

**T.C.  
HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ENDÜSTRİ 4.0'IN KALİTE SÜREÇLERİNE ENTEGRASYONU:  
KALİTE YÖNETİMİ VE KONTROL SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

**Merve UĞURLUEL**

**YÜKSEK LİSANS**

**GAZİANTEP - 2025**



## LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ KABUL VE ONAY FORMU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Merve UĞURLUEL tarafından hazırlanan “Endüstri 4.0'ın Kalite Süreçlerine Entegrasyonu: Kalite Yönetimi ve Kontrol Sistemlerinin İncelenmesi” başlıklı tez, 17/01/2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucu **başarılı** bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

<u>Görevi</u>	<u>Unvanı, Adı ve Soyadı</u>	<u>Kurumu/Üniversitesi</u>	<u>İmzası:</u>
<b>Tez Danışmanı</b>	Dr. Öğr Üyesi Jamil HALLAK	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	
<b>Jüri Başkanı</b>	Dr. Öğr. Üyesi Yasemin SERYOLDAŞ	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	
<b>Jüri Üyesi</b>	Dr. Öğr. Üyesi Yaser ALAİWİ	Altınbaş Üniversitesi	

**Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile onaylanmıştır.**

Enstitü Müdürü  
Doç. Dr. Ufuk AKBAŞ

*Bu tez, erkek şiddetiyle katledilmiş tüm kadınlara, Ayşegül Halil ve İkbâl Uzuner'e adanmıştır.*

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Merve UĞURLUEL

Tarih: 17.01.2025

HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ENDÜSTRİ 4.0'IN KALİTE SÜREÇLERİNE ENTEGRASYONU:  
KALİTE YÖNETİMİ VE KONTROL SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

**Merve UĞURLUEL**

**YÜKSEK LİSANS**

**Danışman  
Dr. Öğretim Üyesi Jamil HALLAK**

**ÖZET**

Bu tez, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim ve kontrol süreçlerine etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmanın temel motivasyonu, dijitalleşme ve otomasyon süreçlerinin kalite yönetim araçlarına nasıl entegre edilebileceğini anlamak ve bu entegrasyonun organizasyonlar için sağladığı avantajları değerlendirmektir. Bu bağlamda, çalışmanın yöntemi olarak Türkiye genelinde farklı sektörlerde çalışan 91 katılımcıya anket uygulanmış, katılımcılardan demografik bilgiler, çalıştıkları sektör, buldukları bölge ve görev pozisyonlarına dair veriler toplanmıştır. Anket sonuçları, 5S, Kaizen ve Altı Sigma gibi yöntemlerin Endüstri 4.0 teknolojileriyle entegrasyonu ile bölgesel ve sektörel farkların etkisini belirlemek üzere ki-kare testi ile analiz edilmiştir. Araştırma, dijital dönüşüm süreçlerinin kalite yönetim sistemleri üzerindeki katkılarını istatistiksel olarak ortaya koyarken, aynı zamanda bu teknolojilerin işletmelerdeki uygulama düzeylerini ve iyileştirme potansiyellerini de değerlendirmektedir. Elde edilen bulgular, kalite süreçlerinin Endüstri 4.0 ile optimize edilmesine yönelik stratejik önerilere zemin hazırlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** endüstri 4.0, kalite yönetim sistemi, kalite kontrol

**HASAN KALYONCU UNIVERSITY  
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE  
DEPARTMENT of INDUSTRIAL ENGINEERING**

**INTEGRATION OF INDUSTRY 4.0 INTO QUALITY PROCESSES: AN  
ANALYSIS OF QUALITY MANAGEMENT AND CONTROL SYSTEMS**

**Merve UĞURLUEL**

**MASTER**

**Advisor  
Asst. Prof. Dr. Jamil HALLAK**

**ABSTRACT**

This thesis aims to comprehensively examine the impacts of Industry 4.0 technologies on quality management and control processes. The primary motivation of the research is to understand how digitalization and automation processes can be integrated into quality management tools and to evaluate the advantages this integration provides for organizations. In this context, a survey was conducted with 91 participants working in different sectors across Turkey as the research methodology. Demographic information, the sectors in which participants work, their regions, and job positions were collected through the survey. The survey results were analyzed using the chi-square test to determine the integration of methods such as 5S, Kaizen, and Six Sigma with Industry 4.0 technologies, as well as the effects of regional and sectoral differences. The research statistically demonstrates the contributions of digital transformation processes to quality management systems while also evaluating the implementation levels and improvement potentials of these technologies in businesses. The findings provide a basis for strategic recommendations aimed at optimizing quality processes with Industry 4.0.

**Keywords:** Industry 4.0, quality management system, quality control

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında sunduğu değerli katkılar, yapıcı fikirler, kıymetli yönlendirmeler ve süreç boyunca sağladığı destekle çalışmalarımı kolaylaştırdığı için danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Jamil Hallak'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışma boyunca rehberliği ve yol göstericiliği için minnettarım.

Ayrıca yüksek lisansımın başından itibaren Endüstri 4.0'a olan ilgimi derinleştiren ve ders döneminde hazırladığımız her ödevde mühendislik ile teknolojinin çok katmanlı yapısını keşfetmeye olanak sağlayan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Zülal Kenger'e teşekkürü bir borç bilirim. Sağladığı değerli katkılar için minnettarım.

En büyük teşekkürü, ülkemizi karanlıktan aydınlığa çıkararak, kadınlara özgür ve eşit bir yurttaşlık hakkı tanıyan, bilimsel düşüncenin rehberliğini esas alarak özgür bir Cumhuriyetin temellerini atan kurucu liderimiz, ilk ve ebedi Cumhurbaşkanımız Gazi Mustafa Kemal Atatürk'e sunuyorum. Kendisine, kadınların özgürleşmesine, bilimin yol göstericiliğine ve bağımsızlık ilkesine verdiği ilham için derin minnet ve saygılarımı ifade etmek isterim.

Merve Uğurluel  
Gaziantep, 2024

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xiii
1. Giriş.....	1
2. Açıklama.....	3
2.1. Endüstri 4.0'ın Tanımı ve Temel Özellikleri.....	3
2.2. Kalite Yönetim Sistemleri ve Endüstri 4.0 İlişkisi.....	3
2.3. Tezde Kullanılan Yöntemlerin Açıklaması.....	4
2.4. Araştırmanın Kapsamı.....	4
3. Kavramsal Çerçeve.....	6
3.1. Endüstri Devrimleri ve Tarihsel Evrimi.....	6
3.1.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0).....	6
3.1.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0).....	9
3.1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0).....	13
3.1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0).....	16
3.2. Kalite Süreçleri.....	34
3.2.1. Kalite Nedir?.....	34
3.2.2. Kalite Yönetimi.....	38
3.2.3. Total Kalite Yönetimi (TQM).....	41
3.3. Altı Sigma Nedir?.....	62
3.4. 5S Tekniği.....	96
3.5. Kaizen Kavramı.....	113

4. Literatür Gelişimi.....	129
4.1. Endüstri 4.0: Tanımı ve Gelişimi.....	129
4.2. Kalite Kontrol ve Endüstri 4.0 Kesişimi.....	131
4.3. Altı Sigma, 5S ve Kaizen'in Gelişimi.....	134
4.4. Endüstri 4.0 ile Altı Sigma, 5S ve Kaizen'in Kesişimi.....	137
4.5. Kalite Yönetimi ve Endüstri 4.0.....	138
5. Materyal ve Yöntem.....	142
5.1. Araştırmanın Amacı.....	142
5.2. Veri Toplama Yöntemleri.....	142
5.3. Örneklem.....	143
5.4. Veri Analizi Yöntemleri.....	143
5.5. Ki-Kare Analizi.....	144
6. Bulgular ve Sonuçlar.....	147
7. Değerlendirme ve Öneriler.....	180
Kaynakça.....	187
EKLER.....	204

## **KISALTMALAR**

5S: Sort, Straighten, Shine, Sustain, Standardize

AI: Artificial Intelligence

AR: Artırılmış Gerçeklik

CPS: Siber-Fiziksel Sistemler

DMAIC: Define, Measure, Analyse, Improve, Control

IoT: Internet of Things

KK: Kalite Kontrol

KYS: Kalite Yönetim Sistemleri

PUKÖ: Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem al

RFID: Radyo Frekansı ile Tanımlama

SPC: İstatistiksel Süreç Kontrol

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. İplik eğirme makinesi .....	6
Şekil 2. IoT kullanım alanları.....	19
Şekil 3. Total Kalite Yönetim Yapısı .....	45
Şekil 4. 6 Sigma yapısının performansı arasındaki ilişkinin teorik modellemesi.....	63
Şekil 5. Altı Sigma Mükemmellik Modeli.....	68
Şekil 6. 6 Sigma Tabanlı İzleme ve Bakım.....	79
Şekil 7. DFSS.....	84
Şekil 8. 5 S maddeleri .....	95
Şekil 9. 5 S Kırmızı Etiket.....	98
Şekil 10. Ekipmanların Kullanım Sıklığına Göre Sınıflandırılması.....	106
Şekil 11. Kaizen Şemsiyesi.....	114
Şekil 12. PUKÖ Döngüsü.....	118
Şekil 13: Bar Grafik: Sektörlere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Analizi.....	147
Şekil 14. Bölgelere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Durumu Analizi.....	150
Şekil 15. Çalışma Kategorilerine Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanım Durumu Analizi.....	153
Şekil 16. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetim Araçlarının Kullanım Durumlarının Dağılımı.....	157
Şekil 17. Kalite Yönetim Araçlarının Kullanımı ile Endüstri 4.0 Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Dağılımı.....	160
Şekil 18. Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetimi Entegrasyonu ile Kalite Yönetim Araçlarının Verimlilik Artışı Arasındaki İlişki.....	164

Şekil 19. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Analizi.....	167
Şekil 20. Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi.....	170
Şekil 21. Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu ve Endüstri 4.0'ın Kalite Kontrol Süreçleri Verimliliği Üzerindeki Etkisi .....	173



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Endüstri 4.0'ın en önemli özellikler.....	17
Tablo 2. Dikey-Yatay Entegrasyon Avantajlar.....	21
Tablo 3. Akıllı Fabrika ve Gelenekselleşmiş Üretim Kiyaslanması.....	24
Tablo 4. Klasik Kalite ve TKY Anlayışı Karşılaştırması.....	44
Tablo 5. Kalitenin Gelişim Evreleri.....	53
Tablo 6. 6 Sigma Dönüşüm Tablosu.....	63
Tablo 7. Altı Sigma Mükemmellik Modeli.....	71
Tablo 8. 6 Sigma Roller.....	77
Tablo 9. 6 Sigma Araçları.....	83
Tablo 10. 6 Sigma Süreçleri.....	83
Tablo 11. Ekipmanların Kullanım Sıklığına Göre Sınıflandırılması.....	100
Tablo 12. Kaizen ve Yenilik Kriterleri.....	120
Tablo 13. Chi Square Test Sektörlere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Analizi.....	148
Tablo 14. Bölgelere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Durumunun Chi-Square Analizi.....	152
Tablo 15. Çalışma Kategorileri ile Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi.....	155
Tablo 16. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetim Araçları Kullanım Durumları Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi.....	158
Tablo 17. Kalite Yönetim Araçlarının Kullanımı ile Endüstri 4.0 Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi.....	162
Tablo 18. Endüstri 4.0 Entegrasyonu ile Kalite Yönetim Araçlarının Verimliliği Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi.....	165

Tablo 19. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi.....	168
Tablo 20. Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi.....	172
Tablo 21. Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu ve Endüstri 4.0'ın Kalite Kontrol Süreçleri Verimliliği Üzerindeki Etkisi.....	175
Tablo 22. Chi-Square Test Sonuçları Tablosu.....	176
Tablo 23. Kalite Yönetim Süreçlerinin Güçlü ve Zayıf noktaları.....	181
Tablo 24. Bölgeler için uygulamalı öneriler.....	184
Tablo 25. Bölgeler için öneri ve stratejiler.....	185

# BİRİNCİ BÖLÜM

## 1. GİRİŞ

Bu tez, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol ve kalite yönetim süreçleri üzerindeki etkilerini incelemeye odaklanmıştır. Endüstri 4.0, dijital dönüşüm ve otomasyon sistemlerini içeren kapsamlı bir yenilik süreci olarak, üretimden hizmet sektörüne kadar birçok alanda köklü değişimler yaratmaktadır. Bu süreçte, kalite yönetimi ve kontrolü, Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu fırsatlardan en çok etkilenen alanlardan biri olarak öne çıkmaktadır (Schwab, 2016). Özellikle büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka (AI), siber-fiziksel sistemler (CPS) ve bulut bilişim gibi teknolojiler, kalite süreçlerini yeniden şekillendirme potansiyeline sahiptir.

Kalite kontrol, bir ürünün veya hizmetin belirlenen standartlara uygunluğunu sağlama sürecidir. Bu süreç, üretim sırasında hataların tespit edilmesi ve minimize edilmesi için kritik bir rol oynar (Montgomery, 2013). Kalite yönetimi ise, bu standartların belirlenmesi, uygulanması ve sürekli iyileştirme yoluyla organizasyonun genel hedeflerine ulaşmasına olanak tanıyan bir sistem olarak tanımlanabilir (Dale, 2003). Endüstri 4.0, bu iki sürecin daha verimli, hızlı ve esnek hale gelmesini sağlayan teknolojik bir altyapı sunmaktadır. Örneğin, büyük veri analitiği ve gerçek zamanlı veri toplama teknolojileri, kalite kontrol süreçlerinin hızını ve doğruluğunu artırarak işletmelerin müşteri memnuniyetini daha etkin bir şekilde sağlamasına katkıda bulunmaktadır (Sony vd., 2020).

Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin farklı bölgelerinde faaliyet gösteren firmalarda Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol ve kalite yönetim süreçleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Katılımcılara, çalıştıkları sektör, firmalarının bulunduğu bölge, görev ve pozisyonları gibi temel sorular yöneltilmiştir. Bununla birlikte, işletmelerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanılıp kullanılmadığı, kullanılıyorsa hangi teknolojilere yer verildiği ve bu teknolojilerin kalite kontrol ve yönetim süreçlerine entegrasyon düzeyi sorgulanmıştır. Elde edilen veriler, SPSS yazılımı ile analiz edilmiş ve sonuçlar ki-kare testi ile değerlendirilmiştir. Bu analiz, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite süreçlerine olan katkısını istatistiksel olarak ortaya koymak için kullanılmıştır.

Endüstri 4.0'ın kalite kontrol ve kalite yönetim süreçlerine entegrasyonu, özellikle veri odaklı yaklaşımların benimsenmesiyle süreçlerin daha şeffaf ve izlenebilir hale gelmesini

sağlamaktadır. Büyük veri analitiği, süreçlerdeki hataların daha hızlı tespit edilmesini ve bu hataların kaynağına yönelik çözümler geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Cemernek vd., 2017). Ayrıca, nesnelerin interneti (IoT) sayesinde makineler arasında sürekli bir veri akışı sağlanarak süreçlerin otomatik kontrol edilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu durum, yalnızca üretim süreçlerinde değil, tedarik zinciri yönetiminde de kalite standartlarının daha etkin bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır (Vermesan & Friess, 2014).

Kalite yönetim sistemleri bağlamında, Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu bir diğer önemli katkı, süreçlerdeki insan hatalarının azaltılmasıdır. Örneğin, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları, süreçleri optimize ederek kalite yönetim sistemlerinin daha verimli çalışmasını sağlamaktadır. ISO 9001 gibi uluslararası standartlar, bu teknolojilerin uygulanmasını destekler nitelikte yapılandırılmıştır ve sürekli iyileştirme prensipleri ile uyumludur (Sisodia & Villegas Forero, 2019). Bu bağlamda, Endüstri 4.0, kalite yönetiminde manuel süreçlerden otomasyona geçişi hızlandırmakta ve işletmelerin rekabet gücünü artırmaktadır.

Araştırma sonuçları, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol ve kalite yönetimi üzerindeki etkisinin yalnızca teknik değil, aynı zamanda organizasyonel düzeyde de önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle dijitalleşmenin eksik olduğu bölgelerde, kalite süreçlerinin Endüstri 4.0 ile entegrasyonu sınırlı kalmakta ve bu durum bölgesel kalkınma farklılıklarını derinleştirebilmektedir. Ancak, dijital dönüşüm stratejilerinin etkili bir şekilde uygulanması, bu sınırlamaların aşılmasını ve kalite yönetim sistemlerinin daha etkin bir şekilde işletilmesini mümkün kılacaktır (Zonnenshain & Kenett, 2020).

Sonuç olarak, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol ve kalite yönetim süreçlerine entegrasyonu, işletmelerin verimlilik artışı sağlamasında ve müşteri memnuniyetini artırmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu tez, Türkiye'deki işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerinde kalite süreçlerine ilişkin yaklaşımlarını anlamaya yönelik önemli bulgular sunmakta ve bu alandaki literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

# İKİNCİ BÖLÜM

## 2. AÇIKLAMA

### 2.1. Endüstri 4.0'ın Tanımı ve Temel Özellikleri

Endüstri 4.0, dördüncü sanayi devrimi olarak da adlandırılan, dijitalleşme ve otomasyon süreçlerinin üretim teknolojilerine entegre edilmesiyle ortaya çıkan bir dönüşüm sürecidir. Bu süreç, siber-fiziksel sistemler (CPS), büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka (AI), bulut bilişim ve otonom robotik sistemler gibi teknolojilerle karakterize edilmektedir (Schwab, 2016). Endüstri 4.0'ın temel amacı, üretim süreçlerini daha esnek, hızlı ve verimli hale getirerek yüksek kaliteli ürünler sunmak ve müşteri beklentilerini karşılamaktır. Bu bağlamda, Endüstri 4.0 yalnızca teknolojik bir dönüşümü değil, aynı zamanda organizasyonel yapılar ve iş süreçlerinde köklü değişiklikleri de beraberinde getirmektedir (Sony vd., 2020).

Bu teknolojilerden nesnelerin interneti (IoT), üretim hatlarında makinelerin birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayarak, hataların daha hızlı tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Benzer şekilde, büyük veri analitiği, üretim süreçlerinden elde edilen verilerin analiz edilmesi yoluyla kalite sorunlarının önceden tahmin edilmesini sağlamaktadır. Bu özellikler, yalnızca üretim süreçlerini iyileştirmekle kalmayıp, tedarik zinciri yönetiminde de daha etkin kararlar alınmasına katkıda bulunmaktadır (Vermesan & Friess, 2014).

### 2.2. Kalite Yönetim Sistemleri ve Endüstri 4.0 İlişkisi

Kalite yönetim sistemleri, organizasyonların ürün veya hizmetlerini belirlenen standartlara uygun şekilde sunmalarını sağlayan sistematik yaklaşımlardır. Bu sistemler arasında ISO 9001, Altı Sigma, 5S ve Kaizen gibi yöntemler bulunmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojileri, bu yöntemlerin daha etkin bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır:

- **ISO 9001:** Kalite yönetim sistemlerinin temelini oluşturan bu standart, organizasyonların süreçlerini sürekli iyileştirme prensibine dayandırır. Endüstri 4.0, ISO 9001 uygulamalarını dijitalleştirerek süreçlerin daha hızlı ve şeffaf hale gelmesini sağlamaktadır (Sisodia & Villegas Forero, 2019).

- **Altı Sigma:** Süreçlerdeki hataları minimize etmeyi amaçlayan istatistiksel bir yöntemdir. Endüstri 4.0 teknolojileri, veri analizi ve izleme olanaklarıyla Altı Sigma uygulamalarını daha etkili kılmaktadır (Montgomery, 2013).
- **5S:** İş yerinde düzen ve temizlik sağlayarak verimliliği artırmayı hedefleyen bu yöntem, Endüstri 4.0 ile daha güçlü hale gelmiştir. Örneğin, otomatik envanter izleme sistemleri, gereksiz malzemelerin hızla tespit edilmesini sağlamaktadır.
- **Kaizen:** Sürekli iyileştirme felsefesine dayanan Kaizen, veri odaklı karar verme süreçleriyle entegre edildiğinde daha sürdürülebilir sonuçlar sunmaktadır (Cemernek vd., 2017).

Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim araçlarıyla entegrasyonu, yalnızca ürün kalitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda üretim maliyetlerini azaltarak işletmelerin rekabet gücünü de artırır.

### **2.3. Tezde Kullanılan Yöntemlerin Açıklaması**

Bu tezde, Türkiye’de faaliyet gösteren işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseme düzeyleri ve bu teknolojilerin kalite yönetim sistemlerine etkileri incelenmiştir. Veriler, gözlem, literatür taraması ve anket yöntemleri kullanılarak toplanmıştır. Anket, 91 katılımcıya uygulanmış ve katılımcıların demografik bilgileri, çalıştıkları sektörler, firmalarının bulunduğu bölgeler ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu sorgulanmıştır. Toplanan veriler, SPSS yazılımı ile analiz edilmiştir.

Ki-kare testi, bu çalışmada kullanılan temel istatistiksel yöntemdir. Bu test, bağımsız değişkenler (örneğin, sektör, bölge ve pozisyon) ile bağımlı değişkenler (örneğin, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu) arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu analiz, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenme düzeyleri ile kalite yönetim sistemleri üzerindeki etkisini istatistiksel olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır.

