılmaktadır (Sony, Antony & Douglas, 2020, s.783).

**(3) Bağlanabilirlik:** Tedarik zincirine, ürünlere, süreçlere ve bağlı cihazlara ek olarak çalışanların da birbirine bağlanması etkileşime dayalı bir ekosistem geliştirmek açısından oldukça önemlidir. Bağlantılı kişiler çalışanları algılayan kişisel akıllı cihazlardan veya akıllı giyilebilir cihazlardan yararlanabilmektedir. Şirketin kişisel veya taşınabilir cihazlarını kullanan bağlı çalışanların performansları ve güvenli çalışma koşulları iyileşir. Bu durum çalışanların üretkenliğini de olumlu yönde etkilemektedir. Bu kavramların önemli uygulamaları arasında bağlantılı ürünler, laboratuvarlar, tedarik zincirleri, işlemler ve çalışanlar yer almaktadır (Armani vd., 2021, s.138; Jacob, 2017, s.14).

**(4) İşbirliği:** Yenilik ve kalite iyileştirme faaliyetleri için güçlü bir yakıttır. Liderler nasıl işbirliği yapacaklarını düşünmeli yetkinlik, gözetim, güvenlik ve denetim yeteneği gibi konularda hedeflerini karşılayan güvenli ve tekrarlanabilir bir veri paylaşım stratejisi oluşturmalıdır (Jacob, 2017, s.16). Kalite yönetimi açısından değerlendirildiğinde organizasyonun farklı seviyelerindeki tüm çalışanların katılımının sağlanmasında ve çapraz fonksiyonel takımların yetkinliklerinin iyileştirilmesinde işbirliği muhakkak olmalıdır (Armani vd., 2021, s.138).

**(5) Uygulama geliştirme:** Uygulamaların kullanımıyla fiziksel veya zamansal kısıtlamalar olmaksızın süreç kontrolü, veri toplama, analiz sonuçlarının görselleştirilmesi sayesinde bağlantı ve işbirliği için etkili bir sistem kurulur (Armani vd., 2021, s.139). Kalite yönetimi alanında giyilebilir, artırılmış ve sanal gerçeklik gibi teknolojiler taşınabilir interaktif uygulamalardır. Giyilebilirler insan performansını algılayan ve insanları birbirine bağlayan cihazlardır. Giyilebilir ürünler güvenliği ve verimliliği artırmak için endüstriyel ortamlarda da kullanılmaktadır. Artırılmış gerçeklik fiziksel varlıklar veya çevre üzerindeki sanal içeriğin üst üste bindirilmesidir. Artırılmış gerçeklik ile çalışanların yakın zamanda arızalanacağı tahmin edilen makineleri nasıl düzeltebileceği konusunda bilgi sağlanır. Sanal gerçeklik ile eylemlerin fiziksel dünyada gerçekleştirilmeden önce simüle edilmesi yoluyla oluşabilecek risklerin engellenmesi sağlanır (Jacob, 2017, s.17).

**(6) Ölçeklenebilirlik:** Veri hacmini, kullanıcıları, cihazları ve analizleri küresel ölçekte destekleme yeteneğidir. Bulut bilişim küresel olarak erişilebilirlik ve kullanılabilirlik konusunda önemli bir alt yapı olanağı sunmaktadır (Jacob, 2017, s.19). Bulut bilişim ölçeklenebilir ağlarda veri paylaşımı ile daha düşük maliyetli işlemeyi ve depolamayı kolaylaştırmaktadır (Armani vd., 2021, s.139).

**(7) Yönetim sistemi:** İş akışlarını otomatikleştirmek, kalite süreçlerini birbirine bağlamak, veri doğruluğunu iyileştirmek, uyumluluğu ve merkeziliği sağlamak ve ortak bir uygulama içerisinde işbirliğini geliştirmek için ölçeklenebilir bir çözüm sağlayan kalite yönetimi faaliyetlerinin merkezini oluşturur. Üreticiler süreçleri uyumlu hale getirmeli, bu süreçleri yazılımla otomatikleştirmeli, otomatik süreçleri diğer sistemler ile operasyonlara bağlamalı ve sistem özerkliğini sürekli olarak iyileştirmek için toplu analitiklerden yararlanmalıdır. Bu yaklaşım nitelikli personelin odağını yönetim faaliyetlerinden ziyade yenilik ve iyileştirme faaliyetlerine doğru kaydırmaktadır (Jacob, 2017, s.20). Kalite yönetimi faaliyetleri şirketin tüm değer zincirini etkilediği için bütünsel bir yönetim anlayışı ve vizyon gerektirir (Armani vd., 2021, s.140).

**(8) Uyumluluk:** Bir disiplin olarak kaliteye yönelik iki yaklaşım vardır. Birincisi, uygunluk temelli yaklaşım, ikincisi ise kaliteye yönelik iyileştirme/performans temelli yaklaşımdır. Bu nedenle, uyum tek başına yeterli olmasa da kaliteyi iyileştirmenin önemli bir yönüdür. ISO (International Organization for Standardization) gibi uyumluluğa dayalı standartlara bağlı kalmak, süreçlerin standart hale gelmesini sağlamak için bir ön koşuldur. Süreç performansının sürdürülebilirliği ancak süreçlerin yerel ve uluslararası uyum standartlarının gerekliliklerini karşılaması durumunda gerçekleşmektedir (Sureshchandar, 2022, s.1348). Kalite genellikle süreçlerin, ürünlerin ve hizmetlerin gereksinimlerle uyumlu olmasını sağlamada öncü bir rol oynadığından uyumluluk endüstri genelinde kalite ekipleri için oldukça önemlidir (Jacob, 2017, s.21).

**(9) Kültür:** Kalite 4.0 kalite süreçlerini daha görünür, bağlantılı ve birbirleriyle ilgili hale getirir (Jacob, 2017, s.22). Özellikle kalite alanında, yeni müşteri gereksinimlerine göre organizasyonel

değişiklikleri teşvik etmek için tüm hiyerarşik seviyeleri kalite kültürüyle ilişkilendirmeye ihtiyaç vardır. Bu nedenle kalitenin Endüstri 4.0 ile uyumlu hale getirilmesi, eş zamanlı verilerin kullanılması, işbirliği ortamının yaratılması, bağlanabilirliğin ve şeffaflığın sağlanması ile sürekli iyileştirmeye duyulan ihtiyacın anlaşılması kuruluşun rekabet gücü için stratejik bir öneme sahiptir. Veri paylaşımının ve uygulama geliştirmenin yanı sıra süreçlerin, insanların ve cihazların bağlanabilirliği dijital çağda kalite kültürüne yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır (Armani vd., 2021, s.141). Çalışanların, örgütün çoğunluğu tarafından benimsenen ortak inançları, değerleri, varsayımları, tutum ve davranış normlarını birleştiren dokuda ortak bir noktayı görmeleri önemlidir. Bir organizasyonda hakim olan kültür, nihayetinde böyle bir değişikliğin gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğini belirlemektedir (Sureshchandar, 2022, s.1347).

**(10) Liderlik:** Kalite liderliğinde yeniliği ve öğrenmeyi dikkate alan bir liderlik tarzı gerekmektedir. Kalite liderleri etkili kalite yönetimi uygulamaları ile çalışanlara işi sahiplenme duygusu kazandırarak kuruluş genelinde kaliteye öncülük etmelidir (Jacob, 2017, s.23). Dördüncü sanayi devriminin yarattığı değişiklikleri takip eden liderler sosyal, dijital ve teknolojik bir bakış açısı ile yeni becerilerin geliştirilmesini teşvik ederek çalışanların süreçlere katılımını desteklemeli ve şirketin stratejik hedeflerini destekleyen değer yaratıcı faaliyetlerine odaklanmalıdır (Armani vd., 2021, s.141).

**(11) Yetkinlik:** Bir organizasyonun teknolojideki veya iyileştirme felsefelerindeki herhangi bir değişikliği benimseyip uygulayabilmesi için yetkinliklerini geliştirmesi gerekmektedir. Bunun için işgücünün yetkinliklerinin artırılması, kuruluşların Kalite 4.0'a dönüşüm yolculuğunda önemli ölçüde yardımcı olacaktır (Sureshchandar, 2022, s.1348). Özellikle yeni teknolojilerin kullanımı için yeni yetkinliklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin şirket içi gruplar oluşturularak hatta sektör genelinde öğrenilen deneyimleri paylaşmak üzere sosyal medya aracılığıyla deneyimler paylaşılabilir. Yeni teknolojilerin öğrenilmesiyle yeni uzmanlık alanları oluşturulur (Armani vd., 2021, s.141; Jacob, 2017, s.25). Kalite 4.0 araçlarının kalite planlama, kalite kontrol ve kalite iyileştirme faaliyetlerinde kullanılabilmesi için çalışanların geliştirilmesi ve stratejik bir şekilde sürekli olarak eğitilmesi gerekmektedir. Ayrıca eleştirel düşünme ve yaratıcılık gibi beceriler ile ekip çalışması ve bilgi aktarımı gibi sosyal becerilere de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, Kalite 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanmasında eğitim önemli bir rol oynamaktadır (Sony, Antony & Douglas, 2020, s.783).