### **2.4. Araştırmanın Kapsamı**

Araştırma, Türkiye’nin farklı bölgelerinde faaliyet gösteren işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerini kapsamaktadır. Özellikle, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım oranları ve bu teknolojilerin kalite kontrol süreçleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, Endüstri 4.0 teknolojilerinin Marmara Bölgesi’nde daha yaygın olduğunu, ancak diğer bölgelerde bu teknolojilerin benimsenme düzeyinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Ayrıca,

kalite kontrol süreçlerinde dijitalleşmenin eksik olduğu işletmelerde, süreç verimliliğinin düşük olduğu tespit edilmiştir.



## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

#### 3.1. Endüstri Devrimleri ve Tarihsel Evrimi

##### 3.1.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0)

Sanayi Devrimi'nden önce, dünya ekonomisi büyük ölçüde zanaatkârlık ve tarıma dayalı bir iş gücü yapısına sahipti. Bu dönemde imalat, insanların yaşam alanlarında el aletleri ve basit makineler aracılığıyla gerçekleştiriliyordu. 1712'de Thomas Newcomen'in buhar makinesini icat etmesiyle yeni bir üretim süreci başlamış oldu. Üretimde farklı bir aşamaya geçilerek küçük atölyelerin yerini fabrikalarda yapılan üretim faaliyetleri aldı. (Özkan vd., 2018)

1760'lı yıllarda James Hargreaves'in geliştirdiği iplik eğirme makinesi, tekstil üretiminde önemli değişimlere yol açmış ve bu alandaki gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Aşağıda, 1764 yılında üretilen iplik eğirme makinesi gösterilmektedir. (Metin, 2019)



Şekil 2. İplik eğirme makinesi

Kaynak: (Mısırlı İplikçilik, 2022)

Hans Freyer'e göre, Sanayi Devrimi, geleneksel el işi üretiminden kitlesel üretim esasına dayanan makine sistemine geçişle mümkün olmuştur (Freyer, 2014: 26). Sanayi Devrimi, kömür ve maden yataklarının bulunduğu Batı Avrupa'da, özellikle İngiltere'de, 1750'lerden itibaren meydana gelen gelişmelerle gerçekleşmiştir. Endüstri 1.0, 18. yüzyılın sonlarında İngiltere'de başlayan ve sanayide köklü değişimlere yol açan ilk sanayi devrimidir. Bu dönem, su ve buhar gücüne dayalı makinelerin icadıyla üretim süreçlerinin mekanikleşmesiyle karakterize edilir. Endüstri 1.0, insan ve hayvan gücüne dayalı üretimden makineleşmeye

geçişi ifade eder ve bu geçiş, toplumsal ve ekonomik yapıyı derinden etkileyen bir dönüşüm başlatmıştır. Bu süreç, modern sanayi toplumunun temellerini atmıştır (Freyer, 2014: 26).

- **Başlangıç Noktası ve Teknolojik Gelişmeler:**

Endüstri 1.0'ın başlangıç noktası olarak kabul edilen en önemli buluşlardan biri, 1712 yılında Thomas Newcomen tarafından icat edilen buhar makinesidir. Bu cihaz, kömür madenlerinde suyun dışarı pompalanması için kullanılmış, ancak verimlilik açısından sınırlı kalmıştır. Daha sonra James Watt'ın buhar makinesine yaptığı iyileştirmeler, bu teknolojiyi üretim süreçlerinin vazgeçilmez bir parçası haline getirmiştir. Watt'ın geliştirdiği makine, hem enerji maliyetlerini düşürmüştü hem de üretim hızını artırmıştır (Metin, 2019).

James Hargreaves'in 1764 yılında geliştirdiği *Spinning Jenny*, tekstil endüstrisinde bir devrim yaratmış, iplik üretim kapasitesini kat kat artırmıştır. Richard Arkwright'ın su çerçevesi iplik makinesi (*Water Frame*), mekanik üretimi daha da hızlandırmış ve fabrikaların oluşumunu teşvik etmiştir (Özkan vd., 2018). Aynı dönemde, demir ve kömür üretimindeki artış, bu makinelerin yaygınlaşmasını sağlamış ve sanayi devrimi için gerekli altyapıyı oluşturmuştur.

- **Ekonomik ve Sosyal Etkiler:**

Endüstri 1.0, öncelikle İngiltere'de başlamış ve buradan Avrupa'ya, ardından Amerika'ya yayılmıştır. İngiltere, sahip olduğu zengin kömür yatakları ve güçlü ticaret ağı sayesinde bu sürecin lider ülkesi olmuştur. Londra, Manchester ve Birmingham gibi şehirler, sanayi devriminin merkezi haline gelmiştir. Bu dönemde kömür, temel enerji kaynağı olarak kullanılmış; buhar gücüne dayalı makineler üretim maliyetlerini düşürmüştü ve üretim hızını artırmıştır (Freyer, 2014: 26).

Sanayi Devrimi ile birlikte kırsal alanlardan kentlere göç hızlanmış, bu da büyük sanayi şehirlerinin oluşmasına yol açmıştır. Ancak bu süreç, işçi sınıfının ağır çalışma koşulları ve düşük ücretlerle karşı karşıya kalmasına neden olmuştur. Sosyo-ekonomik değişimler, işçi hakları hareketlerinin doğuşunu tetiklemiştir (Metin, 2019).

### **3.1.1.1. Endüstri 1.0'ın Öne Çıkan Özellikleri:**

1. **Enerji Kaynakları:**

Su ve buhar gücü, Endüstri 1.0'ın temel enerji kaynaklarıdır. Bu enerji türleri, üretimdeki mekanikleşmenin temelini oluşturmuştur. James Watt'ın geliştirdiği buhar

makinesi, özellikle tekstil ve demir-çelik sektörlerinde kullanılmıştır (Freyer, 2014). Buhar gücünün yaygınlaşması, yalnızca sanayide değil, taşımacılıkta da devrim yaratmıştır.

## 2. **Makineleşme:**

Mekanik makinelerin icadı ve kullanımı, üretimde insan gücüne olan bağımlılığı azaltmıştır. James Hargreaves'in *Spinning Jenny* ve Richard Arkwright'ın *Water Frame* makineleri, tekstil üretiminde hızlanmayı sağlamış ve üretim kapasitesini artırmıştır. Bu gelişmeler, üretimde uzmanlaşmayı ve seri üretimi mümkün kılmıştır (Metin, 2019).

## 3. **Üretim Organizasyonu:**

Küçük atölyeler yerini büyük fabrikalara bırakmıştır. Fabrikalardaki iş bölümü ve organizasyon yapısı, üretim süreçlerini daha sistematik hale getirmiştir. Bu durum, İngiltere'nin üretim kapasitesini artırmasına ve dünya ticaretinde lider bir konuma yükselmesine yardımcı olmuştur (Özkan vd., 2018).

## 4. **Taşımacılık ve İletişim:**

Buharlı trenler ve gemiler, lojistik ve ticarete devrim yaratmıştır. İngiltere'de kurulan demiryolu ağları, hammaddelerin fabrikalara daha hızlı taşınmasını sağlamış, üretilen malların pazarlara ulaşımını kolaylaştırmıştır. Bu gelişmeler, iç ve dış ticaretin hacmini artırmıştır (Çelik, 2020).

### 3.1.1.2. **Ülkelerden Örnekler:**

- **İngiltere:** Endüstri 1.0'ın öncüsü olan İngiltere, sanayi devriminin temel buluşlarının çoğuna ev sahipliği yapmıştır. Tekstil ve demir-çelik sektörleri, İngiltere ekonomisinin lokomotifine haline gelmiştir. Ayrıca, buhar gücüne dayalı makineler ve demiryolları, İngiltere'nin küresel ticarete lider bir konuma yükselmesini sağlamıştır (Freyer, 2014).
- **Almanya:** Sanayi devrimi Almanya'da biraz daha geç başlamış olsa da, Ruhr bölgesi kömür ve çelik üretiminde hızla bir merkez haline gelmiştir. Almanya, 19. yüzyılın ortalarında sanayileşme sürecini hızlandırmıştır (Özkan vd., 2018).
- **ABD:** Endüstri 1.0, ABD'ye 19. yüzyılın başlarında ulaşmış ve özellikle kuzeydoğu bölgelerinde tekstil fabrikalarının kurulmasıyla sanayi devrimi başlamıştır. ABD, bu süreçteki teknolojik yenilikleri hızla benimsemiştir (Metin, 2019)

### 3.1.1.3. Endüstri 1.0'ın Zorlukları ve Sonuçları:

- **Çevresel Etkiler:** Kömür gibi fosil yakıtların yoğun kullanımı, çevre kirliliğine yol açmıştır. Sanayi devriminin başlangıcıyla birlikte hava kirliliği ve doğal kaynakların tükenmesi gibi sorunlar ortaya çıkmıştır (Freyer, 2014).
- **Toplumsal Etkiler:** Fabrikalarda düşük ücretlerle ve uzun saatler çalıştırılan işçilerin yaşam koşulları kötüleşmiştir. Bu durum, işçi hakları ve sendikal hareketlerin doğmasına neden olmuştur (Metin, 2019).
- **Ekonomik Farklılıklar:** Kentleşme süreci hızlanmış, tarım toplumundan sanayi toplumuna geçişle birlikte gelir dağılımındaki eşitsizlik artmıştır.

Endüstri 1.0, üretim ve ticarete modernleşmenin ilk adımı olarak, toplumsal ve ekonomik yapıları köklü bir şekilde değiştirmiştir. Küçük ölçekli üretim yerini büyük fabrikalara bırakmış, teknolojik yenilikler iş yapış biçimlerini dönüştürmüştür. Endüstri 1.0, yalnızca sanayi dünyasını değil, aynı zamanda sosyal ve çevresel dinamikleri de şekillendirmiştir. Bu dönemde atılan adımlar, Endüstri 2.0, 3.0 ve nihayetinde 4.0'a uzanan teknolojik gelişmelerin temelini oluşturmuştur (Çelik, 2020).

### 3.1.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0)

Ford fabrikasında motor üretiminde elektrik sisteminin kullanılması, İkinci Sanayi Devrimi'nin önemini ortaya koymuştur. İkinci Sanayi Devrimi sırasında elektrik alanındaki gelişmeler ve uygulamalar, üretim sürecine pek çok avantaj sağlamış; üretim hızı artmış, kapasite yükselmiş ve maliyetlerin düşmesiyle fiyatlarda azalma yaşanmıştır. (Özkan vd., 2018).

Henry Ford'un geliştirdiği montaj hattında, Frederick W. Taylor'un bilimsel yönetim ilkelerinden yararlanılmıştır. Taylor'un *Bilimsel Yönetimin İlkeleri* adlı eserinde önerildiği gibi, idari bir yapı oluşturan ve montaj hattına dayanan fordizmde, imalat süreci birçok küçük aşamaya bölünerek niteliksiz işçilerin çalıştırılmasına imkan tanınmıştır. (Markantonatou, 2007).

İkinci Sanayi Devrimi'nin özellikleri şunlardır:

1. Sanayi alanında teknolojik ve teknik altyapıda niteliksel bir dönüşüm yaşanması.
2. Teknolojik altyapıya dayalı üretimde temel bilimlerin rolünde hızlı bir artış olması.

3. Endüstride yeni bir enerji ve yakıt türüne geçilerek üretimde kullanılan enerji temellerinin değiştirilmesi.
4. Üretim alanlarının yoğunlaşması ve sermayenin merkezileşmesi; birleşik hisseli işletmelerin ortaya çıkması ve üretimde emek birliğinin artması ile sistemde derin değişikliklerin meydana gelmesi.
5. Emek verimliliğinde artış ve toplumun yaşam standartlarının yükselmesi.
6. İş gücü yapısında niteliksel değişimler; üretim aşamalarına akademisyenler, mühendisler ve teknisyenlerin daha fazla katılım göstermesi.
7. Üretilen ürünlerin kalitesinde artış ve maliyetlerinde düşüş yaşanması.
8. Ekonomik krizlerin daha yıkıcı hale gelmesi, emek yoğunluğunun artması ve toplumsal alanda sorunların çoğalması.(Çelik, 2020)

Endüstri 2.0, 19. yüzyılın sonlarından itibaren elektrik enerjisinin üretim süreçlerine entegre edilmesi ve montaj hattı gibi yeniliklerin uygulanmasıyla karakterize edilen bir dönemdir. Bu devrim, özellikle seri üretimin ve iş bölümü sistemlerinin gelişimini hızlandırmış, üretim süreçlerini daha verimli ve maliyet etkin hale getirmiştir. Elektrik gücünün kullanımı, üretim tesislerinde daha esnek yerleşim düzenleri ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlamıştır (Freyer, 2014: 33).

### **3.1.2.1. Başlıca Teknolojik Gelişmeler:**

Endüstri 2.0'ın en belirgin teknolojik yeniliklerinden biri, Henry Ford tarafından 1913 yılında otomotiv sektörüne kazandırılan montaj hattıdır. Bu sistem, üretim sürecini küçük adımlara bölerek iş bölümünü artırmış ve zaman kaybını azaltmıştır. Montaj hattı sayesinde işçiler, belirli bir alanda sabit kalırken ürünler bant sistemiyle hareket etmiştir. Bu yenilik, üretim hızını önemli ölçüde artırmış ve maliyetleri düşürmüştür (Markantonatou, 2007: 120).

Elektrik enerjisinin üretimde kullanılmaya başlanması, bu dönemin en çarpıcı özelliklerinden biridir. Elektrik, sadece makinelerin çalıştırılmasında değil, aynı zamanda fabrikalarda aydınlatma gibi iş güvenliği ve çalışma şartlarını iyileştiren alanlarda da devrim yaratmıştır. Bu gelişme, üretim tesislerinin coğrafi yerleşiminde daha fazla esneklik sağladı, çünkü fabrikalar artık su kaynaklarına bağımlı kalmadan elektrik hatlarının geçtiği herhangi bir yerde kurulabiliyordu (Özkan vd., 2018).

### 3.1.2.2. Endüstri 2.0'ın Öne Çıkan Özellikleri:

#### 1. Elektrik Enerjisinin Kullanımı:

Elektriğin üretim süreçlerinde enerji kaynağı olarak kullanılması, Endüstri 2.0'ın temel taşıdır. Elektrik, sadece makinelerin çalıştırılmasını kolaylaştırmakla kalmamış, aynı zamanda enerji verimliliğini artırmıştır. Ayrıca, elektrik motorları, buhar makinelerine göre daha küçük, daha az bakım gerektiren ve daha esnek bir enerji kaynağı sunmuştur (Freyer, 2014: 35).

Örnek olarak, Almanya'da elektrikli makinelerin sanayiye entegrasyonu, özellikle kimya ve çelik üretimi gibi ağır sanayilerde üretim kapasitesini artırmıştır. ABD'de ise Tesla ve Edison'un katkılarıyla elektrik şebekelerinin yaygınlaşması, üretim süreçlerini modernize etmiştir (Çelik, 2020).

#### 2. Montaj Hattı ve Seri Üretim:

Henry Ford'un montaj hattını devreye sokması, Endüstri 2.0'ın en çarpıcı yeniliklerinden biridir. Örneğin, 1913 yılında Ford fabrikasında bir otomobilin üretim süresi 12 saatten 90 dakikaya indirilmiştir. Bu, ürünlerin daha hızlı ve daha ucuz bir şekilde üretilmesini sağlamış ve geniş tüketici kitlelerine hitap eden seri üretim sistemlerini mümkün kılmıştır (Markantonatou, 2007: 122).

#### 3. Kimya ve Çelik Sektörlerinde Gelişmeler:

Almanya'da kimya sektöründeki yenilikler, Endüstri 2.0'ın önemli bir parçasıdır. BASF ve Bayer gibi şirketler, sentetik boyalar ve diğer kimyasal ürünler üzerinde yaptığı çalışmalarla dünya lideri haline gelmiştir. Benzer şekilde, Ruhr bölgesi, çelik üretiminde öne çıkarak Alman sanayisinin omurgasını oluşturmuştur (Özkan vd., 2018).

#### 4. İş Bölümü ve Verimlilik:

Frederick W. Taylor'ın bilimsel yönetim ilkeleri, Endüstri 2.0'ın üretim organizasyonunda etkin bir şekilde uygulanmıştır. Taylor'ın önerdiği "zaman ve hareket çalışmaları," işçilerin her bir hareketinin standartlaştırılmasını ve üretim sürecinin optimize edilmesini sağlamıştır. Bu sistem, özellikle ABD ve İngiltere gibi sanayileşmiş ülkelerde üretim maliyetlerini düşürmüştür ve verimliliği artırmıştır (Çelik, 2020).

### 3.1.2.3. Ülkelerden Örnekler:

- **ABD:** Endüstri 2.0, ABD’de hızla benimsenmiş ve özellikle otomotiv sektöründe devrim yaratmıştır. Henry Ford’un Michigan’daki fabrikaları, bu dönemin simgesi haline gelmiştir. ABD’de elektrik şebekelerinin hızla yaygınlaşması, fabrikaların verimliliğini artırmış ve sanayileşmeyi hızlandırmıştır (Markantonatou, 2007: 125).
- **Almanya:** Almanya, Endüstri 2.0’ın önemli aktörlerinden biri olmuştur. Kimya, ilaç ve çelik üretiminde yapılan teknolojik yenilikler, Almanya’yı Avrupa’nın sanayi merkezi haline getirmiştir. Ruhr bölgesi, kömür ve çelik üretiminde liderlik yapmıştır (Özkan vd., 2018).
- **İngiltere:** İngiltere, Endüstri 1.0’ın lideri olmasına rağmen, Endüstri 2.0’da ABD ve Almanya’nın gerisinde kalmıştır. Ancak İngiltere, tekstil ve gemi yapımında teknolojik gelişmeleri uygulamaya devam etmiş ve dünya ticaretindeki rolünü korumuştur (Freyer, 2014: 37).

### 3.1.2.4. Endüstri 2.0’ın Zorlukları ve Sonuçları:

1. **Sosyal Eşitsizlik:** Endüstri 2.0, ekonomik büyümeyi hızlarsa da gelir dağılımındaki eşitsizlikleri artırmıştır. Özellikle ABD ve Almanya’da işçi sınıfının çalışma koşulları zorlaşmıştır. İşçilerin uzun saatler çalıştırılması ve düşük ücretler, işçi hakları hareketlerini daha da güçlendirmiştir (Metin, 2019).
2. **Çevresel Sorunlar:** Kimya ve çelik üretimi gibi ağır sanayiler, çevresel sorunların artmasına neden olmuştur. Özellikle kömür tüketiminin artışı, hava kirliliği ve doğal kaynakların tükenmesine yol açmıştır (Çelik, 2020).
3. **Teknolojik Rekabet:** Almanya, ABD ve İngiltere gibi sanayileşmiş ülkeler arasında teknolojik liderlik için rekabet artmış, bu durum uluslararası ticaret ve sanayileşme politikalarını etkilemiştir (Özkan vd., 2018).

Endüstri 2.0, elektrik enerjisi ve montaj hattı gibi yeniliklerle üretim süreçlerini hızlandırmış, maliyetleri düşürmüştür ve sanayiye daha verimli bir hale getirmiştir. Bu süreç, Almanya, ABD ve İngiltere gibi ülkelerde farklı biçimlerde uygulanmış ve bu ülkelerin sanayi liderliklerini pekiştirmiştir. Endüstri 2.0, Endüstri 3.0 ve 4.0’ın altyapısını oluşturmuş, modern sanayileşmenin kritik bir adımı olmuştur.

### **3.1.3. Üçüncü sanayi devrimi (Endüstri 3.0)**

Üçüncü Sanayi Devrimi ile birlikte, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıt kaynaklarının yerini güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı olarak yeni bir dönem başlamıştır. (Rifkin, 2014).

Dijitalleşmenin başlaması ve bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, bilgisayarlardan veri aktarımını mümkün kılan internet ağının kurulmasına zemin hazırlamıştır. 1969 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin savunma bakanlığı, askeri amaçlarla kullanılmak üzere ARPANET adı verilen bir internet ağı oluşturmuştur. 1990'lı yıllarda internetin icadı, sanayi üretimini hızlandırmıştır. (Bilgin, 2018)

Üçüncü Sanayi Devrimi'nin beraberinde getirdiği bilgi ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemeler, yeni bir ekonomik anlayışın doğmasına yol açmıştır. Bilgi toplumu ve teknoloji olarak da adlandırılan bu ekonomik anlayış, bilgisayar ve mikroelektronik teknolojilerine dayanmaktadır. (Çelikaş vd., 2015).

Üçüncü Sanayi Devrimi döneminde, üretim anlayışı olarak Fordizm'in yerini bilgiye dayalı bir üretim modeli almıştır. Bilginin elektronik ortama aktarılması yöntemiyle devreye alınan programlanabilir mantıksal denetleyiciler sayesinde üretim sürecinde otomasyon sistemleri kullanılmış ve müşteri taleplerine göre üretim yapılmıştır. (Gabaçlı ve Uzunöz, 2017).

Endüstri 3.0, 20. yüzyılın ortalarından itibaren elektronik sistemlerin, bilgisayar teknolojilerinin ve otomasyonun üretim süreçlerine entegre edilmesiyle başlayan bir dönemi ifade eder. Bu devrim, dijitalleşme ve elektronik sistemler aracılığıyla üretim süreçlerinde esneklik, hız ve hassasiyet sağlamış; mikroişlemciler, yapay zeka ve robotik gibi yeniliklerle sanayi dünyasında köklü değişikliklere yol açmıştır (Rifkin, 2014). Endüstri 3.0'ın temel bileşenleri arasında programlanabilir mantıksal denetleyiciler (PLC), bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM), mikroişlemciler ve dijital iletişim ağları bulunmaktadır.