Aralarında karşılıklı ilişkiler bulunan her bir boyut kapsamında yeni yeteneklerin kazanılması diğer boyutlarda da yeni uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Liderler bu boyutlar üzerinden Kalite 4.0'ın işletmede mevcut yetenekleri ve girişimleri nasıl dönüştürebileceğini üreticiler de mevcut durumlarına göre gelecekte hangi değişikliklerin gerekli olduğunu değerlendirebilirler.

## 2.2. Kalite 4.0 Araçları

Kalite 4.0 araçları insanları, ürünleri, süreçleri birbirine bağlayan ve geri bildirim sağlayan sensörler aracılığıyla insanların yeni teknolojilerle uyumlu bir şekilde çalışmasına izin vermektedir (Javaid, 2021, ss.4-5). Kalite 4.0 araçları aşağıda belirtilen teknolojiler kapsamında ele alınmıştır (Arsovski, 2019; Radziwill, 2018):

**Yapay Zeka:** Karmaşık kararları vermede üretim sisteminin sanal olarak yeniden düzenlenip değer zincirindeki paydaşlar tarafından talep edilen herhangi bir değişikliğe anında yanıt verme yeteneğinin geliştirilmesi sağlanmıştır (Sader vd., 2019, s.118).

**Büyük veri:** Veri kaynaklarına kolaylıkla erişim sağlamak ve analiz yapmak için uygun altyapı (MapReduce, Hadoop, Hive ve NoSQL veritabanları gibi) imkanları sunar. Büyük veri kümelerini yönetmek ve analiz etmek için geliştirilen araçlar sayesinde paydaşlardan farklı formatlarda çok sayıda veri elde edilir (Javaid vd., 2021, s.4). CPS, IoT ve bulut bilişim gibi modern teknolojiler kullanılarak geliştirilen kendi kendini düzenleyen algoritmalarla hammaddeden bitmiş ürüne kadar kalitenin kontrolü sağlanabilmektedir (Sony, Antony & Douglas, 2020, s.783).

**Blokzincir:** Şeffaflığın ve denetlenebilirliğin artırılması, kalite hedefleri karşılanmadıkça işlemlerin gerçekleşmemesi için koşulların izlenmesi sağlanır. Yalnızca kalite hedefleri karşılandığında

işlemlerin gerçekleşmesine izin veren kalıcı izlemeler ile veri kalitesinin ve kalite kültürünün geliştirilmesine katkıda bulunulur.

**Derin öğrenme:** Görüntü sınıflandırma, karmaşık örüntü tanıma, zaman serisi tahmini, metin oluşturma ve tanıma, ses ve görüntü oluşturma, gerçek videodan hayali video oluşturma, buluşsal yöntemlere dayalı sihirbazları ayarlama (örneğin bir fotoğrafta somurtkan bir kişinin gülümsemesini sağlamak gibi) olanaklarını sunar.

**Etkinleştirme teknolojileri,** sensörler ve aktüatörler, bulut bilişim, açık kaynaklı yazılımlar, artırılmış gerçeklik (Augmented Reality-AR), karma gerçeklik (Mixed Reality-MR), sanal gerçeklik (Virtual Reality-VR), 5G ağları, IoT gibi bağlantı alanındaki en son gelişmelerle ilgilidir. Sensörler üretim kalitesinin korunmasına yardımcı olan önemli bir bileşendir. Bu sensörleri kullanan işletmeler kaliteyi oluşturan temel bileşenleri kontrol etmek yerine son aşamada ortaya çıkacak kalite sorunlarından kaçınmak için tedarikçilerin süreç kalitelerini denetlerler. Tedarikçiler ile üreticiler yakın işbirliği içerisinde hareket ederek işletmenin iç süreçlerini değerlendirirler. Bu sayede hem üreticilerin hem de tedarikçilerin kalite gereksinimlerini karşılaması çok daha verimli hale gelmektedir (Javaid, 2021, s.2).

**Bulut Tabanlı Sistemler:** Bulut tabanlı uygulamalar organizasyonla birlikte sorunsuz bir şekilde gelişir ve sisteme yeni süreç, personel ve konum ekleme yetkisi verir. Ayrıca üretici herhangi bir platformdan verileri bulut sistemler üzerinden görüntüleyebilir. Riski azaltmak için şirket genelinde otomatik bir düzeltme mekanizması kurulabilmektedir (Javaid vd., 2021, s.4).

**Makine öğrenimi:** Metin analizi, öneri sistemleri, e-posta spam filtreleri, dolandırıcılık tespiti, nesneleri gruplara ayırma, tahmin gibi sezgisel yöntemlerle karar vermede, bilgi filtrelemede ve öneri sistemleri için kullanıldığında yardımcı olmaktadır.

**Otomatik ekipmanlar:** Makinelere ve üretim hatlarına kurulan otomatik ekipmanlar, yürütülen faaliyetleri nicelleştirdiğinden ölçüm sistemlerine ilişkin karar vermede, toplanan verileri gözden geçirmede ve mevcut süreçleri iyileştirmek için uygun önleyici tedbirleri almada önemli bir rol oynamaktadır (Javaid vd., 2021, s.3).

**Çevrimiçi platformlar:** İnsanların işlerini daha hızlı ve daha düşük maliyetle yapmalarını sağlamaktadır. Çevrimiçi platformlar aracılığıyla çevresel faktörler izlenerek bu faktörlerin kalite dalgalanmaları üzerindeki etkileri belirlenebilmektedir (Javaid vd., 2021, s.3).

### 3. Endüstri 4.0'ın Kalite Yönetimi Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi

Kaliteli bir ürünün geliştirilmesi tüketicinin bakış açısından kalitenin tam olarak anlaşılmasına bağlıdır. Bu nedenle üreticiler mümkün olduğu kadar müşterilerinin isteklerini yerine getirmek için faaliyetlerini sürdürmelidir (Javaid, 2021, s.5). Kalite yönetiminde kullanılan geleneksel yöntemler üretim süreçlerinde hataların tespit edilmesini ve yönetsel düzeyde daha doğru kararların verilmesini sağlamaktadır. Ancak düzeltici faaliyetlerin yürütülmesinde çeşitli nedenlerle gecikmeler yaşanabilmektedir. Buna ek olarak seri üretim ve kitlesel kişiselleştirme modeli ile birlikte artan üretim miktarları üretim süreçlerinde yeni karmaşıklıkların oluşmasına ve kalite yönetiminde yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bilgi ve iletişim teknolojileri sayesinde kalite yönetimi faaliyetleri teknolojiye entegre edilmiş ve kalitenin eş zamanlı olarak yönetilmesi kolaylaşmıştır (Carvalho vd., 2021, s.342). Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim süreçlerine entegrasyonu ile müşterilerin kalite gereksinimlerinin karşılanması ve son müşteriden tedarikçilere kadar toplam kalite yönetimi uygulamalarının etkin bir şekilde yürütülmesi sağlanmaktadır. Bu entegrasyon sayesinde kusurlu ürünler erken tespit edilmekte son müşteri ile iletişim etkin bir şekilde yürütülmekte ve üretim sistemi pazarın talebine hızla cevap verebilmektedir. Böylece işletmenin katlanmak zorunda kaldığı kalite maliyetleri de en aza indirilebilmektedir (Sader vd., 2019, s.123). Endüstri 4.0 teknolojileri ile mühendislik, planlama, üretim, operasyon, lojistik süreçlerinde esnekliğe ve yüksek kalite standartlarına ulaşılabilmektedir. Aynı zamanda maliyet, kullanılabilirlik ve kaynak tüketimi gibi çeşitli kriterlere göre optimize edilebilen dinamik ve eş zamanlı kendi kendini organize edebilen değer zincirleri oluşturulabilmektedir. Endüstri 4.0 teknolojileri sayesinde çalışanlar rutin görevleri



yerine getirme zorunluluğundan kurtulmakta ve daha yaratıcı katma değerli faaliyetlere odaklanabilmektedir (Kagermann, 2013, ss.20-21).