#### **3.1.3.1. Başlıca Teknolojik Gelişmeler ve Bilim İnsanlarının Katkıları**

##### **1. Mikroişlemcilerin İcadı ve Gelişimi**

Mikroişlemciler, Endüstri 3.0'ın temel taşlarından biridir. 1971 yılında Intel şirketi, ilk ticari mikroişlemci olan 4004 modelini piyasaya sürmüştür. Bu devrim niteliğindeki buluş, Gordon Moore ve Robert Noyce gibi bilim insanlarının liderliğinde

gerçekleşmiştir. Gordon Moore'un "Moore Yasası" olarak bilinen teorisi, entegre devrelerdeki transistör sayısının her iki yılda bir iki katına çıkacağını öngörmüş ve bu öngörü, dijital teknolojilerin gelişimini hızlandırmıştır (Moore, 1965). Robert Noyce ise mikroişlemcilerin mimarisinde önemli yenilikler yaparak modern bilgisayar teknolojilerinin temelini atmıştır.

## 2. Programlanabilir Mantıksal Denetleyiciler (PLC)

Programlanabilir mantıksal denetleyiciler, üretim süreçlerinin otomasyonunda büyük bir devrim yaratmıştır. 1968 yılında Dick Morley tarafından icat edilen PLC'ler, fabrikalarda makine ve sistemlerin otomatik kontrolünü mümkün kılmıştır. PLC'lerin icadı, özellikle montaj hatlarında süreçlerin hızlanmasını ve hata oranlarının azalmasını sağlamıştır. Bu teknoloji, üretim hatlarının esnek bir şekilde yapılandırılmasına olanak tanımış ve verimliliği artırmıştır (Morley, 1968).

## 3. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (CAD/CAM)

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) sistemleri, Endüstri 3.0 sırasında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. CAD/CAM teknolojileri, üretim süreçlerinde tasarım ve üretim arasındaki bağlantıyı dijitalleştirerek hem maliyetleri düşürmüş hem de ürün kalitesini artırmıştır. Örneğin, General Motors, CAD/CAM teknolojilerini erken benimseyerek otomotiv sektöründe büyük bir avantaj elde etmiştir (Bilgin, 2018).

## 4. Robotik ve Yapay Zeka (YZ) Uygulamaları

Endüstri 3.0 döneminde, yapay zeka ve robotik teknolojiler de önemli bir yer tutmuştur. Alan Turing, 1950'lerde yapay zeka konseptini geliştirerek bu alanın temelini atmıştır. Daha sonra, Japonya'da FANUC gibi şirketler, robotik teknolojilerde öncü rol oynamış ve otomotiv sektöründe kullanılan robotik kolların geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. FANUC'un ürettiği robotlar, otomasyon süreçlerinde hız ve doğruluk sağlamış, Japon sanayisini küresel bir lider haline getirmiştir (Rifkin, 2014).

## 5. Dijital İletişim Teknolojileri ve İnternetin Gelişimi

1960'larda ABD Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen ARPANET, internetin temelini oluşturmuştur. Bu teknoloji, veri iletimini dijital ortama taşıyarak bilgi yönetiminde devrim yaratmıştır. İnternetin ticari kullanıma açılması, işletmelerin bilgi paylaşımını hızlandırmış ve küresel bir iletişim ağı oluşturmuştur (Cemernek vd., 2017).

### 3.1.3.2. Ülkelerden Örnekler ve Endüstri 3.0'ın Uygulama Alanları

#### 1. ABD:

ABD, Endüstri 3.0'ın lider ülkelerinden biri olmuştur. Intel'in mikroişlemci geliştirme çalışmaları, ARPANET'in icadı ve General Motors gibi firmaların CAD/CAM teknolojilerini benimsemesi, ülkenin dijital devrimdeki öncü rolünü pekiştirmiştir. Örneğin, 1970'lerde General Motors, CAD/CAM teknolojilerini kullanarak üretim maliyetlerini %30 oranında düşürmüştür (Bilgin, 2018).

#### 2. Japonya:

Japonya, robotik teknolojilerdeki öncü çalışmalarıyla dikkat çekmiştir. FANUC ve Mitsubishi gibi şirketler, Endüstri 3.0 sırasında robotik kolları üretim süreçlerine entegre etmiş ve Japon sanayisini küresel pazarda rekabetçi bir konuma getirmiştir. Ayrıca, Japonya'nın otomotiv sektörü, yalın üretim sistemleri ile birleşen dijital teknolojiler sayesinde verimlilikte büyük bir sıçrama yapmıştır (Rifkin, 2014).

#### 3. Almanya:

Almanya, Endüstri 3.0 döneminde otomasyon ve endüstriyel yazılım teknolojilerinde lider bir ülke olmuştur. Siemens gibi şirketler, üretim süreçlerini optimize eden yazılımlar geliştirerek otomotiv, kimya ve makine üretiminde önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Almanya ayrıca Volkswagen gibi markalar aracılığıyla robotik teknolojileri erken benimseyen ülkelerden biri olmuştur (Cemernek vd., 2017).

#### 4. İngiltere:

İngiltere, Endüstri 3.0 sırasında bilgisayar teknolojilerini benimseyerek finans ve hizmet sektörlerinde dijitalleşmeyi hızlandırmıştır. Rolls Royce, havacılık sektöründe CAD/CAM teknolojilerini kullanarak üretim süreçlerinde kaliteyi artırmıştır (Bilgin, 2018).

### 3.1.3.3. Endüstri 3.0'ın Zorlukları ve Sonuçları

#### Teknolojik Eşitsizlik:

Endüstri 3.0, gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkeler arasındaki dijital uçurumu artırmıştır. Gelişmekte olan ülkeler, dijital teknolojilere erişimde zorluk yaşamış ve bu durum küresel ekonomik eşitsizlikleri derinleştirmiştir (Cemernek vd., 2017).

### **1. Çevresel Etkiler:**

Dijital teknolojilerin enerji tüketimi, elektronik atıkların birikmesine ve çevresel sorunlara yol açmıştır. Ancak, üretimdeki verimlilik artışı, enerji kullanımında bir miktar tasarruf sağlamıştır (Rifkin, 2014).

### **2. İstihdam Değişiklikleri:**

Otomasyonun artışı, mavi yakalı işçilerin işlerini kaybetmesine neden olmuş, ancak yüksek teknoloji gerektiren yeni iş alanları ortaya çıkmıştır. Bu durum, iş gücünün niteliklerini artırma gerekliliğini gündeme getirmiştir (Morley, 1968).

Endüstri 3.0, dijitalleşme ve otomasyon teknolojileriyle üretim süreçlerini dönüştürmüş, maliyetleri düşürmüş ve verimliliği artırmıştır. Bu süreçte, mikroişlemcilerden yapay zekaya kadar birçok yenilik, ABD, Japonya ve Almanya gibi ülkelerde farklı şekillerde uygulanmış ve bu ülkelerin küresel ekonomik liderliklerini güçlendirmiştir. Endüstri 3.0, modern endüstrinin temel taşlarını oluşturmuş ve Endüstri 4.0'ın altyapısını hazırlamıştır.

#### **3.1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0)**

Brynjolfsson ve McAfee (2014), bu süreci "ikinci makine çağı" olarak tanımlamaktadır. Önceki sanayi devrimlerinin, emeğin fiziksel özelliklerini hedef aldığını ve kol gücüne dayalı bir otomasyon süreci yaşandığını belirtmektedirler. Ancak dördüncü sanayi devrimi ile birlikte, emeğin zihinsel yetenekleri hedef alınmaktadır. Yapay zeka ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin, emeğin zihinsel becerilerini otomatik hale getirdiği vurgulanmaktadır. Bu nedenle, önceki sanayi devrimleri birinci makine çağı olarak tanımlanırken, dördüncü sanayi devrimi ikinci makine çağı olarak nitelendirilmektedir. Endüstri 4.0, fiziksel, dijital ve biyolojik sistemlerin entegrasyonunu sağlayan bir sanayi dönüşümüdür. Bu terim, 2011 yılında Almanya'da düzenlenen Hannover Messe Fuarı'nda ilk kez ortaya atılmıştır ve dijitalleşme, akıllı üretim, büyük veri, siber-fiziksel sistemler (CPS), nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka (AI) ve diğer yenilikçi teknolojileri kapsamaktadır (Kagermann vd., 2013). Bu teknolojiler, üretim süreçlerini daha hızlı, esnek ve verimli hale getirerek sanayi dünyasında devrim niteliğinde bir değişim yaratmıştır.

Dünya Ekonomi Forumu'nun başkanı ve kurucusu Klaus Schwab, çalışmalarında Endüstri 4.0 ile Endüstri 3.0'ı ayıran belirgin özelliklere değinmiş ve dördüncü devrimin bu nedenlere dayandığını ifade etmiştir. Bunlar şunlardır;

Tablo 1. Endüstri 4.0'ın en önemli özellikleri Kaynakça: (Schwab vd., 2016)

<b>Hız</b>	- Günümüzde gelişimin doğrusal olarak değil sürekli olarak eksponansiyel biçimde olması. - Teknolojilerin yeni ve yetenekli teknolojileri daha hızlı bir şekilde üretmesi.
<b>Genişlik ve Derinlik</b>	- Dijitalleşmenin ve gelişen teknolojinin etkisiyle toplum düzeninde farklı rol değişikliklerinin olması. - Farklılıkların sonucu olarak sorgulamaların artması ve 'neyi' ve 'nasıl' sorularına ek olarak 'biz kimiz' sorusunun eklenmesi.
<b>Sistem Etkisi</b>	- Tüm sistemlerin, ülkelerin, endüstrilerin ve toplumların bir bütün halinde dönüşüme uğraması.

Dördüncü Sanayi Devrimi'ne dair önemli özellikler, "Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi" (ACATECH) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir: (Demirkol ve Özcan, 2018);

- Müşterilerin ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş ürünlerin üretilmesi,
- Üretilen ürünlerin özelliklerini bilen akıllı fabrikaların devreye girmesi,
- Yeni iş modellerinin benimsenmesi,
- Çalışanların üretim süreçleri için buldukları ortama yönelik sosyal altyapının oluşturulması,
- İş koşullarının yaşam standardıyla doğru orantılı olması,
- Olası sorunlara çözüm geliştirecek yazılımların tasarlanması.

### 3.1.4.1. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) ve Araçları

Endüstri 4.0, birçok alt bileşenden oluşan bir geniş üst başlıktır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

#### 1. Büyük Veri ve Veri Analitiği

Büyük veri, bilginin toplanması, saklanması, dağıtımı, yönetimi ve analizi için ileri düzey yöntemler ve teknikler gerektiren, büyük ölçekli, hızlı, karmaşık ve değişken verileri tanımlayan bir "terim" olarak ifade edilmektedir. (Cemernek vd., 2017). Büyük veri, üretim

süreçlerinden elde edilen geniş ölçekli verilerin analiz edilerek karar alma mekanizmalarının iyileştirilmesini sağlar. Büyük veri analitiği, üretim süreçlerini optimize etmek ve verimliliği artırmak için kritik bir araçtır. (Manyika vd., 2011).

Büyük veri kavramı beş temel bileşenden oluşur ve İngilizce 5V ile ifade edilmektedir:

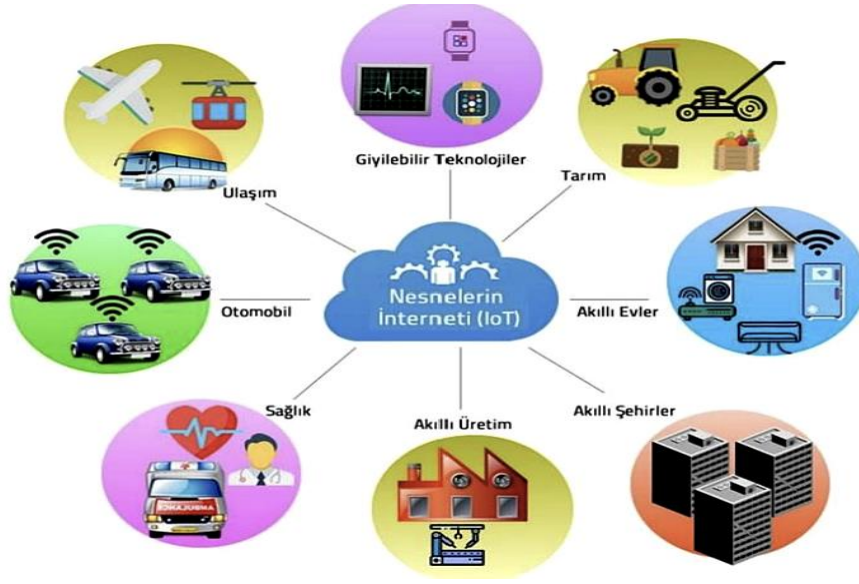
- Farklı kaynaklardan elde edilen verileri tanımlayan “çeşitlilik (variety)”,
- Verinin üretim ve çoğalma hızını belirten “hız (velocity)”,
- Verinin genişliği ve çokluğunu ifade eden “verinin büyüklüğü (volume)”,
- Verinin doğru katmanlardan güvenli bir şekilde geçişini belirten “doğrulama (verification)”,
- Büyük veriye entegre olan kurumlara sağladığı katkıyı ifade eden “değer (value)” (Yengi, 2016).

## **2. Bulut Bilişim Teknolojisi**

Bulut bilişim, düşük maliyetle işletmelerin veya bireylerin kullanımına sunulan geniş bir depolama alanı sağlamaktadır. Bu durum, verilerin işlevselliğinin bulut depolama sisteminde devam etmesine olanak tanırken, üretim sistemlerinin daha fazla veri odaklı hale gelmesini teşvik edecektir. Böylece, Endüstri 4.0 kapsamında daha fazla veri paylaşımı ve erişilebilirlik sağlanacak, bu da şirketlerin karşılaştığı kısıtlamaları en aza indirecektir. Geleneksel olarak bulut ortamlarında barındırılmasa bile, bulut üzerinde geliştirilen uygulamaların sayısı giderek artış göstermektedir. (Xu, 2012). Bulut bilişim, veri depolama ve işleme süreçlerini kolaylaştırarak işletmelerin dijital altyapı maliyetlerini düşürür. Bulut bilişim, üretim süreçlerinde merkezi olmayan veri yönetimi sağlar. (Buyya vd., 2011).

## **3. Nesnelerin İnterneti-Internet of Things (IoT)**

Nesnelerin interneti, (akıllı ve bağlantılı ürünler de dahil olmak üzere) kablolu veya kablosuz bağlantıların, birbirleriyle oluşturduğu yapılandırma sayesinde aynı anda internete erişim sağlayarak etkileşimde bulunmaları olarak tanımlanabilir. Bu kavramın ifade ettiği durum, tüm işlevlerin sürekli olarak, her yerde, başka herhangi bir nesneyle doğru bir ağ veya yol kullanarak bağlantı kurma kapasitesidir. (Vermesan ve Friess, 2014). IoT, cihazların birbiriyle bağlantılı bir şekilde çalışmasını sağlayarak üretim süreçlerinde şeffaflık ve esneklik yaratır. Kevin Ashton, IoT'yi "fiziksel cihazların dijitalleşmesi" olarak tanımlamıştır. (Ashton, 2009).



Şekil 2. IoT kullanım alanları Kaynak: (Taş ve Kiani, 2021)

#### 4.Eklemeli Üretim (3D Yazıcılar)

Üç boyutlu yazıcılar, fiziksel bir nesnenin sanal çiziminin oluşturulmasının ardından ağ bağlantısına sahip yazıcılar aracılığıyla ve istenilen ürüne yönelik hammadde karışımlarını kullanarak nesnenin eklemeli üretimi olarak tanımlanmaktadır. (Schwab, 2017). Eklemeli üretim, üretim süreçlerini hızlandırır ve düşük maliyetli prototip üretimine olanak tanır. 3D baskı, küçük ölçekli üretimde esneklik ve hassasiyet sağlar. (Gebhardt, 2016).

Eklemeli üretim, özel ürünlerin imal edilmesine olanak tanırken, hızlı modelleme ve tasarım süreçleri sunar; ayrıca kalıplara ihtiyaç duymadan çalışma imkanı sağlar. Bu yöntem, daha az malzeme kullanımı ve atık üretimini azaltarak sürdürülebilir bir üretim süreci oluşturur. Eklemeli üretim teknolojileri arasında mürekkep püskürtme (inkjet) teknolojisi, lazer şekillendirme, malzeme ekstrüzyonunu sağlayan ergiyik katman modelleme, polimerler, hibrit malzemeler ve kompozitler gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. (Özer, 2020)

#### 5. İleri Robotik Teknolojisi

İleri teknolojiye sahip robotlar, otonom üretim yöntemlerini daha etkili bir şekilde uygulamak ve üretim sürecinde çalışanların sınırlı olduğu durumlarda görevleri yerine getirmek için kullanılmaktadır. Bu akıllı robotlar, gelişmiş robotik teknolojileri sayesinde kendilerine

atanan görevleri belirli bir zaman diliminde akıllıca ve kesin bir biçimde gerçekleştirebilmektedir. Bunun yanı sıra, esneklik, güvenilirlik, çok fonksiyonluluk ve iş birliği konularında çeşitli sınırlamalara sahip olabilmektedirler. (Bahrin vd., 2016). İleri teknoloji robotlar, üretim hatlarında daha hızlı ve hassas işlemler yapabilir. Robot teknolojileri, insan-makine etkileşimini optimize eder. (Manyika vd., 2011).

## **6.Simülasyon Teknolojisi**

1960'lı yıllarda mühendislik alanında yalnızca bilgisayar ve matematik yetkinliklerine dayanan bir teknoloji olarak konumlanan simülasyon, 1985'li yıllarda tasarımlara yanıt verebilmek amacıyla standart uygulamalar arasında yer almıştır. 2000'li yıllardan itibaren daha geniş bir uygulama yelpazesine entegre edilmiş ve son 70 yılda kesintisiz yardım teknolojisi olarak kendine yer bulmuş, bu sayede işletmelerin stratejik ve operasyonel planlamalarını gerçekleştirmelerine olanak tanımıştır. (Rodic, 2017). Simülasyon, üretim süreçlerini dijital ortamda modelleyerek maliyetleri düşürür. Simülasyon teknolojileri, ürün tasarım sürecinde hata oranlarını azaltır. (Gebhardt, 2016).

Simülasyon modellemedeki son yenilikler, Endüstri 4.0'ın önemli bileşenlerinden biri olan akıllı fabrikalardaki üretim sistemleri ve diğer sistemlerin modellenmesine imkan tanımaktadır. Bunun yanı sıra, işletim sistemlerine otonom ayarlamalar dahil olmak üzere süreç kontrolünde gelişmiş yapay zeka uygulamaları da simülasyonlar aracılığıyla uygulanabilmektedir. (Rodič, 2017, Tay vd., 2018).

## **7.Siber Güvenlik Teknolojisi**

Endüstri 4.0, korunması gereken değerli veriler barındırmaktadır. Bu sistemler aracılığıyla işlenen ve depolanan veriler, güvenlik açısından kritik bir öneme sahiptir; dolayısıyla, bilgi güvenliğinin gizlilik boyutu öncelikli bir konu olarak öne çıkmaktadır. Gizlilik bileşenindeki zayıflıklar, hasım veya rakip taraflara zarar vermeyi amaçlayan ve ahlaki ilkelere bağlı olmayan siber saldırganlar için bir hedef oluşturmakta ve bu durum ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Dijitalleşen üretim süreçlerinin güvenliğini sağlamak için siber güvenlik çözümleri hayati önem taşır. Siber güvenlik, Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biridir. (Lee vd., 2015). Üretim süreçleri, siber saldırılar nedeniyle durdurulabilir; bu da şirketlerin önemli mali kayıplar yaşamasına neden olabilmektedir. Günümüzde, kritik altyapılar ve

stratejik endüstriyel sektörler üzerindeki siber saldırılar, daha sık ve gelişmiş yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. (Corallo, Lazoi, & Lezzi, 2020).

Endüstri 4.0 kapsamında yaşanan siber güvenlik ihlalleri oldukça yaygındır. Bu bağlamda, siber savaşlara karşı alınması gereken önlemler şirketler için maliyetli bir yük oluşturabilir. Ancak, siber saldırıların yaratabileceği olumsuz etkiler göz önünde bulundurulduğunda, bu tür saldırıların gerçekleşmesi durumunda şirketlerin maruz kalacağı kayıpların çok daha fazla olacağı açıktır (Erboz, 2017).

## 8.Yatay/Dikey Yazılım Entegrasyonu

Yatay entegrasyonun sağlanması, işletmelerin mal ve hizmet tedarikinde birbirleriyle iş birliği yapmasını gerektirmektedir. Öte yandan, dikey entegrasyon, bir işletmenin iç yapısında hiyerarşik bölümlerin esnek, yalın ve kişiselleştirilmiş çıktılar sunabilmesini ve bu bölümler arasında iş birliği kurabilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmesi gereken bir süreçtir (Çiçek, 2021).

Dikey entegrasyon, aynı sektörde bulunan ancak farklı tüketici segmentlerine hitap eden işletmelerin entegrasyonunu sağlaması bakımından yatay entegrasyondan farklılık göstermektedir. (Koçak, 2019)

I.	Devamlı bilgi akışı ve optimizasyonu
II.	Verilerin bütün kademelerde kullanımı
III.	Etkili veri denetimi ve gerçek zamanlı olarak veri incelemesi
IV.	Tüm sistemlerin IoT ile bağlanması
V.	Anlık değişiklik ve problemlere hızlı yanıt verebilme

Tablo 2.Dikey-Yatay Entegrasyon Avantajları Kaynak: (Schuldenfrei, 2020)

## 9.Artırılmış Gerçeklik

Milgram ve Kishino (1994) tarafından geliştirilen Gerçeklik-Sanallık Sürekliliği teorisi, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve karma gerçeklik kavramlarını içermektedir. Artırılmış gerçeklik ile sanal gerçeklik arasındaki farklılıklar genellikle göz ardı edilmekte ve bu terimler sıkça birbirinin yerine kullanılmaktadır. Sanal gerçeklik, bilgisayar tabanlı üç boyutlu oyunlarda görülen, kullanıcıların bu dijital ortamda bulunduğu gerçek dünya ile olan

bağlarının tamamen ortadan kalktığı bir alan olarak tanımlanmaktadır. (İçten ve Bal, 2017). AR, üretim hatlarının eğitim ve bakım süreçlerinde yenilikçi çözümler sunar. Artırılmış gerçeklik, iş gücü eğitimi ve üretim süreçlerinde görselleştirmeyi kolaylaştırır. (Azuma, 1997).

Bu teknoloji, insan ile makine arasındaki etkileşimi geliştirirken, bakım görevlerinde uzaktan kontrol olanağı sunmakta ve bireylerin sanal olarak sağlanan görsel denetimini artırmaktadır. Bilgisayar tarafından oluşturulan grafikler ile fiziksel nesnelerin entegrasyonu sayesinde çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Artırılmış gerçeklik, belirli görevlerin kontrolü için sensör teknolojilerinden faydalanarak kullanıcıların hareketlerinin izlenmesini mümkün kılmaktadır. (Erboz, 2017).

## **10. RFID Teknolojisi**

RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama), nesnelerin interneti teknolojisinin temel unsurlarından biri olarak öne çıkan bir teknolojidir. Küçük boyutlarda tasarlanmış olan bu sistem, kablosuz ağlarla bağlantı kurma yeteneğine sahip olup, insanları veya nesnelere tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. (Juels, 2006).

## **11. Sensör Teknolojisi**

Sensör teknolojisi, üretim süresince makinelerle etkileşimde bulunarak otomatik izleme, takip etme ve komut iletme gibi işlevleri gerçekleştirmektedir. Bu yetenekler, süreçlerin daha güvenli ve hızlı bir şekilde ilerlemesine olanak tanır. Sensörler, RFID ve RTLS gibi temel izlenebilirlik teknolojileriyle elde edilen verileri toplar; bu veriler, diğer sistemler ve teknolojilerle entegre edilerek süreç yönetimindeki bütünsel yaklaşımın anlam kazanmasını sağlar. (Üstündağ, 2017)

## **12. Yapay Zekâ Teknolojisi**

Yapay zekâ (YZ) kavramının temelleri, 1940'lı yıllara kadar uzanmaktadır. 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından geliştirilmiş olan “Beynin Boolean Devre Modeli,” nöronların beyin içindeki işlevlerini matematiksel bir çerçeve ile açıklamaktadır. Bu model, yapay zekâ alanında önemli bir dönüm noktası olarak değerlendirilmekte ve YZ'nin bilimsel gelişiminde

kritik bir rol oynamaktadır. Yapay zeka, üretim süreçlerini otomatikleştirir ve verimliliği artırır. AI, üretimde anomali tespiti ve süreç optimizasyonunda devrim yaratır. (LeCun vd., 2015).

1950 yılında, yapay zekâ konusunda öncü bir isim olan İngiliz matematikçi Alan Turing, *Mind* adlı felsefi dergide “Makineler düşünebilir mi?” başlıklı bir makale yayımlamıştır. Bu makalede Turing, problem çözme ve karar verme yeteneklerinin, mantıksal düşünme ve mevcut bilgilere dayanarak insan tarafından gerçekleştirilebileceğini belirtmiş, makinelerin de benzer yetenekleri sergileyip sergileyemeyeceğini sorgulamıştır. Turing'in bu çalışması sonucunda ortaya çıkan “Turing Testi,” yapay zekânın değerlendirilmesi için önemli bir kriter haline gelmiştir.

Yapay zekâ terimi ise, 1956 yılında John McCarthy tarafından düzenlenen Dortmund Konferansı'nda ilk defa tanımlanmış ve bu konferans, yapay zekâ araştırmalarının sistematik olarak ele alınması açısından tarihi bir dönüm noktası olmuştur. (McCulloch & Pitts, 1943)

### **13. Siber fiziksel sistemler (CPS-Cyber Physical Systems)**

Endüstri 4.0 ortamı, internet veya diğer iletişim kanalları aracılığıyla benzeri görülmemiş bir bağlantı ile tanımlanmakta olup, hesaplamaların fiziksel süreçlerle entegrasyonunu içermektedir. Bu entegrasyon, fiziksel fabrika alanında ve atölyelerde bilgi ve hesaplamalar arasında son derece yüksek bir senkronizasyon düzeyi gerektirmektedir. CPS, fiziksel süreçlerin dijital ortamla entegre edilmesiyle üretim süreçlerinin gerçek zamanlı izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlar. Siber-fiziksel sistemler, endüstriyel süreçlerdeki güvenliği ve verimliliği artırır. (Lee vd., 2015). Sonuç olarak, bu durum üretim süreçlerinde kapsamlı ve yenilikçi bir kontrol mekanizması, şeffaflık ve verimlilik sağlamakta, böylece endüstriyel operasyonların optimize edilmesine katkıda bulunmaktadır. (Hofmann ve Rüşch, 2017).

### **15. Akıllı Fabrika**

Akıllı fabrika, desentralize üretim sistemi anlayışına dayanan bir konsept olarak, insanların, makinelerin ve kaynakların birbirleriyle sürekli iletişim halinde olduğu ve bu etkileşimin “doğal bir sosyal ağ” oluşturduğu fikrini öne sürmektedir. Bu bağlamda, makine-insan ve taşıma sistemleri arasındaki bağlantı ve iletişimin, mevcut üretim paradigmasını köklü bir şekilde değiştirmesi beklenmektedir. Akıllı fabrikaların entegre yapıları, üretim süreçlerinde

daha esnek ve verimli bir yaklaşım sunarak, endüstriyel operasyonların yeniden şekillenmesine katkıda bulunacaktır. (Hofmann ve Rüşch, 2017).

<b>Akıllı Fabrika</b>	<b>Geleneksellemiş Üretim</b>
<b>Kaynak Çeşitliliği:</b> Küçük miktarlarda ürünlerde çeşitlilik sağlamak için farklı türlerden daha fazla kaynak aynı sistemde birleştirilmelidir.	<b>Sınırlı ve Önceden Belirlenmiş Kaynaklar:</b> Büyük ölçekli üretim için sabit kaynaklar dikkatlice hesaplanır ve optimize edilir.
<b>Dinamik Rota:</b> Farklı ürünlerin üretimi sırasında kaynaklar arasında değişim gerçekleşirken, bu kaynakların otomatik olarak yeniden ayarlanması ve hatta bağlanması gerekir.	<b>Sabit Rota:</b> Üretim hattı sabittir; herhangi bir değişiklik insan müdahalesiyle yapılabilir.
<b>Kapsamlı Bağlantılar:</b> Makineler, ürünler ve sistemler birbirine bağlı olmalı; yüksek hızda ve etkin bir şekilde iletişim kurarak işleyiş sağlanmalıdır.	<b>Atölye Kontrol Ağları:</b> İlgili araçlar ve makineler bağlanabilir, ancak makineler arasında iletişim sınırlıdır.
<b>Derin Entegrasyon:</b> Akıllı fabrika ağı, hem fiziksel bileşenleri hem de bilgi sistemlerini bir araya getirerek entegre bir yapı oluşturur.	<b>Ayrı Katmanlar:</b> Bilgi sistemleri, fiziksel bileşenlerle doğrudan bir bağa sahip değildir.
<b>Kendi Kendini Düzenleme:</b> Sistem içerisindeki kontrol mekanizması, çeşitli varlıkların birbiriyle etkileşimde bulunarak uyum içinde çalışmasını sağlar.	<b>Bağımsız Kontrol:</b> Her makine, kendisine atanmış fonksiyonları yerine getirir ancak sorun yaşanması durumunda tüm süreç durur.
<b>Büyük Veri:</b> Akıllı sistemler, yoğun veri işleyerek ve bu verileri hızlı bir şekilde analiz ederek, daha verimli süreçler sunar.	<b>İzole Bilgi:</b> Makineler, kendi süreçlerini yönetir ancak bu bilgiler diğer sistemler tarafından kullanılmaz.

Tablo 3. Akıllı Fabrika ve Gelenekselleşmiş Üretimin Kıyaslanması Kaynak: (Wang vd., 2016)

### 3.1.4.2. Endüstri 4.0'ın olumlu etkileri şunlardır (I-scoop, 2017):

- **Verimlilik artırımı:** Optimizasyon ve otomasyon yöntemleri aracılığıyla üretkenliğin yükseltilmesi.

- **Anlık veri akışı:** Gerçek zamanlı ekonomi çerçevesinde tedarik zincirinin etkinliğini sağlamak için anlık veri iletimine olanak tanınması.
- **Kesintisiz iş faaliyetleri:** İleri düzey bakım ve izleme sistemleri ile işletmelerin sürekli faaliyet göstermelerinin sağlanması.
- **Ürün kalitesinin artırılması:** Gerçek zamanlı izleme teknolojileri sayesinde ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesi.
- **Gelişmiş çalışma koşulları:** Çalışma şartlarının iyileştirilmesi ve sürdürülebilirlik ilkelerinin benimsenmesi.
- **Özelleştirilmiş hizmet ve ürünler:** Her müşteriye yönelik uyarlanmış ve kişiselleştirilmiş hizmet veya ürün sunma imkânı.
- **Artan çeviklik ve hız:** Süreçlerin daha hızlı ve daha çevik bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlama.
- **Yenilikçi yeteneklerin geliştirilmesi:** Yenilikçi becerilerin ve yeni gelir modellerinin oluşumunu destekleyen bir ortamın sağlanması.

#### **3.1.4.3. Endüstri 4.0'a Bilim İnsanlarının Katkıları**

Endüstri 4.0'ın kökleri, dijital teknolojilerin Endüstri 3.0 döneminde sanayiye entegrasyonu ile başlar. Özellikle Kagermann, Wahlster ve Helbig gibi bilim insanlarının "Industrie 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry" raporunda tanımlanan bu kavram, sanayide dijitalleşmenin altyapısını oluşturmuştur (Kagermann vd., 2013). Bu yeni dönemde Edward A. Lee'nin siber-fiziksel sistemler üzerine çalışmaları ve Kevin Ashton'ın IoT kavramını geliştirmesi, Endüstri 4.0'ın temel yapı taşlarını oluşturmuştur (Lee et al., 2015; Ashton, 2009).

#### **3.1.4.4. Endüstri 4.0: Ülkelerden Örnekler ve Akıllı Fabrika Uygulamaları**

Endüstri 4.0, dijitalleşme ve otomasyon teknolojilerinin sanayi dünyasına entegre edilmesiyle bir paradigma değişimi yaratmıştır. CPS, IoT, AI gibi yenilikler, üretim süreçlerinde verimlilik ve esneklik sağlamış; Almanya, ABD, Çin ve Japonya gibi ülkeler, bu teknolojilerin öncüsü olmuştur. Ancak, teknolojik eşitsizlik ve siber güvenlik gibi zorluklar, bu dönüşümün dikkatle ele alınmasını gerektirmektedir.

## **Almanya: Endüstri 4.0'ın Doğduğu Ülke**

Almanya, Endüstri 4.0 kavramının doğduğu ülke olarak bu alanda lider bir konuma sahiptir. Almanya'nın sanayi stratejisi, geleneksel üretim süreçlerini dijital teknolojilerle dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Ülkedeki önde gelen şirketler, akıllı fabrikaları yaygınlaştırmak için ciddi yatırımlar yapmaktadır.

- **Siemens ve MindSphere:** Siemens, Endüstri 4.0 teknolojilerinde öncü bir rol oynamaktadır. Şirketin geliştirdiği MindSphere platformu, bulut tabanlı bir IoT işletim sistemi olarak fabrikalarda cihazların, sistemlerin ve süreçlerin birbiriyle bağlantılı çalışmasını sağlamaktadır. Bu platform, üretim süreçlerinde gerçek zamanlı veri analitiği sunarak verimliliği artırmaktadır (Kagermann vd., 2013). Siemens'in Amberg fabrikası, Endüstri 4.0 uygulamalarında bir dünya lideri olarak tanımlanmaktadır. Bu fabrikada, üretim süreçlerinin %75'i tamamen otomatikleşmiştir ve hata oranı milyonda yalnızca 15 olarak ölçülmüştür (Lee vd., 2015).
- **Bosch'un Akıllı Fabrikaları:** Bosch, Stuttgart'taki fabrikasında Endüstri 4.0 teknolojilerini başarıyla uygulamaktadır. Fabrikada IoT, yapay zeka ve robotik sistemler kullanılarak üretim süreçleri optimize edilmektedir. Bosch, üretimde dijital ikiz teknolojisini kullanarak ürün geliştirme süreçlerini hızlandırmış ve maliyetleri %30 oranında düşürmüştür (Gebhardt, 2016).

## **Amerika Birleşik Devletleri: Yapay Zeka ve Büyük Veri Liderliği**

ABD, yapay zeka, büyük veri analitiği ve IoT teknolojilerinin öncüsü konumundadır. Amerikan şirketleri, akıllı fabrikalar ve dijitalleşme yoluyla küresel pazarda rekabet avantajı elde etmektedir.

- **Amazon ve Akıllı Lojistik:** Amazon, Endüstri 4.0 teknolojilerini lojistik operasyonlarında etkin bir şekilde kullanmaktadır. Şirketin depolarında kullanılan otonom robotlar, IoT cihazları ve yapay zeka algoritmaları, stok yönetimi ve sipariş işlemlerini optimize etmektedir. Örneğin, Amazon'un Kiva robotları, depolarda ürünleri taşımak için kullanılarak insan iş gücünün iş yükünü azaltmış ve işlem sürelerini %40 oranında kısaltmıştır (Manyika vd., 2011).
- **Tesla ve Gigafactory:** Tesla'nın Nevada'daki Gigafactory'si, Endüstri 4.0 teknolojilerinin mükemmel bir örneğidir. Bu fabrika, IoT, yapay zeka ve robot teknolojileri ile donatılmıştır. Üretimde kullanılan robotlar, enerji tüketimini azaltmak

ve batarya üretimini hızlandırmak için optimize edilmiştir. Tesla, bu fabrikada karbon ayak izini minimuma indiren yenilenebilir enerji kaynakları kullanmaktadır (Gebhardt, 2016).

### **Japonya: Robot Teknolojilerinde Dünya Liderliği**

Japonya, robotik teknolojiler ve otomasyon sistemlerinde öncü bir ülkedir. Japon şirketleri, akıllı fabrikaların yaygınlaştırılmasında önemli rol oynamaktadır.

- **Fanuc ve Robotik Üretim:** Japonya merkezli Fanuc, dünyanın en büyük sanayi robotu üreticilerinden biridir. Şirketin Yamanashi fabrikası, Endüstri 4.0 teknolojilerinin tam anlamıyla uygulandığı bir akıllı fabrika örneğidir. Bu fabrikada, robotlar diğer robotları üreterek üretim süreçlerini tamamen otonom hale getirmiştir. Ayrıca, IoT ve yapay zeka sistemleri sayesinde robotların bakım ihtiyaçları önceden tahmin edilmektedir (Lee vd., 2015).
- **Toyota ve Yalın Üretimle Dijitalleşme:** Toyota, yalın üretim prensiplerini dijital teknolojilerle birleştirerek verimliliği artırmıştır. Şirket, akıllı fabrikalarında IoT ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojilerini kullanarak üretim hatalarını %30 oranında azaltmıştır. Ayrıca, dijital ikiz teknolojiyle yeni ürünlerin tasarım ve üretim süreçlerini hızlandırmıştır (Gebhardt, 2016).

### **Çin: Made in China 2025 ve Akıllı Fabrikalar**

Çin, "Made in China 2025" stratejisiyle Endüstri 4.0 teknolojilerine büyük yatırımlar yapmaktadır. Ülkedeki akıllı fabrikalar, dijitalleşme ve otomasyonun küresel çapta yaygınlaşmasına öncülük etmektedir.

- **Huawei ve IoT Çözümleri:** Huawei, IoT ve bulut bilişim teknolojilerini sanayiye entegre ederek akıllı fabrikalar için altyapı çözümleri sunmaktadır. Şirketin geliştirdiği "FusionPlant" platformu, üretim süreçlerini izlemek ve optimize etmek için kullanılmaktadır (Manyika vd., 2011).
- **Haier'in Akıllı Fabrikaları:** Çin'in önde gelen beyaz eşya üreticisi Haier, Qingdao'daki fabrikasında Endüstri 4.0 uygulamalarını başarıyla gerçekleştirmektedir. Fabrika, IoT, büyük veri ve robotik teknolojileriyle donatılmıştır. Haier'in üretim

sistemleri, müşteri taleplerine göre özelleştirilmiş ürünler üretmek için gerçek zamanlı veri analitiği kullanmaktadır (Gebhardt, 2016).

### **Güney Kore: Dijitalleşmede Küresel Aktör**

Güney Kore, akıllı fabrikalar ve dijitalleşme stratejileriyle Endüstri 4.0 teknolojilerini hızla benimsemiştir.

- **Samsung ve Akıllı Üretim:** Samsung, Seul yakınlarındaki fabrikalarında IoT, yapay zeka ve artırılmış gerçeklik teknolojilerini kullanarak üretim süreçlerini optimize etmektedir. Şirket, artırılmış gerçeklik tabanlı bakım sistemleri sayesinde üretim duruş sürelerini %25 oranında azaltmıştır (Lee vd., 2015).
- **LG ve Akıllı Cihaz Üretimi:** LG, akıllı fabrikalarında IIoT ve büyük veri analitiği kullanarak enerji tüketimini optimize etmektedir. Şirketin üretim sistemleri, çevre dostu üretim standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır (Gebhardt, 2016).

Endüstri 4.0 teknolojileri, Almanya, ABD, Japonya, Çin ve Güney Kore gibi ülkelerde sanayi dünyasını dönüştürmüştür. Akıllı fabrikalar, üretim süreçlerini hızlandırmak, maliyetleri düşürmek ve müşteri taleplerine hızlı yanıt vermek için dijitalleşme ve otomasyon teknolojilerini entegre etmiştir. Ancak, bu teknolojilerin yaygınlaşması, siber güvenlik riskleri, yüksek yatırım maliyetleri ve teknolojik eşitsizlik gibi zorlukları da beraberinde getirmiştir.

### **3.1.4.5. Türkiye'de Endüstri 4.0: Tarihi, Gelişimi ve Güncel Uygulamaları**

#### **Başlangıç ve Tarihsel Gelişim**

Türkiye, Endüstri 4.0 kavramıyla 2011 yılından sonra tanışmıştır. Bu kavram, özellikle Almanya'nın liderlik ettiği bir sanayi devrimi olarak tanımlanırken, Türkiye'de bu süreç daha çok 2015 yılında gündeme gelmiştir. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) ile Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) gibi kurumlar, Endüstri 4.0'a geçiş sürecini hızlandırmak amacıyla çeşitli raporlar hazırlamıştır. "Türkiye'nin Sanayi Dönüşümü Stratejisi" adlı raporda, "Endüstri 4.0'ın Türkiye için sanayi politikalarının yeniden şekillendirilmesi gereken bir fırsat sunduğu" belirtilmiştir (TTGV, 2016).

### **Türkiye’de Endüstri 4.0’ın Başlangıcı**

2015 yılında, Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası (MESS), Endüstri 4.0 konusunu ele alan ilk geniş kapsamlı çalışmaları başlatmıştır. "Türkiye’de Metal ve Teknoloji Sektöründe Dijitalleşme Raporu" adlı çalışmada, dijitalleşmenin Türk sanayisi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve sanayi kuruluşlarının Endüstri 4.0’a adaptasyonu için yol haritaları çizilmiştir. Raporda, "Türkiye'nin geleneksel üretim yapısının dijitalleşme ile büyük bir dönüşüm geçirmesi gerektiği" vurgulanmıştır (MESS, 2015).

### **Teknolojik Bileşenlerin Türkiye’de Uygulanması**

Endüstri 4.0’ın Türkiye’deki uygulanabilirliği üzerine yapılan çalışmalar, özellikle siber-fiziksel sistemler (CPS), IoT ve yapay zeka gibi teknolojilere odaklanmaktadır. "Türkiye’nin Endüstri 4.0 Yol Haritası" raporunda, "Türk sanayisinin dijital dönüşüm kapasitesinin artırılması için eğitim, altyapı ve Ar-Ge faaliyetlerinin genişletilmesi gerektiği" belirtilmiştir. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2018).

### **Üretim Sektöründe İlk Adımlar**

- **Ford Otosan:** Türkiye'deki otomotiv sektöründe Endüstri 4.0 uygulamalarının öncüsü olan Ford Otosan, Kocaeli fabrikasında dijitalleşmeyi artırmıştır. "Ford Otosan’ın IoT tabanlı üretim sistemleri, üretim süreçlerinde %20 daha fazla verimlilik sağlamıştır" (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020).
- **Arçelik:** Arçelik, Çerkezköy fabrikasında Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanarak akıllı üretim hatları oluşturmuştur. Şirket, dijital ikiz teknolojisi ile üretim süreçlerini simüle etmiş ve ürün geliştirme süresini %30 oranında azaltmıştır (Arçelik, 2019).