Geleneksel kalite yönetimi uygulamalarında karşılaşılan en büyük zorluk müşteri ihtiyaçlarının sürekli değişmesi ve yüksek bir kalite seviyesini korumanın zor olmasıdır (Sony, Antony & Douglas, 2020, s.780). Endüstri 4.0 teknolojileri işletmelerde kalite yönetiminin rolünü yeniden şekillendirmiştir. Dijital teknolojiler müşterilerden gelen eş zamanlı verileri kullanmada, müşteri hizmeti sunmanın daha iyi yollarını bulmada yaşanacak zorlukların üstesinden gelinmesine ve iç süreçlerinin iyileştirilmesinde önemli bir katkı sağlamaktadır. Kalite yönetimi faaliyetleri tüm kuruluşa ve değer yaratma süreçlerine yayılmaktadır. Bu nedenle dijitalleşme girişimlerinde kalite yönetiminin oynayacağı rolü anlamak oldukça önemlidir (Elg vd., 2020, s.1). Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimi alanına sunduğu fırsatlar Zaidin vd. (2018) tarafından stratejik, operasyonel, çevre ve insan olmak üzere üç kavram üzerinden tanımlanmıştır. Stratejik anlamda tüm operasyonlarda maliyet tasarrufu sağlayan, kalite farklılıklarını azaltan ve teslimat etkinliğini arttıran bir strateji olarak benimsenmelidir (Amit ve Zott, 2012, s.41). Üretim faaliyetleri esnasında karar verme süreçlerini destekleyen akıllı nesnelere üretim planlama ve kontrol, çizelgeleme, fabrika denetimi, eş zamanlı veri toplama, işleme ve karar verme gibi konular hakkında farklı türden sorunların çözülmesine katkıda bulunmaktadır. Farklı karar seviyelerinde akıllı nesnelere gömülü entegre algoritmalar ve araçların kullanımıyla optimal karar verme koşulları oluşturulmaktadır (Putnik vd. 2015, s.151). Operasyonel açıdan ürün ve hizmetlerin üretilmesinden müşteriye ulaştırılmasına kadar tüm süreçlerin bu teknolojiler sayesinde daha verimli bir şekilde işlemesi mümkün olmaktadır. Çevre ve insan açısından ise üretim ortamlarının sıcaklık, nem ve hava kalitesinin izlenmesinde ölçüm sensörlerinin kullanılması ile denetimli bir ortam yaratılmaktadır. Operatörler IoT aracılığıyla mevcut çevresel koşullar hakkında bilgi toplayıp farklı operasyonlar için oluşturulması gereken optimum koşulları kontrol merkezlerinden yönetebilmektedir (Javaid, 2021, s.5). Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu diğer fırsatlar aşağıda belirtildiği gibidir (Javaid vd., 2021, ss.7-9; Kagermann vd., 2013, ss.15-16; Sader vd., 2017, ss.5-6; Sader, vd., 2019, s.124):

***İşyerindeki demografik değişime yanıt verme:*** İş organizasyonu ve yetkinlik geliştirme girişimleriyle bağlantılı olarak insanlar ve teknolojik sistemler arasındaki etkileşimli işbirlikleri, işletmelere demografik değişimi kendi avantajlarına çevirmenin yeni yollarını sunmaktadır. Nitelikli işgücü sıkıntısı ve işgücünün artan çeşitliliği (yaş, cinsiyet ve kültürel geçmiş açısından) nedeniyle insanların çalışmaya devam etmelerini ve daha uzun süre üretken kalmalarını sağlayacak çeşitli ve esnek kariyer seçenekleri yaratılmaktadır.

***İş-yaşam-dengesini:*** CPS kullanan şirketler daha esnek iş organizasyonları oluşturabilmektedir. Bu durum çalışanların iş-özel yaşamları ve kişisel-mesleki gelişimleri arasında denge kurmalarına olanak sağlamaktadır. Örneğin akıllı yardım sistemleri ile çalışanların kişisel ihtiyaçlarını karşılamak için yeni bir esneklik standardı sağlayacak şekilde işler organize edilebilmektedir.

***Eş zamanlı veri izleme ve erken arıza tahmin sistemlerinin geliştirilmesi:*** Üretim ortamından elde edilen bilgilere göre arızalı makinelere kısa sürede müdahale edildiği, arıza sürelerinin azaltılabildiği ve bakım maliyetlerinin düşürüldüğü görülmüştür.

***Ürünler için toplam denetimi sağlayan süreç içi akıllı kalite güvence sistemlerinin kurulması:*** Hataların erken tespiti (kalite kontrol) ve nedenlerinin ortadan kaldırılması (kalite güvencesi) sayesinde minimum kalite maliyeti avantajı elde edilebilmektedir.

***Kanıtla dayalı karar verme:*** Birbirine bağlanabilen ve öğrenebilen makineler sayesinde işbirlikçi bir yapı oluşturularak toplanan veriler analiz edilebilmektedir. Bu durum bağımsız karar verme yeteneğini de desteklemektedir.