### **Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın Rolü**

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2018 yılında "Dijital Türkiye" adı altında bir strateji belgesi yayımlamıştır. Bu belgede, Endüstri 4.0’a geçişte özel sektör ve kamu iş birliğinin artırılması gerektiği belirtilmiştir. Raporda, "Türkiye'nin Endüstri 4.0 stratejisinin ana odak noktası olarak insan kaynaklarının geliştirilmesi, teknoloji transferi ve yerli üretimin teşvik edilmesi" vurgulanmıştır. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2018).

## Güncel Durum ve Örnek Uygulamalar

### 1. Akıllı Fabrikalar ve IoT Çözümleri

Türkiye, akıllı fabrikalar konusunda ciddi adımlar atmıştır. Vestel, Manisa'daki fabrikasında IoT tabanlı sistemleri kullanarak enerji yönetimini optimize etmiştir. Vestel'in IoT tabanlı enerji yönetim sistemi, enerji tüketimini %15 oranında azaltmıştır. (TTGV, 2020).

### 2. Otomotiv Sektöründe Dijitalleşme

TOFAŞ, Bursa'daki fabrikasında Endüstri 4.0 uygulamalarını yaygınlaştırmıştır. Şirket, akıllı robotik sistemler ve büyük veri analitiği kullanarak üretim hatlarını %25 oranında daha verimli hale getirmiştir. (TOFAŞ, 2019).

### 3. Enerji ve Yenilenebilir Kaynaklar

Zorlu Enerji, yenilenebilir enerji tesislerinde IoT ve büyük veri analitiği kullanarak enerji verimliliğini artırmıştır. Zorlu Enerji'nin IoT çözümleri, güneş enerjisi üretim tesislerinde performans artışı sağlamıştır. (Zorlu Enerji, 2021).

### 4. Eğitim ve İnsan Kaynakları Gelişimi

Türkiye, dijitalleşme sürecinde eğitim ve insan kaynakları geliştirme çalışmalarına odaklanmaktadır. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, mesleki eğitim programları kapsamında 2019-2021 yılları arasında 50.000'den fazla işçiye Endüstri 4.0 teknolojileri konusunda eğitim vermiştir. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

## Zorluklar ve Gelecek Perspektifi

### 1. Teknolojik Uyum Eksikliği:

Türkiye'deki sanayi kuruluşlarının büyük bir kısmı, Endüstri 4.0 teknolojilerine tam uyum sağlayamamaktadır. Türk sanayisinin %60'ından fazlası, geleneksel üretim yöntemlerini sürdürmektedir. (MESS, 2020).

### 2. Yatırım ve Ar-Ge Eksikliği:

Endüstri 4.0 teknolojilerine geçiş için gerekli yatırımların yüksek maliyetli olması, süreci yavaşlatmaktadır. Türkiye'de sanayi kuruluşlarının yalnızca %20'si, Endüstri 4.0 yatırımlarına yeterli bütçe ayırabilmektedir. (TTGV, 2020).

### 3. Gelecek Hedefleri:

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2030 yılına kadar Endüstri 4.0 teknolojilerinin Türkiye genelinde %80 oranında yaygınlaştırılmasını hedeflemektedir. Bu hedef kapsamında

dijitalleşme teşvikleri ve altyapı yatırımları artırılabacaktır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

Türkiye, Endüstri 4.0 sürecinde ciddi adımlar atmış, ancak teknolojik adaptasyon ve altyapı eksiklikleri nedeniyle küresel liderlerle arasında hala mesafe bulunmaktadır. Akıllı fabrikalar ve IoT çözümleri gibi teknolojilerde başarı elde eden Türkiye, eğitim ve Ar-Ge faaliyetlerini artırarak bu dönüşümü hızlandırmayı hedeflemektedir. Endüstri 4.0, Türkiye'nin küresel rekabet gücünü artırmak için büyük bir fırsat sunmaktadır.

### **3.1.4.6. Türkiye'de Endüstri 4.0: Karanlık Fabrikalar ve Detaylı Uygulama Örnekleri**

#### **Karanlık Fabrika Nedir?**

Karanlık fabrikalar, insan gücüne minimum bağımlılık gösteren, üretim süreçlerinin tamamen otonom olarak gerçekleştirildiği ve genellikle insan müdahalesine gerek olmadığı için aydınlatma gibi ihtiyaçların ortadan kalktığı üretim tesisleridir. Bu tesisler, Endüstri 4.0 teknolojilerinin en ileri düzeyde uygulandığı alanlardır. Siber-fiziksel sistemler (CPS), IoT, robotik ve yapay zeka gibi teknolojilerle donatılmış bu fabrikalar, üretim süreçlerinde verimliliği maksimuma çıkarırken hata oranını minimuma indirir (Gebhardt, 2016).

#### **Türkiye'de Karanlık Fabrika Örnekleri**

##### **1. Coşkunöz Holding – Bursa'daki Akıllı Fabrika:**

Coşkunöz Holding, Türkiye'de karanlık fabrika uygulamalarının öncülerindedir. Şirket, otomotiv sektöründe kullanılan pres makinelerinin üretimini tamamen otonom bir şekilde gerçekleştirmektedir. Coşkunöz'ün Bursa fabrikasında, endüstriyel robotlar ve IoT sistemleri sayesinde üretim hattı 24 saat boyunca kesintisiz çalışabilmektedir. Fabrika, üretim süreçlerinde %30 verimlilik artışı sağlamış ve işçilik maliyetlerini %40 oranında azaltmıştır. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020).

##### **2. TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayii) – Akıllı Üretim Uygulamaları:**

TUSAŞ, uçak gövdelerinin üretiminde karanlık fabrika teknolojilerini kullanmaktadır. Şirketin tesislerinde, yapay zeka tabanlı sistemler, robotik kollar ve siber-fiziksel sistemler entegre bir şekilde çalışmaktadır. TUSAŞ'ın dijital ikiz teknolojisi

sayesinde, üretim hatalarındaki oran %20 azalmış ve prototip geliştirme süresi %15 hızlanmıştır. (TUSAŞ, 2021).

### 3. Ford Otosan – Kocaeli Akıllı Fabrikası:

Ford Otosan, Kocaeli fabrikasında karanlık üretim alanlarını başarıyla uygulamaktadır. IoT ve otonom robotik sistemlerin kullanıldığı bu tesiste, üretim hatlarının büyük bir kısmı insan müdahalesi olmadan çalışmaktadır. Ford Otosan'ın geliştirdiği veri analitiği sistemleri, üretim planlamasında tahmine dayalı analizler yaparak süreçlerin daha esnek hale gelmesini sağlamıştır. Bu sistemler, üretim süresini %25 oranında kısaltmıştır. (MESS, 2020).

### 3.1.4.7. Türkiye'deki Endüstri 4.0 Uygulamalarından Örnekler

#### 1. Arçelik – Çerkezköy Akıllı Fabrikası:

Arçelik'in Çerkezköy fabrikası, Avrupa'nın en dijital fabrikalarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu tesis, IoT, yapay zeka ve robot teknolojileriyle donatılmıştır. Arçelik, dijital ikiz teknolojisini kullanarak ürün geliştirme sürecini %30 oranında hızlandırmış ve enerji tüketimini %20 oranında azaltmıştır. (Arçelik, 2019). Ayrıca fabrikada kullanılan artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları, bakım süreçlerini %40 daha verimli hale getirmiştir.

#### 2. TOFAŞ – Bursa Dijital Fabrikası:

TOFAŞ, Türkiye'nin otomotiv sektöründeki Endüstri 4.0 liderlerinden biridir. Şirketin Bursa'daki fabrikasında, IoT tabanlı sensörler ve büyük veri analitiği kullanılarak üretim hatlarında hata tespiti yapılmaktadır. "TOFAŞ, büyük veri analitiği sayesinde, montaj hatlarındaki hata oranını %15 oranında azaltmıştır" (TOFAŞ, 2019). Fabrikada otonom robotlar, malzeme taşıma ve lojistik süreçlerinde kullanılarak insan gücüne olan ihtiyacı %25 oranında azaltmıştır.

#### 3. Vestel – Manisa Akıllı Fabrikası:

Vestel, Manisa'daki üretim tesisinde IoT ve yapay zeka tabanlı enerji yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Fabrikada, "IoT tabanlı enerji yönetim sistemi sayesinde enerji tüketimi %15 oranında azaltılmış ve üretim maliyetleri %10 düşürülmüştür" (TTGV, 2020). Ayrıca fabrikada kullanılan otonom robotlar, üretim sürecinde insan hatasını minimuma indirerek kalite standartlarını artırmıştır.

#### 4. Aselsan – Savunma Sanayiinde Dijitalleşme:

Aselsan, savunma sanayiinde Endüstri 4.0 teknolojilerini geniş çapta uygulamaktadır.

Şirket, Ankara'daki tesislerinde yapay zeka destekli robotlar, IoT tabanlı sensörler ve dijital ikiz teknolojilerini entegre ederek üretim süreçlerini optimize etmektedir. Aselsan'ın geliştirdiği siber-fiziksel sistemler, üretim sürelerini %20 oranında kısaltmış ve maliyetleri %15 azaltmıştır. (Aselsan, 2020).

### **3.1.4.8. Geleceğe Yönelik Potansiyel ve Zorluklar**

#### **1. Ar-Ge ve Yatırım Eksiklikleri:**

Türkiye'de Endüstri 4.0 teknolojilerine adaptasyon için gerekli yatırımların sınırlı olması, bu dönüşüm sürecini yavaşlatmaktadır. Sanayi kuruluşlarının yalnızca %20'si, Endüstri 4.0 teknolojilerine yeterli bütçe ayırabilmektedir. (MESS, 2020).

#### **2. Teknolojik Altyapı:**

Türkiye'deki birçok sanayi kuruluşu, altyapı eksiklikleri nedeniyle Endüstri 4.0 teknolojilerini tam olarak uygulayamamaktadır. Ancak, son yıllarda yapılan 5G yatırımları ve fiber optik ağ genişletme projeleri, bu eksikliğı gidermeyi hedeflemektedir. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

#### **3. İnsan Kaynakları Gelişimi:**

Eğitim ve mesleki gelişim, Endüstri 4.0 dönüşümünün önemli bir parçasıdır. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, bu süreçte mesleki eğitim programlarını artırarak nitelikli iş gücü yetiştirmeyi hedeflemektedir. 2019-2021 yılları arasında 50.000'den fazla işçiye Endüstri 4.0 teknolojileri konusunda eğitim verilmiştir. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

## 3.2. KALİTE SÜREÇLERİ

### 3.2.1. Kalite nedir?

Kalite, bir ürün veya hizmetin, belirlenmiş veya potansiyel talepleri karşılama yeterliliği ile ilgili özellikler dizisini ifade etmektedir. Bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişim seviyesinin en güvenilir göstergesi, ürettiği mal ve hizmetlerin niteliğidir. (Bozkurt & Odaman, 1998).

Kalite, ürünlerin tasarım aşamasında oluşturulmakta olup, sonraki kontrol aşamasında değil, bu süreçte dikkate alınmalıdır. Kalite ile ilgili pek çok sorun, genellikle ürünlerin ve süreçlerin yetersiz veya uygunsuz tasarımlarından kaynaklanmaktadır. Kalitenin önemi, aşağıdaki dört temel nedenle daha da belirginleşmektedir:

- Nihai müşteri için en önemli satın alma kriterlerinden biri olması
- Maliyetleri düşürmenin en etkili yöntemlerinden biri olması
- Esneklik ve tepki verme yeteneğini artırmanın ana yolu olması
- Üretim sürelerini kısaltmanın en etkili aracı olması (Dale, 2003)

Kalite ile ilgili tanımlar, çeşitli bilim insanları tarafından farklı perspektiflerden ele alınmıştır. İşte bu tanımlardan bazıları: (Dale, 2003)

- **Taguchi (1965)**: Kalite, bir ürünün toplumda neden olduğu en düşük zarardır.
- **Deming (1968)**: Kalite, müşteri gereksinimlerini karşılama yeteneğidir.
- **Gilmore (1974)**: Kalite, belirli bir ürünün, belirli bir müşterinin ihtiyaçlarını karşılama derecesidir.
- **Crosby (1979)**: Kalite, ihtiyaçlara uygunluk anlamına gelmektedir.

Kalite üzerine çalışmalar yürüten bilim insanları tarafından yapılan tanımlar şunlardır: (Ağbuga, 2007)

- **Feigenbaum (1983)**: Kalite, bir ürünün tasarımına veya belirlenen özelliklerine uygunluk düzeyidir.
- **Price (1985)**: Kalite, bir ürünün ilk denemede doğru bir şekilde üretilmesidir.
- **Deming (1986)**: Kalite, mevcut ve gelecekteki müşteri ihtiyaçlarını karşılama çabasıdır.
- **Juran (1988)**: Kalite, bir ürünün kullanım amacına uygun olma özelliğidir.
- **Kano (1993)**: Kalite, insan ihtiyaçlarını karşılama ve hatta aşma potansiyelidir.

- **Kavrakoğlu (1990):** Kalite, müşterinin gerçek gereksinimlerini onlardan daha iyi anlayarak bunları karşılama yetisidir. (Ağbuga, 2007)

### **3.2.1.2. Kalitenin Boyutları**

Kalitenin üretilmesinde temel olarak üç aşama vardır. Her bir aşama ürün kalitesini oluşturan temel unsurları beraberinde getirmektedir. Bunlar (Doğan, 2002)

1. Üretim öncesi aşama (tasarım kalitesi),
2. Üretim aşaması (uygunluk kalitesi),
3. Üretim sonrası aşama (kullanım kalitesi)

### **3.2.1.3. Kalitenin Tarihçesi**

Kalite kavramının sistematik bir şekilde ele alınması ve önceden belirlenmiş ilkelere dayandırılması, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım, zamanla Japonya ve Avrupa'daki gelişmelerle zenginleşmiş ve kalite yönetimi alanında önemli bir zirveye ulaşmıştır. Kalite, yönetim biliminin ayrılmaz bir parçası haline gelerek, organizasyonların performansını artırmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak amacıyla sürekli olarak evrim geçirmiştir. (Kavrakoğlu, 1992) .

#### **3.2.1.3.1. Kalitenin Tarihsel Gelişimi**

##### **1. Antik Çağlarda Kalite Kavramı**

Kalite kavramı, insanlık tarihi kadar eskiye dayanmaktadır. Antik Mısır, Mezopotamya ve Roma İmparatorluğu gibi uygarlıklarda inşa edilen yapılar ve el sanatları, kalite kontrol sistemlerinin ilkel biçimlerini barındırmıştır. "Antik Mısır'da piramitlerin inşasında kullanılan taş bloklarının boyutları, işçiler tarafından standartlara uygun olarak ölçülmüş ve kontrol edilmiştir" (Evans & Lindsay, 2008).

Roma İmparatorluğu döneminde ise kalite, mühendislik yapılarında standartlara uygunluğu sağlamak amacıyla bir dizi denetimle kontrol edilmiştir. "Romalılar, yollar ve su kemerleri gibi büyük yapı projelerinde kaliteyi sağlamak için malzeme standartlarını uygulamışlardır" (Juran, 1995).

## **2. Orta Çağ: Lonca Sistemi ve Kalite Standartları**

Orta Çağ Avrupa'sında kalite, lonca sistemi aracılığıyla korunmuştur. Loncalar, zanaatkarların ürünlerini belirli standartlara uygun olarak üretmesini sağlamak amacıyla denetimler gerçekleştirmiştir. "Loncalar, üretilen malların belirlenen standartlara uygun olmasını sağlamak için katı bir denetim mekanizması oluşturmuşlardır" (Feigenbaum, 1991).

Özellikle İngiltere'de, Wool Trade (yün ticareti) sırasında kalite kontrol yöntemleri uygulanmıştır. "13. yüzyılda İngiltere'deki loncalar, tekstil ürünlerinin standartlara uygunluğunu kontrol etmek için mühürleme ve işaretleme sistemleri geliştirmiştir" (Oakland, 2011).

## **3. Sanayi Devrimi ve Kalite Kontrolün Doğuşu**

Sanayi Devrimi, kalite kavramında önemli bir dönüm noktasıdır. 18. yüzyılın sonlarında makinelerin üretim süreçlerine entegrasyonu, kalite kontrolün gerekliliğini artırmıştır. "Sanayi Devrimi, üretim sürecindeki kusurların sistematik olarak azaltılmasını sağlayan kalite kontrol yöntemlerini gerekli kılmıştır" (Montgomery, 2013).

Bu dönemde, İngiltere ve ABD gibi ülkelerde üretim süreçlerinde kalite kontrol sistemlerinin temelini atan çalışmalar gerçekleştirilmiştir. "İngiltere'deki tekstil fabrikaları, üretim süreçlerinde kalite kontrol sistemlerini ilk kez uygulayan kuruluşlar arasında yer almıştır" (Evans & Lindsay, 2008).

## **4. 20. Yüzyıl: Modern Kalite Yönetimi Yaklaşımlarının Doğuşu**

### **Frederick Winslow Taylor ve Bilimsel Yönetim:**

Frederick Winslow Taylor, 1911 yılında yayımladığı *The Principles of Scientific Management* adlı kitabında kalite kontrolün üretim süreçlerindeki önemine dikkat çekmiştir. Taylor, "iş süreçlerinin analiz edilerek standartlaştırılması ve hataların minimize edilmesi gerektiğini" savunmuştur (Taylor, 1911).

### **Walter A. Shewhart ve İstatistiksel Kalite Kontrol:**

1920'lerde, Walter A. Shewhart istatistiksel kalite kontrol (SQC) kavramını geliştirmiştir. Shewhart, "istatistiksel yöntemlerin üretim süreçlerinde kaliteyi kontrol etmek ve süreç içindeki değişkenlikleri analiz etmek için kullanılabileceğini" göstermiştir (Shewhart, 1931). Shewhart'ın çalışmaları, modern kalite yönetimi yaklaşımlarının temelini atmıştır.

### **Japonya ve Kalite Devrimi:**

İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japonya, kalite yönetimi alanında büyük ilerlemeler kaydetmiştir. W. Edwards Deming ve Joseph M. Juran gibi Amerikan kalite uzmanlarının Japonya'daki çalışmaları, bu alandaki devrimi hızlandırmıştır.

- Deming, Japon şirketlerine istatistiksel kalite kontrol yöntemlerini tanıtmış ve "Toplam Kalite Yönetimi" (TQM) kavramını geliştirmiştir. Deming, "kalitenin, müşteri ihtiyaçlarının sürekli karşılanması için süreçlerin iyileştirilmesiyle elde edilebileceğini" savunmuştur (Deming, 1986).
- Juran ise, kalite planlama ve müşteri odaklı kalite yönetimi yaklaşımlarını tanıtmıştır. Juran, "kalitenin yalnızca üretim süreçlerinde değil, yönetim seviyesinde de kontrol edilmesi gerektiğini" vurgulamıştır (Juran, 1995).

### **Philip B. Crosby ve Kalite Maliyetleri:**

Philip B. Crosby, 1979 yılında yayımladığı *Quality is Free* adlı kitabında, kalitenin maliyet üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Crosby, "hataların önlenmesinin, düzeltme maliyetlerinden daha düşük olduğunu" ifade etmiştir (Crosby, 1979).

### **5. Modern Dönem: Uluslararası Standartlar ve ISO**

1980'ler ve sonrasında kalite yönetimi, uluslararası standartların geliştirilmesiyle daha sistematik bir hale gelmiştir. 1987 yılında Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO), ISO 9000 kalite yönetim sistemi standardını yayımlamıştır. ISO 9000, kalite yönetiminde süreçlerin dokümantasyonu ve standardizasyonu için bir çerçeve sağlamaktadır. (ISO, 1987).

ISO'nun çalışmaları, dünya genelindeki şirketlerin kalite yönetim sistemlerini bir standart altında toplamasını sağlamıştır. Türkiye'de de ISO 9000 standartları, sanayi kuruluşları tarafından benimsenmiş ve yaygın bir şekilde uygulanmıştır. (Evans & Lindsay, 2008).

Kalitenin tarihsel gelişimi, antik dönemlerden modern çağa kadar birçok evrim geçirmiştir. Roma İmparatorluğu'nun inşaat standartlarından lonca sistemine, Sanayi Devrimi'nin mekanikleşmesinden modern kalite yönetim sistemlerine kadar kalite, her dönemde insanlığın temel ihtiyaçlarından biri olmuştur. Shewhart, Deming ve Juran gibi bilim insanları, kalite kontrol ve yönetimi alanında devrim niteliğinde yenilikler yapmış; ISO gibi uluslararası organizasyonlar ise bu süreci küresel bir standart haline getirmiştir.

### **3.2.2. Kalite Yönetimi**

Son yıllarda kalite iyileştirme ve yönetim sistemleri önemli bir evrim sürecinden geçmiştir. Geçtiğimiz yirmi yıl veya daha uzun bir süre boyunca, basit denetim faaliyetleri, kalite kontrol süreçleriyle desteklenmiş ya da bunlarla değiştirilmiştir. Bu dönemde, kalite güvencesi uygulamaları da geliştirilmiş ve daha etkili bir biçimde uygulanır hale gelmiştir. Günümüzde, birçok organizasyon, sürekli ve kurumsal düzeyde iyileştirme süreçlerini benimseyerek toplam kalite yönetimi (TKY) yaklaşımına yönelmektedir. Bu dönüşüm, işletmelerin rekabet avantajlarını artırma ve müşteri memnuniyetini sağlama hedeflerinin bir parçası olarak ortaya çıkmaktadır (Dale, 2003).

#### **3.2.2.1. Kalite Yönetimi: Tanımı, Tarihçesi ve Küresel Durumu**

##### **Kalite Yönetimi Nedir?**

Kalite yönetimi, bir organizasyonun ürün ve hizmetlerinin müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde tasarlanması, üretilmesi ve sürekli iyileştirilmesi için uygulanan süreçlerin ve yöntemlerin bütünüdür. Kalite yönetimi, planlama, kontrol, güvence ve sürekli iyileştirme aşamalarını içerir. Kalite yönetimi, müşteri memnuniyetini sağlamak ve organizasyonel süreçleri optimize etmek için sistematik bir çerçeve sunar. (Juran, 1995).

##### **Kalite Yönetiminin Tarihçesi**

###### **1. Lonca Sisteminden Modern Yaklaşımlara:**

Orta Çağ'da kalite yönetimi, zanaatkarların ürettiği malların belirli standartlara uygunluğunu sağlamak amacıyla lonca sistemi ile başladı. Loncalar, kalite kontrolü, üretim süreçlerinin düzenlenmesi ve ürünlerin belirli standartlara göre değerlendirilmesi görevlerini üstlendi. (Feigenbaum, 1991).

###### **2. Sanayi Devrimi ve Kalite Kontrol:**

Sanayi Devrimi, kalite yönetimi açısından önemli bir dönüm noktasıdır. Mekanik üretim süreçleri, ürünlerin kalite kontrolünün daha sistematik hale gelmesini gerektirdi. Sanayi Devrimi, kalite kontrol tekniklerinin sistematik bir şekilde uygulanmasını teşvik etti ve organizasyonların süreçlerini standartlaştırma ihtiyacını doğurdu. (Montgomery, 2013).

## **Modern Kalite Yönetimi ve Bilim İnsanlarının Katkıları:**

### **Walter A. Shewhart (1920'ler):**

Shewhart, istatistiksel süreç kontrol (SPC) yöntemlerini geliştirdi ve modern kalite yönetiminin temelini attı. Shewhart'ın geliştirdiği kontrol grafikleri, üretim süreçlerindeki değişkenlikleri analiz etmek ve kaliteyi sürekli olarak iyileştirmek için kullanıldı. Shewhart'ın çalışmaları, modern kalite yönetimi disiplininin başlangıç noktasıdır. (Shewhart, 1931).

### **W. Edwards Deming (1950'ler):**

Deming, Japonya'da kalite yönetiminin gelişiminde kilit bir rol oynadı. Deming, süreçlerin sürekli iyileştirilmesi gerektiğini savundu ve Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem A1 (PUKÖ) döngüsünü tanıttı. Deming'in çalışmaları, Japonya'nın kalite yönetiminde lider bir ülke haline gelmesinde etkili olmuştur. (Deming, 1986).

### **Joseph M. Juran (1950'ler):**

Juran, kalite yönetimini yalnızca üretim süreçlerine değil, organizasyonel düzeye taşımış ve "Kalite Üçlemesi" (Planlama, Kontrol ve İyileştirme) modelini geliştirmiştir. Juran, kaliteyi yalnızca üretimde değil, organizasyon genelinde bir yönetim stratejisi olarak tanımlamıştır. (Juran, 1995).

### **Philip B. Crosby (1970'ler):**

Crosby, "kalite maliyetlidir" görüşünü eleştirmiş ve "hatasız üretim" ilkesini benimseyerek, kaliteye yatırım yapmanın uzun vadede daha düşük maliyetlere yol açacağını savunmuştur. Kalite, maliyetleri artırmaz, aksine maliyetleri düşürür ve organizasyonel verimliliği artırır. (Crosby, 1979).

### **Uluslararası Standartlar Dönemi (1980'ler ve Sonrası):**

ISO 9000 standartları, 1987 yılında Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından yayımlandı. Bu standartlar, kalite yönetim sistemlerini dünya çapında standardize etmek amacıyla oluşturulmuştur. ISO 9000, organizasyonların süreçlerini standartlaştırmalarını ve müşteri memnuniyetini artırmalarını sağlayan bir çerçeve sunar. (ISO, 1987).

## Kalite Yönetiminin Dünya Çapındaki Durumu

### 1. Japonya:

Japonya, kalite yönetiminde dünya liderlerinden biridir. Toyota'nın geliştirdiği Toyota Üretim Sistemi (TPS), yalın üretim ve sürekli iyileştirme (Kaizen) prensiplerine dayanmaktadır. Toyota, kalite yönetiminde yalın üretim ve sürekli iyileştirme yöntemlerini başarıyla uygulamış ve küresel liderlik elde etmiştir. (Ohno, 1988).

### 2. ABD:

ABD'de, Deming ve Juran'ın çalışmaları, kalite yönetiminin organizasyonel süreçlere entegrasyonunda etkili olmuştur. ABD şirketleri, 1980'lerden itibaren ISO 9000 standartlarını yaygın bir şekilde benimsemiş ve kalite yönetimi sistemlerini global pazarın gereksinimlerine uygun hale getirmiştir. (Evans & Lindsay, 2008).

### 3. Avrupa:

Avrupa'da kalite yönetimi, ISO standartlarının kabulü ve uygulanmasıyla hızlı bir şekilde gelişmiştir. Almanya'da otomotiv sektörü, kalite yönetiminde lider bir konuma sahiptir. Alman otomotiv endüstrisi, kalite kontrol sistemlerini etkin bir şekilde kullanarak küresel pazarda yüksek güvenilirlik ve dayanıklılık elde etmiştir. (Montgomery, 2013).

### 4. Türkiye:

Türkiye, kalite yönetiminde ISO 9000 standartlarını benimsemiş ve birçok sektörde uygulamıştır. Özellikle otomotiv, beyaz eşya ve tekstil sektörlerinde kalite yönetim sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de ISO 9000 sertifikasına sahip şirketlerin sayısı her yıl artmaktadır ve bu da kalite yönetimine olan ilginin göstergesidir. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020).

Kalite yönetimi, antik dönemlerden modern çağa kadar sürekli bir gelişim göstermiştir.

Walter A. Shewhart'ın istatistiksel kontrol yöntemlerinden Deming ve Juran'ın sistematik yaklaşımlarına kadar birçok bilim insanı, kalite yönetiminin temel taşlarını oluşturmuştur.

Japonya, ABD ve Avrupa gibi bölgeler, kalite yönetimini küresel rekabet avantajı elde etmek için stratejik bir araç olarak kullanmıştır. Günümüzde kalite yönetimi, ISO standartları aracılığıyla uluslararası bir çerçeveye oturtulmuş ve dünya genelinde işletmelerin temel bir bileşeni haline gelmiştir.

### 3.2.3. Total Kalite Yönetimi (TQM)

Toplam kalite yönetimi (TKY) tanımında uluslararası düzeyde bir uzlaşma sağlanmaya çalışılsa da, bu kavram 1994 tarihli ISO 8402 standardında tanımlanmıştır. Bu tanıma göre, TKY, "bir organizasyonda kaliteyi odak noktası haline getiren, tüm üyelerin katılımını esas alan, müşteri memnuniyetini ön planda tutarak uzun vadeli başarıyı hedefleyen ve organizasyonun tüm bireyleri ile topluma fayda sağlamayı amaçlayan bir yönetim yaklaşımı" olarak tanımlanmaktadır. (Kovancı, 2004)

Ayrıca ,Toplam Kalite Yönetimi (TKY), iç ve dış müşteri beklentilerinin ötesine geçmeyi esas alan; çalışanların bilgilendirilmesi ve yetkilendirilmesiyle, takım çalışması doğrultusunda tüm süreçlerin sürekli iyileştirilmesini amaçlayan bir yönetim felsefesi olarak tanımlanmaktadır (Çakar & Serdar, 2002).

**3.2.3.1. Toplam Kalite Yönetimi (TKY) Temel İlkeleri:** Toplam Kalite Yönetimi (TKY) ilkelerinin çoğu, kalite alanında öncülük eden Deming, Juran ve Feigenbaum tarafından geliştirilmiştir. Bu uzmanlar arasında bazı farklılıklar mevcut olsa da, genel olarak benzer fikirler ve ilkeler üzerinde durmaktadırlar. Japonya, Amerika ve diğer ülkelerdeki başarılı uygulamalarla birlikte, kalitenin öncülerinin prensipleri bir araya geldiğinde TKY'nin temel ilkeleri belirgin hale gelir TKY'nin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için beş temel unsur önem taşır. Bu unsurlardan birinin eksikliği, uygulamada ciddi sorunlara yol açabilir:

1. **İç ve Dış Müşteri Memnuniyeti:** Rekabet avantajı elde etmek için iç ve dış müşterilerin gereksinimlerinin karşılanması ve beklentilerinin aşılması hedeflenmelidir.
2. **Sürekli İyileştirme:** Tüm süreçlerde düzenli ve sistematik iyileştirme yapılması esastır.
3. **Veriye Dayalı Çalışma:** Doğru, somut ve güvenilir verilere dayalı olarak sistematik bir çalışma yürütülmelidir.
4. **Yönetimin Kararlılığı:** Yönetim, TKY uygulamalarında kararlılık göstermeli, çalışanlara liderlik yapmalı ve uygulamalarda etkin bir rol üstlenmelidir.
5. **Çalışan Katılımı:** Çalışanların öneri ve katkılarıyla TKY uygulamalarına ve iyileştirme süreçlerine katılımı teşvik edilmelidir. (Ishika, 1995)

Toplam kalite yönetim unsurları aşağıdaki gibidir:

### **3.2.3.2. Denetleme**

Basit bir denetim tabanlı sistemde, bir ürün, hizmet veya faaliyetin bir veya birden fazla özelliği incelenir, ölçülür, test edilir ya da değerlendirilir ve bu özellikler, belirli bir spesifikasyon veya performans standardıyla karşılaştırılarak uygunluğu belirlenir. Üretim ortamında, bu sistem, malzemelerin ve ürünlerin girişinde, üretilen bileşenler ve montajlar aşamasında, ayrıca sürecin kritik noktalarında ve nihai ürünlerin depoya alınmadan önceki aşamalarında uygulanır. (Dale, 2003).

### **3.2.3.3. Kalite kontrol**

Bir kalite kontrol sistemi çerçevesinde, ayrıntılı ürün ve performans özelliklerinin yanı sıra, belgelerin ve prosedürlerin kontrolüne yönelik sistemler, ham maddelerin ve ara ürünlerin test edilmesi ve raporlanması ile ilgili faaliyetler, temel süreç performans verilerinin kaydedilmesi ve süreç bilgilerin uygun personel ve tedarikçilere geri bildirilmesi beklenir. Kalite kontrolü, yöntemlerin ve sistemlerin karmaşıklığını artırırken, onaylı operatörler tarafından gerçekleştirilen kendi kendine denetim, bilgi kullanımının etkinliği ve kullanılan araçlar ile teknikler açısından temel denetim faaliyetlerinin bir adım ötesine geçilmesine katkıda bulunur. Müşterilere belirtilen özelliklerin dışında ürün ve hizmetlerin teslim edilmesini engellemenin ana mekanizması tarama denetimi olmasına rağmen, kalite kontrol önlemleri, süreç kontrolünü daha etkili hale getirerek uyumsuzluk sıklığını azaltmaya yardımcı olmaktadır. (Dale, 2003).

### **3.2.3.4. Kalite güvence**

Kalite Güvence Sistemi, bir ürün veya hizmette hedeflenen kalite standartlarına ulaşmayı ve belirlenen amaçların gerçekleştirilmesini sağlamak için, Kalite Yönetim Sistemleri çerçevesinde yer alan tüm faaliyetlerin düzenli bir biçimde uygulanması ve sergilenmesi anlamına gelir. (Topal, 2000).

Kalite kontrolden kalite güvenceye geçiş sürecinde elde edilen ek özelliklere örnek olarak, tekdüzelik ve uygunluğu artırmak için kapsamlı bir kalite yönetim sisteminin uygulanması verilebilir. Bu aşamada, yedi kalite kontrol aracının (histogram, kontrol sayfası, Pareto analizi, neden-sonuç diyagramı, grafikler, kontrol grafiği ve dağılım diyagramı) kullanımı, istatistiksel süreç kontrolü, arıza modu ve etki analizi (FMEA) ve kalite maliyetlerinin toplanması ve analizi gibi yöntemler de önemli bir rol oynamaktadır. (Dale, 2003).

### 3.2.3.5. TKY Teknikleri ve Araçlarının Kullanım Alanları

- **Beyin Fırtınası:** Problem tanımlama süreci
- **Nominal Grup Tekniği:** Problem tanımlama süreci
- **Akış Diyagramı:** Problem tanımlama süreci
- **Güç Alan Analizi:** Problem tanımlama ve problem analizi
- **Pareto Diyagramı:** Problem tanımlama ve problem analizi
- **Sebeup Sonuç Diyagramı:** Problem tanımlama ve problem analizi
- **Gruplandırma:** Problem tanımlama ve problem analizi
- **Histogram:** Problem analizi
- **Çetele Tabloları:** Problem tanımlama ve problem analizi
- **Dağılma Diyagramı:** Problem tanımlama ve problem analizi
- **Kontrol Kartı:** Problem tanımlama ve problem analizi (Büker, 2007)

### 3.2.3.6. Toplam Kalite Yönetimi'nin İşletmelere Sağladığı Yararlar

Toplam Kalite Yönetimi, işletmelere çeşitli avantajlar sunarak genel performanslarını artırmaktadır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Özalp ve Tonus, 2001)

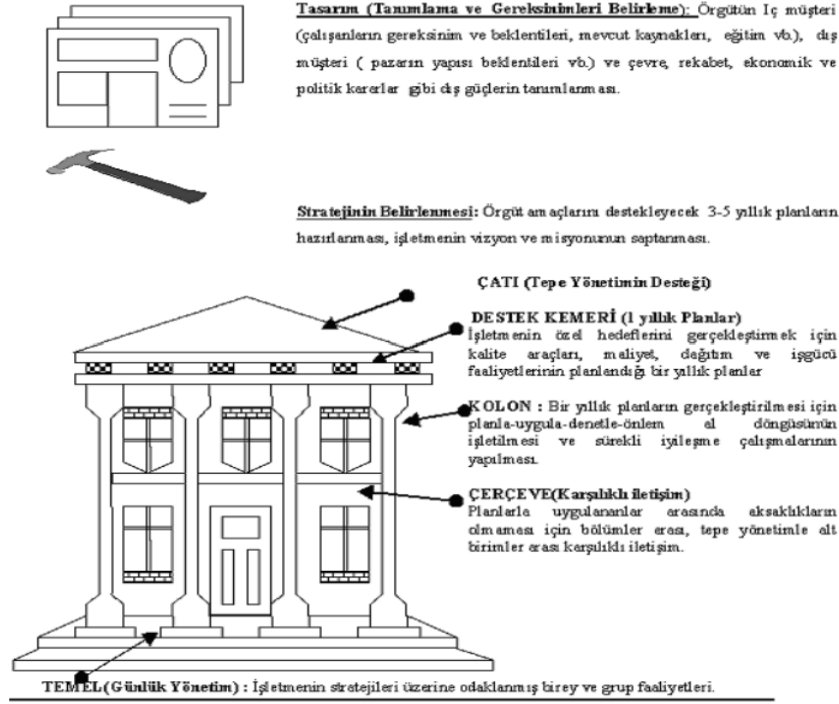
- Ürün ve hizmet kalitesinin artması
- Müşteri memnuniyetinin yükselmesi
- Kaynak israfının azalması
- Ürün geliştirme süresinin kısılması
- Verimliliğin artması
- Pazar talebinin karşılanmasında sağlanan esneklik
- Süreç içindeki işlem sayısının azaltılması
- Müşteri hizmetleri ve mal teslimat sürelerinin kısılması
- İşçi-işveren ilişkilerinin iyileştirilmesi

<b>Klasik Kalite Anlayışı</b>	<b>TKY (Toplam Kalite Yönetimi) Anlayışı</b>
Kaliteyi kontrol ederek sağlama	Problemleri önceden engelleyerek kalite sağlama
Artan maliyetle yüksek kaliteli ürün üretimi	Düşük maliyetle yüksek kaliteli ürün üretimi
Optimal seviyede stok tutma	Stok tutulmaz, sıfır stok anlayışı benimsenir
Sorunlar büyüdükçe çözüm üretme	Olası sorunları önceden yönetme
Hiyerarşik düzen önceliklidir	Müşteri memnuniyetine dayalı öncelikler
Kar maksimizasyonu hedeflenir	Yüksek kaliteli ürün ile müşteri memnuniyetine odaklanma
Kontrollü fire yönetimi	Sıfır fire politikası
Kabul edilebilir hata seviyesine yönelik üretim	Hatasız üretim süreçlerinin benimsenmesi
Standartlara uygun kalite anlayışı	Müşteri talep ve ihtiyaçlarına uygun kalite
Kararlar az sayıda kişi tarafından alınır	Kararlar ekip içinde alınır
Kalite kontrol, belirli bir departmanın sorumluluğundadır	Kalite, tüm çalışanların ortak sorumluluğudur
Devrim niteliğinde hızlı değişim	Kademeli ve sürekli gelişim anlayışı

Tablo 4. Klasik Kalite ve TKY Anlayışı Karşılaştırması Kaynak: (Parlak, 2013)

### 3.2.3.7. Toplam Kalite Yönetiminin Yapısı

Toplam Kalite Yönetimi (TKY) sürecini, yeni inşa edilecek bir binanın inşasına benzetmek mümkündür. TKY'nin etkili bir şekilde hayata geçirilebilmesi için öncelikle bir tasarım aşamasına ihtiyaç vardır. Bu tasarım aşaması, gereksinimlerin tanımlanması ve belirlenmesi gibi faaliyetleri kapsar. Uygulamada başarı sağlanabilmesi için uygun stratejinin seçilmesi kritik bir öneme sahiptir. TKY yapısı, aşağıdaki unsurları çatıdan temele doğru içermektedir: üst yönetimin katılımı, yıllık planların oluşturulması, bu planların istenen sonuçlara ulaşabilmesi için "planla-uygula-denetle-önlem al" döngüsünün geliştirilmesi ve yapının sürdürülebilirliğini sağlamak için günlük bireysel ve grup faaliyetlerini içermektedir. (Ağbuga, 2007).



Şekil 3. Total Kalite Yönetim Yapısı Kaynak: (Ağbuga, 2007)

### 3.2.3.8. Toplam Kalite Yönetiminin Aşamaları

Toplam Kalite Yönetimi kapsamında dört aşama bulunmaktadır. Bu aşamalar, kalite kavramının işletme yöneticileri ve çalışanları tarafından zamanla daha iyi anlaşılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan kademeli yapısal değişiklikler şeklinde tanımlanabilir. Aşağıda bu aşamalar sıralanmıştır: (Yönersoy, 1997)

- Geleneksel aşama
- Müşteri bilinci aşaması
- Sürekli iyileştirme aşaması
- Yenilik aşaması

### 3.2.3.9. Toplam Kalite Yönetimi Unsurları ve Kapsamı

TKY'nin temelini oluşturan beş unsur, kalite yönetiminin tüm organizasyona entegre edilmesini sağlar:

### 1. **Müşteri Odaklılık:**

Toplam Kalite Yönetimi'nin ilk unsuru, müşteri beklentilerinin karşılanması ve aşılmasıdır. TKY, kaliteyi müşteri ihtiyaçlarına uyum sağlama yeteneği olarak tanımlar. (Deming, 1986).

Örnek: Japonya'da Toyota, TKY'nin müşteri odaklılık prensibini yalın üretim sistemine entegre ederek müşteri memnuniyetinde lider konuma ulaşmıştır. (Ohno, 1988).

### 2. **Sürekli İyileştirme:**

Sürekli iyileştirme (Kaizen), TKY'nin en kritik unsurlarından biridir. Kaizen, küçük ama sürekli adımlarla organizasyonel süreçlerin iyileştirilmesini ifade eder. (Imai, 1986).

Örnek: Japon firmaları, süreçlerinde sürekli iyileştirme yaparak kaliteyi artırmış ve maliyetleri düşürmüştür.

### 3. **Çalışan Katılımı:**

TKY, organizasyonun tüm çalışanlarının kalite yönetim sürecine katılımını sağlar. Çalışanların kalite sürecine dahil edilmesi, TKY'nin temel taşlarından biridir. (Feigenbaum, 1991).

Örnek: Xerox, çalışanların kalite geliştirme süreçlerine katılımını teşvik ederek üretim süreçlerindeki hataları %20 oranında azaltmıştır. (Evans & Lindsay, 2008).

### 4. **Süreç Odaklılık:**

TKY, süreçlerin detaylı bir şekilde analiz edilerek iyileştirilmesini ve standartlaştırılmasını gerektirir. (Montgomery, 2013).

Örnek: Almanya'da BMW, süreç odaklı kalite yönetimiyle üretim süreçlerini optimize etmiş ve verimliliği artırmıştır.

### 5. **Veri ve İstatistiksel Analiz:**

TKY, kaliteyi ölçmek ve süreçleri optimize etmek için istatistiksel araçlar kullanır. İstatistiksel analiz, süreçlerdeki değişkenliklerin anlaşılmasını ve iyileştirilmesini sağlar. (Shewhart, 1931).

Örnek: General Electric, Altı Sigma yöntemini TKY'ye entegre ederek süreçlerindeki hata oranlarını önemli ölçüde azaltmıştır (Harry & Schroeder, 2000).

### 3.2.3.10. Toplam Kalite Yönetimi Alt Segmentleri ve Araçları

#### 3.2.3.10.1. Alt Segmentleri:

TKY'nin alt başlıkları, organizasyonun farklı birimlerinde kaliteyi sağlamak için stratejik yaklaşımlar sunar:

- **Kalite Planlaması:** Kalite planlaması, müşteri ihtiyaçlarını karşılayan ürün ve hizmetlerin tasarlanmasını içerir. (Juran, 1995).
- **Kalite Güvencesi:** Kalite güvencesi, süreçlerin belirli standartlara uygunluğunu sağlamayı amaçlar. (Crosby, 1979).
- **Kalite Kontrol:** Kalite kontrol, ürün ve hizmetlerin kalite standartlarına uygun olup olmadığını doğrulamak için kullanılan bir süreçtir. (Feigenbaum, 1991).