***Müşteri odaklılık:*** Tedarikçilerden son müşterilere kadar üretim sistemlerinin entegrasyonunun sağlanması ile müşterilerin tüketim davranışları ve eğilimleri hakkında erkenden tahminlerde bulunarak doğru zamanda uygun ürün/hizmetlerin sunulması işletmeye rekabet avantajı sağlamaktadır.

**Liderlik:** Endüstri 4.0 araçlarının kullanılması şeffaf üretim süreçlerinin oluşturulmasını işgücü ve makine gibi kaynakların verimli bir şekilde talebe göre düzenlenip yönetilmesini kolaylaştırmaktadır.

**Çalışanların katılımı:** Endüstri 4.0 teknolojileri çalışanların iletişimini ve işbirliğini desteklemekte yaratıcılığı ve bireysel katkıları teşvik etmektedir. Çalışanlar eş zamanlı elde ettikleri veriler sayesinde risklerden kaçınma ve çözüm önerilerinde bulunma konusunda inisiyatif alabilmektedir.

**Süreç iyileştirme:** Üretim faaliyetlerinin şeffaflık kazanması ile süreçler verimlilik ve kaynak tahsisi konusunda iyileştirilmektedir. Teknolojik araçlar ile üretimdeki darboğazların ve kusur kaynaklarının kolaylıkla izlenebilmesi üretim maliyetlerini de en aza indirmektedir. Ayrıca pazarın talebinden tedarikçilere kadar uzanan tüm süreçlerin entegrasyonu ile tedarik zinciri boyunca yanıt verme yeteneği geliştirilebilmektedir.

**İlişki yönetimi:** Kuruluşun tüm paydaşları arasında sağlanan entegrasyon ve etkili iletişim Endüstri 4.0'ın önemli faydalarından biridir. Tedarikçiler üretim sistemleriyle bağlantılı olarak tüm organizasyonun ihtiyaçlarını anlamakta ve talebe her zamankinden daha hızlı yanıt verebilmektedir.

**İş kültürü ve ortaklık:** Müşterilerle ve tedarikçilerle kurulan işbirlikleri kolaylaşmaktadır. İşletmeler bu sayede daha derin bağlantılar oluşturabilir, eş zamanlı koordinasyon, müşteri deneyimi ve basitleştirilmiş raporlama yoluyla daha yüksek hizmet imkanı sunabilmektedir.

**İstenen koşullara göre otomatik uyarım:** Kablosuz IoT ağları aracılığıyla üretim hattı boyunca ayrıntılı veri noktaları oluşturulabilmektedir. Eş zamanlı operasyonel gözlemler ve süreç otomasyonu için tüm sensör verileri uzak bir IoT ağı aracılığıyla birleştirilerek istenmeyen durumların oluşması engellenebilmektedir.

2018'de Boston Consulting Group (BCG) tarafından yapılan araştırmaya göre Kalite 4.0 uygulamalarının önündeki engeller; dijital beceri ve yetenek eksikliği, belirsiz dijital stratejiler, kalite kültüründeki yetersizlik, eskiyen sistemler/altyapılar, veri kalitesindeki sorunlar ile siber güvenlikle ilgili eksikliklerdir. Kalite 4.0'ı etkin bir şekilde uygulayabilmek için üst yönetimin desteği, geliştirilen yol haritasının, vizyon ve stratejilerin kuruma yayılması, etkili eğitim ve ödüllendirme sistemlerinin kurulması, çalışanların bilgi ve farkındalık düzeylerinin artırılması, Kalite 4.0'a yönelik bir organizasyon kültürünün oluşturulması, müşteri ve tedarikçi odaklılığının sağlanması gerekmektedir.

#### 4. Sonuç

Endüstri 4.0 teknolojileri ile merkezi olmayan ve bireyselleştirilmiş üretime yönelik köklü bir dönüşüm yaşanmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojileri sayesinde insanlar, nesnelere ve süreçler arasındaki bağlantılar artmış işletmeler ürün/hizmet ve süreç kalitesini sürekli olarak iyileştirerek rekabetçi bir ortamda faaliyet göstermek zorunda kalmışlardır. Bu rekabet baskısı ile ürün bulunabilirliği, güvenilirliği, teslim süreleri gibi konularda daha fazla değer yaratmaya odaklanılmıştır. Özellikle Endüstri 4.0 ile anılan CPS sayesinde değer zincirindeki paydaşlar tarafından talep edilen herhangi bir değişikliğe üretim sistemlerinin anında yanıt verme yeteneği gelişmiştir. CPS, IoT, büyük veri ve bulut bilişim gibi birçok yenilikçi teknolojiler geleneksel kalite tekniklerini güçlendirerek üretim sistemlerinin etkinliğini ve verimliliğini arttırmıştır. CPS ile üretim aşamasındaki kalite kontrol faaliyetlerinin şeffaf ve objektif bir şekilde sürdürülmesi kaliteyi etkileyen süreç parametrelerinin sürekli olarak izlenmesini mümkün kılmaktadır. Büyük veri ile kanıta dayalı karar vermeyi kolaylaştıran verilerin görselleştirilmesi ve analizinin yapılması daha kolay hale gelmiştir. Makine-insan ara yüzlerini destekleyen teknolojiler sayesinde eş zamanlı izleme faaliyetleri daha etkili sonuçlar üretilmesini desteklemiştir. Eşzamanlı izlemelerle olası hataların erkenden önüne geçilebilmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimi uygulamalarında kullanılması olarak ifade edilen Kalite 4.0 kalite yönetiminin dijitalleştirilmesini ifade etmektedir. Bu dijitalleşme işletmelerde tüm süreçleri etkilemekte ve entegrasyon gerektirmektedir. Bu entegrasyon sürecinde tüm paydaşlar değer zincirinin bir parçası oldukları için ürün/hizmet geliştirme süreçlerinde yer almaktadır. Kalite 4.0 sadece teknolojiyle ilgili değil dijital dönüşüm yoluyla kültürün, çalışan yetkinliğinin ve kalite liderliğinin geliştirilmesiyle de ilgilidir. Kalite 4.0 girişimlerinin başarılı

olması için tüm çalışanları kapsayan kültürel bir değişim gerekmektedir. Tüm çalışanların kaliteden sorumlu olduğu bir kültürü teşvik eden kalite liderlerinin desteği oldukça önemlidir. Endüstri 4.0 teknolojilerini kalite yönetiminde kullanacak işletmelerin teknoloji yatırımlarını yaparken sermaye yapılarını, veri işleme kapasitelerini, mevcut iş gücünün teknolojiyi kullanabilme yeterliliğini, siber saldırılar konusundaki yeterliliklerini, yeni iş modellerine ve yönetim yapısına duyulan ihtiyaçlarını değerlendirmeleri gerekmektedir. Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojileri kalite yönetimi alanında uygulamanın en büyük zorluklarından birisi dijital becerilerdeki yetenek eksikliğidir. Bunun için işletmeler öncelikle işgücünü teknoloji kullanımındaki yeterliliklerine göre istihdam ederek ya da mevcut işgücünün teknoloji kullanım kapasitesini iyileştirerek üretim süreçlerindeki sorunlu alanlara yönelik çözümler geliştirmelidir. Kalite 4.0 araçlarının etkin bir şekilde kullanılması için çeşitli eğitimlerle çalışanların teknoloji kullanım becerilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Çalışanlar CPS ile donatılmış akıllı fabrikalarda, nesnelerin interneti aracılığıyla büyük ağlar üzerinden merkezi olmayan karar verme süreçleri ile ilgili olarak iletişimde olacaklardır. Bunun için işletmelerin teknolojiye yapılan yatırım kadar insana da yatırım yapmaları çalışanların hem teknik hem de dönüşümsel beceriler bakımından stratejik konularda nasıl eğitileceği araştırılmalıdır.

**Yazar Katkı Oranı (Author Contributions):** Aysel ÇETİNDERE FİLİZ (%100)

**Yazarların Etik Sorumlulukları (Ethical Responsibilities of Authors):** Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

**Çıkar Çatışması (Conflicts of Interest):** Çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**İntihal Denetimi (Plagiarism Checking):** Bu çalışma intihal tarama programı kullanılarak intihal taramasından geçirilmiştir.