#### 3.2.3.10.2. Araçlar:

TKY, kaliteyi ölçmek ve iyileştirmek için bir dizi araç kullanır:

- **Kontrol Çizelgeleri:** Kontrol çizelgeleri, kalite performansını görselleştirmek için kullanılan bir yöntemdir. (Shewhart, 1931).
- **Pareto Analizi:** Pareto analizi, hataların nedenlerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. (Juran, 1995).
- **Sebeup-Sonuç Diyagramı (Ishikawa Diyagramı):** Ishikawa diyagramı, kalite sorunlarının nedenlerini analiz etmek için kullanılır. (Ishikawa, 1985).

### 3.2.3.11. Toplam Kalite Yönetimi Yapısı: Kalite Evi

Kalite Evi (House of Quality), müşteri gereksinimlerini teknik özelliklere dönüştüren ve kaliteyi sistematik bir şekilde yöneten bir araçtır. Kalite Evi, müşteri ihtiyaçlarını süreç tasarımına entegre eden bir kalite yönetim aracıdır. (Hauser & Clausing, 1988). Bu yapı, genellikle kalite fonksiyon yayılımı (QFD) yöntemiyle uygulanır.

#### 1. Tasarımı:

Kalite Evi, bir matris formunda tasarlanır ve şu bileşenleri içerir:

- Müşteri gereksinimleri

- Teknik gereksinimler
- Öncelik sıralaması
- Karşılaştırmalı analiz

## 2. **Kullanımı:**

Kalite Evi, ürün geliştirme süreçlerinde kullanılır ve müşteri memnuniyetini artırmayı hedefler. QFD, müşteri gereksinimlerinin teknik gereksinimlere çevrilmesinde etkin bir yöntemdir. (Akao, 1990).

## 3. **Örnek:**

Ford, Kalite Evi'ni araç tasarım süreçlerinde kullanarak müşteri memnuniyetini artırmış ve ürün geliştirme sürelerini %15 oranında azaltmıştır. (Hauser & Clausing, 1988).

### 3.2.3.12. Toplam Kalite Yönetiminin Küresel Gelişimi

#### 1. **Japonya:**

Japonya, TKY'nin gelişiminde lider bir ülkedir. Japon şirketleri, TKY'nin müşteri odaklılık ve sürekli iyileştirme prensiplerini yalın üretim sistemine entegre ederek kalite yönetiminde küresel lider konuma gelmiştir. (Ohno, 1988).

#### 2. **ABD:**

Deming ve Juran'ın çalışmaları, TKY'nin ABD'de yaygınlaşmasını sağlamıştır. Özellikle General Motors ve General Electric gibi şirketler, TKY yöntemlerini üretim süreçlerine entegre ederek maliyetleri düşürmüş ve kaliteyi artırmıştır (Deming, 1986; Juran, 1995).

#### 3. **Avrupa:**

Avrupa'da, ISO 9000 standartları TKY'nin benimsenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Alman otomotiv sektörü, TKY'yi kalite kontrol süreçlerine entegre ederek müşteri memnuniyetini artırmıştır. (Montgomery, 2013).

#### 4. **Türkiye:**

Türkiye, TKY yöntemlerini ISO standartları aracılığıyla uygulamış ve birçok sektörde başarı elde etmiştir. Türk sanayi kuruluşları, ISO 9000 sertifikalarını yaygın bir şekilde benimseyerek TKY yöntemlerini süreçlerine entegre etmiştir. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020).

Toplam Kalite Yönetimi, müşteri odaklılık, sürekli iyileştirme, çalışan katılımı, süreç odaklılık ve veri analitiği gibi unsurlar üzerine kuruludur. Japonya'dan ABD'ye ve Avrupa'dan Türkiye'ye kadar, TKY farklı ülkelerde uygulanarak organizasyonların kalite standartlarını yükseltmiş ve rekabet avantajı sağlamıştır. Kalite Evi gibi araçlar, müşteri ihtiyaçlarını sistematik bir şekilde karşılamada etkili olmuş ve TKY'nin yapısını güçlendirmiştir.

### **3.2.3.13. Toplam Kalite Yönetimi ve Endüstri 4.0 İlişkisi**

4.Sanayi Devrimi terimi, ilk kez 2011 yılında Hannover Ticaret Fuarı'nda, Almanya'nın 2020 Yüksek Teknoloji Stratejisi Hareket Planı çerçevesinde tanıtılmıştır. Hem sanayi hem de toplumu dönüştürecek olan bu yeni dönem, Endüstri 4.0 olarak adlandırılmaktadır. Bu dönem, bilişim, iletişim, internet, otomasyon, veri toplama ve analizi gibi teknolojilerin işletmelerin tüm fonksiyonlarıyla ve tüketicileriyle entegre olduğu bir süreci temsil etmektedir. Dijital teknolojilerin ve otomasyonun üretim süreçlerine entegrasyonu, kalite yönetiminde de önemli bir değişimi beraberinde getirmiştir. “Kalite 4.0” kavramı, bu dönüşümün kalite yönetimi alanında uygulanmasını ifade etmektedir. Geleneksel kalite yönetimi yaklaşımları, üretim süreçlerinin denetimini ve hataların en aza indirilmesini hedeflerken, Kalite 4.0 daha akıllı, bağlı ve eşzamanlı bir metodoloji sunmaktadır. Bu yeni yaklaşım, büyük veri analitiği, sensörler ve akıllı cihazlar aracılığıyla gerçek zamanlı veri toplama ve analizini içermektedir. Böylece, üretim süreçlerindeki kalite sorunları daha hızlı ve etkili bir biçimde belirlenip önlenabilir. Ayrıca, Kalite 4.0'ın temel unsurlarından biri, işbirliği ve bilgi paylaşımına dayalı bir yaklaşımın teşvik edilmesidir. Tedarik zinciri paydaşları arasında veri ve bilgi akışı, daha etkin bir kalite yönetimi sağlamak ve süreçlerin optimize edilmesine olanak tanımak açısından hayati öneme sahiptir. Kalite 4.0'ın hedefleri, yüksek kalite standartlarının sağlanması, verimliliğin artırılması ve müşteri memnuniyetinin yükseltilmesini kapsamaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte Kalite 4.0, sürdürülebilir üretimin gerçekleştirilmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. (Bilgin & Yılmaz, 2023).

### **3.2.3.14. Toplam Kalite Yönetimi (TKY) ve Türkiye: Tarihsel Gelişim, Uygulamalar ve Örnekler**

- **TKY'nin Türkiye'de Tanınması ve Tarihsel Gelişimi**

Türkiye, Toplam Kalite Yönetimi (TKY) ile 1980'lerde tanışmış ve bu yaklaşımı

benimsemeye başlamıştır. Türkiye’de TKY’nin gelişiminde, globalleşme ile birlikte uluslararası kalite standartlarının önem kazanması etkili olmuştur. 1980’lerde ihracat odaklı büyüme stratejileri benimseyen Türkiye, rekabet gücünü artırmak için kalite yönetim sistemlerini entegre etmeye başlamıştır. (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020). ISO 9000 standartlarının yayımlanmasının ardından, Türk sanayi kuruluşları kalite yönetimini sistematik bir şekilde uygulamaya başlamıştır. ISO 9000, Türkiye’de birçok sanayi kuruluşunun kalite yönetim sistemlerini uluslararası standartlarla uyumlu hale getirmesine olanak sağlamıştır. (Türk Standartları Enstitüsü, 1995).

- **TKY’nin Türkiye’de Gelişimi**

1. **1980’ler: İlk Uygulamalar ve Bilinçlenme Süreci**

Türkiye’de TKY’nin benimsenmesi, özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinde başlamıştır. Bu dönemde, Türk sanayi kuruluşları uluslararası ticarete rekabet edebilmek için kalite yönetim sistemlerini uygulamaya koymuştur.

- Örnek: Ford Otosan, 1982 yılında kalite kontrol süreçlerini iyileştirerek uluslararası pazarda rekabet avantajı elde etmiştir. (Ford Otosan, 1990).

2. **1990’lar: ISO 9000 ve Yaygınlaşma**

1990’larda, Türkiye’de TKY’nin uygulanması hız kazanmış ve birçok kuruluş ISO 9000 sertifikası almıştır. Bu dönem, Türk sanayisinin global kalite standartlarına uyum sağlama çabalarının yoğun olduğu bir süreçtir.

- Örnek: Arçelik, 1995 yılında ISO 9000 sertifikası alarak kalite yönetimini uluslararası standartlara uygun hale getirmiştir. (Arçelik, 1995).

3. **2000’ler: TKY ve Yalın Üretim Entegrasyonu**

2000’lerde, TKY’nin yalın üretim ve Altı Sigma gibi yöntemlerle entegre edilmesi gündeme gelmiştir. Özellikle otomotiv sektörü, bu alanda öncü bir rol oynamıştır.

- Örnek: TOFAŞ, yalın üretim ve Altı Sigma yöntemlerini kullanarak üretim süreçlerindeki hata oranlarını %30 oranında azaltmıştır. (TOFAŞ, 2010).

4. **2010 ve Sonrası: Dijitalleşme ve TKY Entegrasyonu**

Dijital dönüşümün hızlanmasıyla birlikte, TKY’nin Endüstri 4.0 teknolojileriyle entegrasyonu Türkiye’deki sanayi kuruluşları için öncelikli bir hedef haline gelmiştir. Vestel, Manisa fabrikasında TKY ile IoT tabanlı sistemleri entegre ederek üretim süreçlerinde %20 verimlilik artışı sağlamıştır. (TTGV, 2020).

- **Türkiye’de TKY Uygulamalarından Örnekler**

1. **Arçelik – Beyaz Eşya Sektöründe Kalite Liderliği**

Arçelik, Türkiye’de TKY uygulamalarının öncülerindedir. Çerkezköy fabrikasında kalite kontrol süreçlerini sürekli iyileştirme prensiplerine dayandırmıştır. Arçelik, toplam kalite yönetimi ilkelerini yalın üretimle entegre ederek, üretim maliyetlerini %15 oranında azaltmış ve müşteri memnuniyetini %25 artırmıştır. (Arçelik, 2020).

2. **TOFAŞ – Otomotivde Kalite Yönetimi**

TOFAŞ, Bursa fabrikasında kalite yönetim süreçlerini başarıyla uygulamış ve Altı Sigma gibi araçlardan faydalanmıştır. TOFAŞ, kalite kontrol süreçlerini otomatikleştirerek üretim hatalarındaki oranı %20 azaltmıştır. (TOFAŞ, 2019).

3. **Aselsan – Savunma Sanayiinde TKY**

Aselsan, TKY’yi savunma sanayiinde kalite standartlarını yükseltmek için kullanmıştır. Şirket, müşteri odaklılık ve süreç iyileştirme prensiplerine öncelik vermektedir. Aselsan, kalite yönetim süreçlerini ISO 9001 standardına göre düzenleyerek müşteri şikayetlerini %30 oranında azaltmıştır. (Aselsan, 2020).

4. **Türk Hava Yolları – Hizmet Kalitesinde Mükemmellik**

Türk Hava Yolları, hizmet sektöründe TKY’yi başarıyla uygulayan bir örnektir. Şirket, müşteri memnuniyetini artırmak için süreçlerini sürekli iyileştirme prensiplerine göre düzenlemiştir. Türk Hava Yolları, TKY uygulamaları sayesinde 2018 yılında müşteri memnuniyeti anketlerinde %90 başarı oranı elde etmiştir. (THY, 2018).

- **TKY’nin Türkiye’deki Başarıları ve Zorlukları**

1. **Başarılar:**

- Türkiye, TKY uygulamaları sayesinde uluslararası pazarda rekabet gücünü artırmıştır.
- Otomotiv, beyaz eşya ve savunma sanayi gibi sektörlerde TKY uygulamaları geniş çapta benimsenmiştir.

2. **Zorluklar:**

- TKY’ye tam entegrasyon, özellikle KOBİ’ler için maliyetli bir süreç olabilmektedir.
- Eğitim eksiklikleri, TKY uygulamalarının etkinliğini sınırlayabilmektedir.

Türkiye, Toplam Kalite Yönetimi uygulamalarını özellikle sanayi sektöründe başarıyla benimsemiştir. ISO 9000 standartlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, Türk şirketleri kalite yönetim sistemlerini uluslararası standartlara uygun hale getirmiştir. Arçelik, TOFAŞ ve Aselsan gibi kuruluşlar, TKY uygulamalarını süreçlerine entegre ederek rekabet avantajı elde etmiştir. Ancak, TKY'nin daha geniş çapta benimsenmesi için eğitim ve altyapı yatırımlarının artırılması gereklidir.

### 3.2.3.15. Endüstri 4.0'ın Etkilerinin Kalite 4.0 Üzerinden Değerlendirilmesi

Kalite 4.0, otomasyon ile bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde işletmelerde kalite süreçlerinin yönetilmesi için bir yapı sağlar. (Sony vd., 2020)

Kalite 4.0, toplam kalite yönetimini temel almakla birlikte, bunun ötesine geçerek tüm paydaşlarla veri akışını sağlamak için gereken sistemleri bünyesinde barındırmaktadır. Endüstri 4.0 çerçevesinde kalite, değer yaratma, örgütsel öğrenme, yenilikçilik, sürdürülebilirlik ve verilerin keşfi ile ilişkili yeni perspektiflerin geliştirilmesiyle ilgilidir. (Sisodia & Villegas Forero, 2019)

**Kalite Devrimi Tablosu**

<b>Kalite Devrimi</b>	<b>Amaç</b>	<b>Strateji</b>
Kalite 1.0 (1890'dan önce)	Ürün miktarının kaliteden daha fazla önemsenmesi. Maliyetin, israfın ve verimsizliğin ihmal edilmesi. Çalışan verimliliğinin artırılması.	Kalite kontrol faaliyetleri, ürün özelliklerine, istatistiksel süreç kontrolüne ve değişikliklerin düzeltilmesine dayalı olarak yürütülmüştür.
Kalite 2.0 (1890-1940)	Standartlara uygunluk. Kusurların en aza indirilmesi. İşgücü performansının verimlilik ölçümlerinde kullanılması.	Süreç performanslarının ölçümüne dayalı olarak hataları önlemeye dönük yürütülen kalite kontrol faaliyetleriyle kalite güvencesinin sağlanması esas alınmıştır.

Kalite 3.0 (1940-1995)	Verimliliği yüksek iş süreçlerinin oluşturulması. Çalışanların katılımı. Süreçlerin sürekli iyileştirilmesi. Örgütsel mükemmelliğin hedeflendiği modellerin (EFQM gibi) uygulanması. Standardizasyon (ISO 9001 gibi) faaliyetlerinin sürdürülmesi.	Gereksinimlere uygunluğun kalite güvencesi sağlanarak yönetilmesi esas alınmıştır. Bunun için kalite stratejisi bir zorunluluk olarak görülür ve kalite ölçümleriyle bağlantılı kurumsal hedefler belirlenerek sürekli gelişme sağlanır.
Kalite 4.0 (1995 ve sonrası)	Paydaşların beklentilerinin karşılanması. Kontrol faaliyetlerinin süreç tasarımlarında tasarlanarak yürütülmesi. Kendi kendini yöneten makinelerin kullanılması.	Ortaklıklar kapsamında paylaşılan değerler ve tüm paydaşlara karşı hesap verebilirlik esastır.

Tablo 5. Kalitenin Gelişim Evreleri

Kaynak: (Salimova vd., 2020; Sisodia & Villegas Forero, 2019; Zonnenshain & Kenett, 2020)

Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim süreçlerine entegre edilmesi, müşteri kalite taleplerinin karşılanması ve son müşteriden tedarikçilere kadar tüm toplam kalite yönetimi uygulamalarının etkin bir şekilde sürdürülmesini mümkün kılmaktadır. Bu entegrasyon, kusurlu ürünlerin erken tespit edilmesini sağlarken, son müşteriyle etkili iletişim kurulmasına ve üretim sisteminin pazar taleplerine hızlı bir şekilde yanıt vermesine olanak tanımaktadır. Böylece, işletmelerin üstlenmek zorunda kaldığı kalite maliyetleri de en düşük seviyeye indirilebilmektedir (Sader vd., 2019).

Kalite 4.0 uygulamaları, çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır ve bunların başında teknoloji uyumu ile entegrasyonu ve büyük veri yönetimi gelmektedir. İlk olarak, Endüstri 4.0 teknolojileri ile Kalite 4.0 uygulamalarının mevcut altyapıya entegre edilmesi gerekmektedir. Bu entegrasyon, yeni teknolojilerin eski sistemlerle sorunsuz bir şekilde bir araya getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bunun yanı sıra, büyük miktarda veri üretilmesi ve analiz

edilmesi, veri yönetimi ve depolama konularında bazı sorunları da ortaya çıkarmaktadır. Bu verilerin etkili bir şekilde işlenmesi ve kullanılması, kalite yönetim süreçlerinin başarıyla yürütülmesi açısından son derece önemlidir. Kalite 4.0 uygulamaları, birkaç önemli zorlukla karşı karşıya kalmaktadır. Bunların ilki, hassas verilerin paylaşımını gerektiren veri güvenliğidir; bu durum birçok organizasyon için kritik bir mesele haline gelmektedir. Ayrıca, yeni teknolojileri anlayıp kullanabilen nitelikli personel bulmak ve eğitmek de büyük bir önem taşımaktadır. Bu, dijital yetenek eksikliği ile doğrudan ilişkilidir.

Maliyet unsuru da önemli bir zorluk olarak öne çıkmaktadır; çünkü Kalite 4.0 uygulamaları genellikle büyük yatırımlar gerektirmektedir. Hem yeni teknolojilerin temini hem de dijital yeteneklere sahip çalışanların yüksek ücretleri, mevcut personelin sürekli eğitim maliyetleri gibi faktörler, toplam yatırım maliyetlerini artırmaktadır.

Dijital dönüşümü teşvik etmek ve organizasyon içinde kültürel değişimi desteklemek de zorlu bir süreçtir. Ayrıca, bazı sektörlerde veri güvenliği ve dijital uygulamalarla ilgili belirli düzenlemelere ve uyumluluk gerekliliklerine uymak zorunludur. Son olarak, Kalite 4.0, iş süreçlerinin yeniden tasarımını gerektirebilir ve bu değişiklikler organizasyon içinde dirençle karşılaşabilir. (Küpper, Knizek, Ryeson, & Noecker, 2019).

Kalite yönetimi alanındaki yeni yaklaşımlar, dördüncü sanayi devriminin sunduğu fırsatlardan yararlanmayı gerektirir. Bu çerçevede aşağıdaki unsurlar ön plana çıkmaktadır:

- Kalitenin veri odaklı bir disiplin olarak ele alınması,
- Kanıta dayalı modelleme ve simülasyon uygulamalarının entegrasyonu,
- Sağlık izleme ve kalite tahmini süreçlerinin geliştirilmesi,
- Entegre bir kalite yönetimi yaklaşımının benimsenmesi,
- Dördüncü sanayi devrimi ile ilgili olgunluk seviyelerinin belirlenmesi,
- İnovasyonun kalite yönetimi ile birleştirilmesi,
- Kalite 4.0 ile veri bilimi arasındaki etkileşim ve
- Bilgi kalitesinin artırılması. (Paraschivescu, 2021)

## Endüstri 4.0'ın Kalite Yönetimi Üzerindeki Etkileri

Endüstri 4.0, kalite yönetimini şu temel alanlarda dönüştürmüştür:

### 1. Gerçek Zamanlı Veri Analitiği ve Büyük Veri Kullanımı:

Endüstri 4.0 teknolojileri, büyük veri analitiği ile üretim süreçlerinde kaliteyi optimize etmek için fırsatlar sunar. (Manyika et al., 2011).

- Örnek: General Electric, IoT cihazları ve veri analitiği ile üretim süreçlerinde kalite kontrolü gerçek zamanlı olarak gerçekleştirmiş ve %30 verimlilik artışı sağlamıştır. (GE, 2020).

### 2. IoT ve Nesnelerin İnterneti Kullanımı:

IoT, kalite kontrol süreçlerini otomatikleştirme ve süreçlerde şeffaflık sağlama imkanı tanır. IoT tabanlı sistemler, üretim süreçlerindeki tüm aşamaların izlenebilirliğini sağlar ve hataların hızlı bir şekilde tespit edilmesine olanak tanır. (Ashton, 2009).

- Örnek: Vestel, Manisa fabrikasında IoT cihazlarını kalite kontrol süreçlerine entegre ederek üretim hatalarını %15 oranında azaltmıştır (TTGV, 2020).

### 3. Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi:

Yapay zeka, kalite süreçlerinde anomali tespiti, tahmine dayalı analizler ve otomatik düzeltme önerileri sunar. (LeCun et al., 2015).

- Örnek: Bosch, yapay zeka tabanlı kalite kontrol sistemleriyle üretim hatlarındaki hataları tespit ederek, ürün geri çağırma oranını %20 azaltmıştır. (Bosch, 2019).

### 4. Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Kalite Eğitimi:

Artırılmış gerçeklik (AR), kalite denetim süreçlerini kolaylaştırmak ve çalışanların eğitimlerini desteklemek için kullanılır. AR, kalite kontrol personelinin karmaşık süreçleri daha etkili bir şekilde anlamasını sağlar. (Azuma, 1997).