**KAYNAKÇA**

- Albers, A., Gladysz, B., Pinner, T., Butenko, V. ve 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.
- Amit, R. ve Zott, C. (2012). "Creating Value Through Business Model Innovation". *MIT Sloan Management Review*. 53: 41-49.
- Armani, C. G., Oliveira, K. F., Munhoz, I. P. ve Akkari, A. C. S. (2021). "Proposal and Application of A Framework to Measure The Degree of Maturity in Quality 4.0: A Multiple Case Study". *Advances in Mathematics for Industry 4.0*. 4: 131-163.
- Arsovski, S. (2019). "Social Oriented Quality: From Quality 4.0 Towards Quality 5.0". *Proceedings on Engineering Sciences*. 1(2): 397-404.
- Bolatan Sönmeztürk, G. İ. (2020). "Kalite 4.0". *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 21: 437-454.
- Carvalho, A. V., Enrique, D. V., Chouchene, A. ve Charrua-Santos, F. (2021). "Quality 4.0: An Overview". *Procedia Computer Science*. 181: 341-346.
- Chiarini, A. (2020). "Industry 4.0, Quality Management and TQM World. a Systematic Literature Review and A Proposed Agenda for Further Research". *The TQM Journal*. 32(4): 603-616.
- Elg, M., Birch-Jensen, A., Gremyr, I., Martin, J. ve Melin, U. (2020). "Digitalisation and Quality Management: Problems and Prospects". *Production Planning and Control*. 31: 1-14.
- Foidl, H. ve Felderer, M. (2016). "Research Challenges of Industry 4.0 for Quality Management". *Lecture Notes in Business Information Processing*. 245: 121-137.
- Jacob, D. (2017). "*Quality 4.0 Impact and Strategy Handbook: Getting Digitally Connected Quality Management*". Cambridge: LNS Research.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P. ve Suman, R. (2021). "Significance of Quality 4.0 Towards Comprehensive Enhancement in Manufacturing Sector". *Sensors International*, 2: 1-13.
- Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). "*Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0*". Frankfurt: Working Group.
- Küpper, D., Knizek, C., Ryeson, D. ve Noecker, J. (2019). "*Quality 4.0 Takes More Than Technology*". Boston Consulting Group (BCG).
- Putnik, D. G., Varela, R.L., Carvalho, C., Alves, C., Shah, V., Castro, H. ve Ávila, P. (2015). "Smart Objects Embedded Production and Quality Management Functions". *International Journal for Quality Research*, 9: 151-166.
- Radziwill, N. (2018). "Quality 4.0: Let's Get Digital: The Many Ways the Fourth Industrial Revolution is Reshaping the Way We Think About Quality". *Quality Progress*. 51(10): 24-29.
- Ralea, C., Dobrin, O. C., Barbu, C. ve Tănase, C. (2019). "Looking to the Future: Digital Transformation of Quality Management". *Proceedings of the International Management Conference*. 13(1): 121-132.
- Sader, S., Husti, I. ve Daróczi, M. (2017). "Total Quality Management in the Context of Industry 4.0". *Proceedings of the Synergy International Conferences-Engineering, Agriculture and Green Industry Innovation*. 16-19 Ekim 2017, Gödöllő, Hungary.

- Sader, S., Husti, I. ve Daroczi, M. (2019). "Quality Management Practices in the Era of Industry 4.0". *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Research Reviews of Czestochowa University of Technology*. 35(1): 117-126.
- Salimova, T., Vatolkina, N., Makolov, V. ve Anikina, N. (2020). "The Perspective of Quality Management System Development in the Era of Industry 4. 0 Perspective". *Humanities & Social Sciences Reviews*. 8(4): 483-495.
- Sanghavi, D., Parikh, S. ve Raj, S. A. (2019). "Industry 4.0: Tools and Implementation". *Management and Production Engineering Review*. 10: 3-13.
- Sisodia, R. ve Villegas Forero, D. (2019). "*Quality 4.0—How to Handle Quality in The Industry 4.0 Revolution*". Department of Technology Management and Economics Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden.
- Sony, M., Antony, J., Douglas, J. A. ve McDermott, O. (2020). "Motivations, Barriers and Readiness Factors for Quality 4.0 Implementation: An Exploratory Study". *The TQM Journal*. 32(4): 779-793.
- Sony, M., Antony, J. ve Douglas, J. (2020). "Essential Ingredients for The Implementation of Quality 4.0: A Narrative Review of Literature and Future Directions for Research". *The TQM Journal*. 32(4): 779-793.
- Sureshchandar, G.S. (2022). "Quality 4.0 – Understanding the Criticality of the Dimensions Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) Technique". *International Journal of Quality & Reliability Management*. 39(6): 1336-1367.
- Zaidin, N. H. M., Diah, M. N. M., Yee, P. H. ve Sorooshian, S. (2018). "Quality Management in Industry 4.0 Era". *Journal of Management and Science*. 8(2): 82-91.
- Zhou, K., Liu, T. ve Zhou, L. (2015). "Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenge". In *Proceedings of 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (2147-2152)*. Zhangjiajie, China: IEEE.
- Zonnenshain, A. ve Kenett, R. S. (2020). "Quality 4.0-The Challenging Future of Quality Engineering". *Quality Engineering*. 32(4): 614-626.
- Witkowski, K. (2017). "Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management". *Procedia Engineering*. 182: 763-769.