- Örnek: Boeing, AR tabanlı kalite eğitimleriyle çalışanlarının hata oranlarını %30 oranında azaltmıştır (Boeing, 2019).

### 5. Robotik ve Otonom Sistemler:

Otonom robotlar, kalite kontrol süreçlerini hızlandırır ve insan kaynaklı hataları minimuma indirir. Robotik sistemler, kalite kontrol süreçlerini hızlandırarak verimliliği artırır ve maliyetleri düşürür. (Manyika et al., 2011).

- Örnek: Fanuc, robotik sistemleri kalite kontrol süreçlerine entegre ederek üretim hızını %25 artırmıştır. (Fanuc, 2018).

## Endüstri 4.0 ve Kalite 4.0'ın Türkiye'deki Uygulamaları

### 1. Vestel:

Vestel, Endüstri 4.0 teknolojilerini kalite kontrol süreçlerine entegre ederek üretim verimliliğini %20 oranında artırmıştır. (TTGV, 2020).

### 2. Ford Otosan:

Ford Otosan, IoT ve yapay zeka tabanlı sistemlerle üretim hatlarını optimize etmiş ve kalite sorunlarını %30 oranında azaltmıştır. (Ford Otosan, 2020).

### 3. TOFAŞ:

TOFAŞ, dijitalleşme ve kalite 4.0 uygulamalarıyla üretim süreçlerinde maliyet tasarrufu sağlamış ve kalite standartlarını yükseltmiştir. (TOFAŞ, 2021).

### 4. Aselsan:

Aselsan, savunma sanayinde yapay zeka ve IoT tabanlı kalite kontrol sistemleri kullanarak hata oranlarını minimuma indirmiştir. (Aselsan, 2020).

Endüstri 4.0, kalite yönetim süreçlerini dijitalleşme, otomasyon ve büyük veri gibi teknolojilerle dönüştürerek kalite 4.0 kavramını doğurmuştur. Büyük veri analitiği, IoT, yapay zeka ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojiler, kalite yönetiminin daha hızlı, esnek ve verimli bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Türkiye gibi ülkelerde, kalite 4.0 uygulamaları Vestel, TOFAŞ ve Aselsan gibi lider firmalar tarafından benimsenerek global rekabet avantajı elde edilmiştir. Ancak, kalite 4.0'ın daha geniş çapta benimsenmesi için eğitim, altyapı ve yatırım eksikliklerinin giderilmesi gereklidir.

### 3.2.3.16. Kalite 4.0'ın Unsurları ve Araçları

Kalite 4.0, Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojilerin kalite yönetimi süreçlerine entegrasyonunu ifade eder. Temel unsurları şunlardır:

#### 1. Dijitalleşme:

Kalite yönetimi süreçleri, dijital araçlar sayesinde daha hızlı ve şeffaf hale gelir.

Dijitalleşme, kalite süreçlerinde hata oranlarını azaltmak ve süreçleri optimize etmek için kritik bir rol oynar. (ISO, 2018).

## 2. Tahmine Dayalı Analizler:

Büyük veri ve makine öğrenimi, kalite sorunlarını öngörmek ve önlemek için kullanılır.

- Örnek: Siemens, tahmine dayalı analizlerle üretim süreçlerinde olası hataları önceden tespit ederek maliyetleri %20 azaltmıştır. (Siemens, 2020).

## 3. Gerçek Zamanlı İzleme ve Kontrol:

IoT cihazları, süreçlerde gerçek zamanlı izleme imkanı sunar.

- Örnek: Arçelik, IoT tabanlı izleme sistemleriyle kalite sorunlarını anında tespit etmiş ve müşteri şikayetlerini %15 azaltmıştır. (Arçelik, 2020).

## 4. İnsan-Makine İş Birliği:

Artırılmış gerçeklik ve otonom robotlar, çalışanlarla makineler arasındaki iş birliğini güçlendirir.

- Örnek: BMW, artırılmış gerçeklik teknolojilerini kalite kontrol süreçlerinde kullanarak denetim süresini %25 kısaltmıştır. (BMW, 2019).

### 3.2.3.17. Kalite Kavramı ve İstatistiksel Süreç Kontrol

Kalite kavramı tarih boyunca gelişmiş ve özellikle 20. yüzyılda modern kalite yönetimi yaklaşımlarıyla sistematik bir hale gelmiştir. Shewhart, kaliteyi kontrol edebilmek için süreçlerdeki değişkenliklerin analiz edilmesi gerektiğini savunarak, modern kalite yönetiminin temellerini atmıştır. (Shewhart, 1931).

Kalitenin sekiz boyutu, birçok organizasyon için kalite algısında yeterli bir temel oluşturabilmektedir. Buna ek olarak, kalite kavramına ilişkin çeşitli tanımlar da aşağıda sunulmuştur. (Işığışok, 2004):

1. **Performans:** Ürünün amacına uygun olarak görevini ne kadar başarılı gerçekleştirdiğidir.
2. **Güvenilirlik:** Ürünün kullanım süresi boyunca onarıma duyduğu ihtiyaç sıklığı olup, bu faktör müşterinin güven algısını etkiler.
3. **Dayanıklılık:** Müşterilerin uzun vadeli tatmin sağlayacak performansa sahip ürünlere olan beklentisidir.
4. **Servis Kolaylığı:** Ürünün bakım ve onarımının hızlı ve uygun maliyetle yapılabilmesi, müşteri memnuniyeti açısından önem taşır.
5. **Estetik:** Ürünün görsellik ve çekicilik bakımından sağladığı izlenimdir.

6. **Ek Özellikler:** Müşteriler, kaliteyi yalnızca temel işlevler değil, aynı zamanda ekstra fonksiyonlara sahip ürünlerde ararlar.
7. **Algılanan Kalite:** Çoğu durumda, ürünün kalitesi hakkında şirketin geçmişteki itibarı dikkate alınır.
8. **Standartlara Uygunluk:** Ürünün, tasarımcının belirlediği kriterlere ne derece uyduğudur.

### 3.2.3.17.1. İstatistiksel Süreç Kontrol (SPC) Nedir?

İstatistiksel Süreç Kontrol (SPC), üretim süreçlerindeki değişkenlikleri ölçmek, kontrol etmek ve analiz etmek için istatistiksel yöntemler kullanan bir yaklaşımdır. SPC'nin amacı, üretim süreçlerinin kontrol altında tutulmasını sağlamak ve bu süreçlerdeki hataları minimize etmektir. "SPC, süreç içindeki rastgele ve sistematik hataları ayırt ederek kaliteyi sürekli olarak iyileştiren bir tekniktir" (Montgomery, 2013).

Shewhart, 1924 yılında Bell Laboratories'de çalışırken SPC'nin temelini atan kontrol grafikleri yöntemini geliştirmiştir. Bu grafikler, süreçlerdeki değişimleri görselleştirmek ve kontrol altında tutmak için kullanılan bir araçtır (Shewhart, 1931).

İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK), süreç istikrarını sağlamak ve yetenekleri geliştirmek amacıyla değişkenliği azaltmaya yönelik güçlü problem çözme araçlarının bir bütünüdür. (Montgomery, 2013).

İSK, tüm süreçlerde uygulanabilir ve kullanımı kolaydır. İSK'da kullanılan yedi temel araç şu şekildedir: (Montgomery, 2013):

- Histogram veya dal yaprak grafikleri
- Kayıt kontrol formu
- Pareto analizi
- Sebep sonuç diyagramı
- Kusur konsantrasyonu diyagramı
- Dağılım diyagramı
- Kontrol grafiği

1920'lerde Walter A. Shewhart tarafından geliştirilen kontrol grafiği, yukarıda bahsedilen yedi araç arasında en gelişmiş olanıdır. Kontrol grafiği, bir örnek üzerinden zamana veya örnek numarasına karşı ölçülen ya da hesaplanan bir kalite karakteristiğini grafiksel olarak sunar. (Montgomery, 2013).

İstatistiksel Süreç Kontrolü'nün (İSK) başlıca amacı, süreçteki değişimlere neden olan özel faktörleri ortadan kaldırarak sürecin istikrarlı bir şekilde kontrol altında tutulmasını sağlamaktır. (Işığıçok, 2004)

### **SPC'nin Unsurları ve Alt Başlıkları**

#### **1. Kontrol Grafiklerinin Kullanımı:**

Kontrol grafikleri, süreç değişkenliklerini izlemek ve kontrol altında tutmak için kullanılan temel araçlardır. Shewhart kontrol grafikleri, süreçteki rastgele değişkenlikleri ve sistematik sapmaları belirlemek için kullanılır. Kontrol grafiklerinin amacı, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını belirlemektir. (Shewhart, 1931).

#### **2. Proses Yetenek Analizi:**

SPC, bir sürecin belirlenen kalite standartlarını karşılayıp karşılamadığını değerlendirmek için proses yetenek analizi yapar. Proses yetenek analizi, bir sürecin müşteri beklentilerini karşılama kapasitesini ölçer. (Montgomery, 2013).

#### **3. Değişkenliklerin Ayrıştırılması:**

Rastgele ve sistematik değişkenliklerin ayrıştırılması, SPC'nin temel unsurlarından biridir. Rastgele değişkenlikler genellikle doğal süreç dalgalanmalarından kaynaklanırken, sistematik değişkenlikler genellikle süreç dışı faktörlerden kaynaklanır. (Evans & Lindsay, 2008).

#### **4. Örnekleme ve Veri Toplama:**

SPC, süreç içindeki kaliteyi değerlendirmek için örnekleme yöntemlerini kullanır. Örnekleme, tüm üretim partisini analiz etmek yerine, belirli bir örneklem üzerinden kaliteyi değerlendirmeyi sağlar. (Feigenbaum, 1991).

### **3.2.3.17.2. SPC Süreci**

SPC'nin uygulanması şu adımları içerir:

### 1. Sürecin Tanımlanması:

Süreçlerin giriş ve çıkışlarının net bir şekilde tanımlanması gerekir.

- Örnek: Otomotiv sektöründe bir montaj hattındaki süreçler.

### 2. Veri Toplama:

Süreçlerdeki performansı analiz etmek için veriler toplanır.

- Örnek: Bir üretim hattındaki ürünlerin boyut ölçümleri.

### 3. Kontrol Grafiklerinin Hazırlanması:

Toplanan veriler kullanılarak kontrol grafikleri oluşturulur.

- Örnek: Bir tekstil fabrikasında üretilen kumaşların kalınlık değişimleri.

### 4. Süreç Performansının İzlenmesi:

Kontrol grafikleri üzerinden süreçlerin performansı izlenir.

- Örnek: Bir ilaç fabrikasında tablet boyutlarının standart sapmaları.

### 5. Düzeltici Önlemler:

Eğer süreçte anormal bir durum tespit edilirse, düzeltici önlemler alınır.

- Örnek: Bir otomobil parçasının tolerans dışı üretilmesi durumunda makine kalibrasyonu yapılması.

## 3.2.3.17.3. SPC'nin Örnek Uygulamaları

### 1. Toyota Üretim Sistemi (TPS):

Toyota, SPC'yi yalın üretim sistemiyle birleştirerek süreç değişkenliklerini minimize etmiş ve üretim hatalarını azaltmıştır. Toyota, SPC yöntemlerini kullanarak üretim süreçlerinde kaliteyi sürekli olarak iyileştirmiştir. (Ohno, 1988).

### 2. General Electric ve Altı Sigma:

General Electric, SPC'yi Altı Sigma metodolojisiyle birleştirerek süreçlerdeki hataları minimuma indirmiştir. General Electric, SPC ve Altı Sigma araçlarını kullanarak süreç verimliliğini %30 artırmıştır. (Harry & Schroeder, 2000).

### 3. Gıda Sektörü – Nestlé:

Nestlé, SPC yöntemlerini üretim süreçlerinde kullanarak ürün kalite standartlarını artırmıştır. Nestlé, SPC sayesinde üretim hatalarını %20 azaltmış ve müşteri şikayetlerini önemli ölçüde düşürmüştür. (Nestlé, 2019).

### **3.2.3.17.4. SPC'nin Avantajları ve Zorlukları**

#### **Avantajları:**

- Süreçlerdeki değişkenlikleri kontrol altına alır.
- Maliyetleri azaltır ve verimliliği artırır.
- Kalite problemlerini önceden tespit ederek önleyici tedbirler alınmasını sağlar.

#### **Zorlukları:**

- Veri toplama ve analiz süreçleri zaman alıcı olabilir.
- SPC'nin etkin uygulanabilmesi için nitelikli personel gereklidir.

İstatistiksel Süreç Kontrol (SPC), kalite yönetimi uygulamalarında kritik bir rol oynar. Shewhart'ın geliştirdiği kontrol grafikleri ve diğer istatistiksel yöntemler, süreçlerdeki değişkenlikleri analiz etmek ve kontrol altında tutmak için etkili araçlar sağlar. Toyota, General Electric ve Nestlé gibi firmalar, SPC'nin uygulama örneklerini sergileyerek kaliteyi artırmış ve maliyetleri düşürmüştür. SPC, modern kalite yönetimi uygulamalarının ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilmektedir.

### 3.3. ALTI SIGMA NEDİR?

Altı Sigma (Six Sigma), süreçlerin etkinliğini artırmak, hata oranlarını minimuma indirmek ve müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkarmak amacıyla kullanılan bir kalite yönetimi metodolojisidir. Altı Sigma, istatistiksel yöntemlere dayalı bir problem çözme yaklaşımıdır ve süreçlerdeki değişkenlikleri kontrol altına almayı hedefler. "Altı Sigma, süreçlerdeki kusurları azaltarak maliyetleri düşürmek ve kaliteyi artırmak için sistematik bir yöntem sunar" (Harry & Schroeder, 2000). Altı Sigma'da kullanılan "sigma ( $\sigma$ )", herhangi bir süreçte ölçülebilir gözlem değerlerinin değişkenliğini ya da ortalama değere göre sapmalarını ifade eden bir istatistiksel ölçüdür. (Işığışok, 2011).

Altı Sigma, bir kuruluşun temel süreçlerini müşteri ihtiyaçlarına uygun bir şekilde değerlendirmek ve geliştirmek amacıyla, hem günümüzde hem de gelecekte, tüm çalışanların bilgi ve nicel teknikleri etkili bir şekilde kullanmasını teşvik eden bir yöntemdir. (Baş, 2003)

Altı Sigma, ilk kez 1985 yılında Motorola tarafından uygulanmaya başlamıştır. Motorola için bu yaklaşım, kalite hedeflerini her milyon birimde yalnızca 3,4 hata seviyesine indirmeyi amaçlayan bir metodolojiyi temsil etmektedir. (Linderman vd, 2003).

İstatistiksel analiz yazılımları geliştiren Minitab şirketi, Altı Sigma'yı müşteri memnuniyetini artırmaya yönelik, hata oranlarını azaltan, süreçleri iyileştiren ve ölçülebilir finansal sonuçlar elde etmeyi sağlayan bir yaklaşım olarak tanımlamaktadır. Motorola ise Altı Sigmayı, bir iş stratejisi ve felsefesi olarak ele almaktadır. Altı Sigma'nın kurucularından Mikel Harry, bu kavramı "belirli hata kaynaklarını tespit edip ortadan kaldırmak için veri toplayan ve istatistiksel analizler kullanan bir yöntem" şeklinde açıklamaktadır. (Sitnikov, 2002)

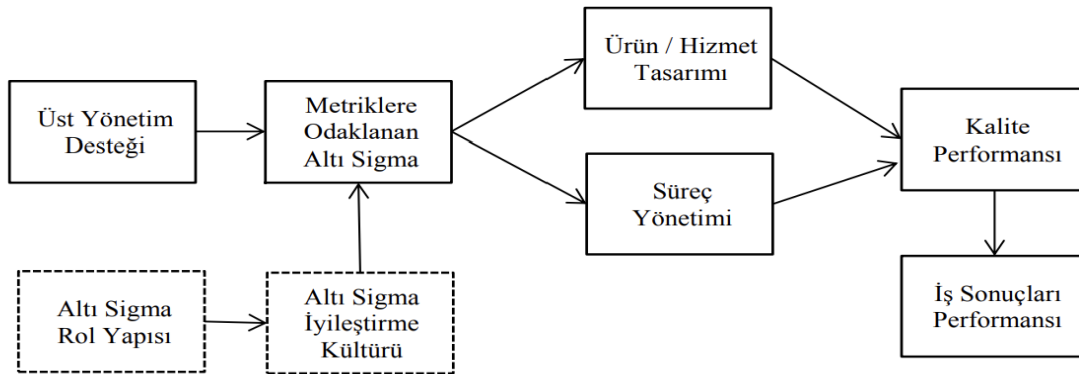
Altı Sigma kavramındaki sigma ( $\sigma$ ), bir sürece ilişkin ölçülebilir gözlem değerlerinin değişkenliğini (varyasyonunu) veya birbirleriyle olan farklılıklarını (benzerlik dışılığını) ortalama bir ölçü ile değerlendiren istatistiksel bir araçtır. (Işığışok, 2011).

Benzer şekilde, yapılan istatistiksel ve matematiksel bir Altı Sigma tanımına göre, tüm ürünler, nitelikler veya hizmetler için milyonda 3,4 hata spesifikasyonu ( $\mu \pm 6\sigma$ ) ile yüksek kalite standartlarına ulaşmayı amaçlayan bir çaba olarak tanımlanmaktadır. Burada hata terimi, müşteri memnuniyetsizliğini ifade etmektedir. (Black, K. ve Revere, L. 2006).

Sigma Seviyesi	MOHS	Başarı Oranı (%)
1	691.500	% 30,85
2	308.500	% 69,15
3	66.800	% 93,32
4	6.200	% 99,38
5	230	% 99,997
6	3,4	% 99,99966

Tablo 6. 6 Sigma Dönüşüm Tablosu

Yukarıda gösterildiği gibi Sigma seviyeleri ile milyondaki hata sayıları arasındaki ilişki lineer değil, parabolik bir artış göstermektedir. Örneğin, tabloyu incelediğimizde 3 sigma seviyesinden 4 sigma seviyesine geçmek için yaklaşık 11 katlık bir iyileşme gerekmektedir. Diğer yandan, 5 sigma seviyesinden 6 sigma seviyesine ulaşmak için yaklaşık 68 kat daha fazla iyileştirme yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. (Polat, Cömert, & Arıtürk, 2005)



Şekil 4. 6 Sigma ve yapısının performansı arasındaki ilişkinin teorik olarak modellenmesi.

**Kaynak:** (Shafer & Moeller, 2012; Ülgen, 2014)

Goh, bu alandaki çalışmalarında konuyu diğer akademisyenlerden farklı bir perspektiften ele almıştır. Altı Sigma'nın ne anlama geldiğini anlamak ve tanımlamak için öncelikle onun neyi temsil etmediğini bilmek önemlidir. Altı Sigma, ISO 9000 veya ISO 14000 gibi sertifikasyon programları değildir; dolayısıyla hiçbir organizasyonun Altı Sigma sertifikasına sahip olduğunu ya da buna uygun olduğunu iddia etmesi mümkün değildir. Bununla birlikte, Altı

Sigma, kaliteyi artırmak için bir çerçeve sunar ve müşteri beklentilerini gözeterek performans gelişimini sağlayan istatistiksel süreçler bütünüdür. (Goh 2011).

### 3.3.1. Altı Sigma'nın Dünyada Tarihsel Gelişimi

Alltı Sigma'nın tarihsel gelişimine bakıldığında, Japonların pazarlarını sürekli olarak genişletmeleri, 1970'lerin sonlarına doğru Amerikalıları harekete geçirmiştir. Bu genişlemelere yanıt olarak Motorola, 1979 yılında hurda, yeniden işleme ve kalite kontrol süreçlerinden kaynaklanan maliyetleri incelemeye başlamıştır. 1980'ler boyunca Motorola, değişkenliği bir tehdit olarak değerlendirmiş ve Altı Sigma yaklaşımını benimseyerek kaliteyi artırma ve iyileştirme konularında önemli başarılar elde etmiştir. (Gürsakal N., 2008).

Bu durumu fark eden Motorola yönetim ekibi, kalite ve yönetim sistemlerinin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğine ve bir değişim sürecine ihtiyaç duyulduğuna karar vermiştir. Bu arayışlar sonucunda, Altı Sigma kavramı 1980'lerde Motorola'da ortaya çıkmıştır. Şirket çalışanlarından mühendis Mikel Harry, ürünlerin çıktılarındaki değişkenlikleri incelemeye başlamış ve bu değişkenliklerin ölçülmesi sayesinde sistemlerde iyileştirmeler gerçekleştirilebileceğini anlamıştır. (Thomsett, 2005).

1987-1992 yılları arasında, Altı Sigma yöntemi sayesinde imalat hataları 150 kat azaltılmış ve Motorola, bu süreçte 2.2 milyar dolar tasarruf elde etmiştir. (Gürsakal N.,2008). Daha sonra, 1987-1996 yılları arasında firmaya ait yetkililer, 11 milyar dolar tasarruf sağlandığını açıklamıştır. (Gürsakal N., 2008).

Motorola'nın 1988 yılı Genel Müdürü Bob Galvin, Malcolm Baldrige Kalite Ödülü'nü kazanırken bu başarının Altı Sigma olarak adlandırdıkları bir yaklaşıma dayandığını ifade etmesiyle birlikte, Altı Sigma uygulamaları birçok şirketin ilgisini çekmiştir. (Baş, 2003).

Altı Sigma'nın yaygınlaşmasında bir diğer önemli faktör, 1995 yılında General Electric'in Altı Sigma Akademisi ile birlikte kendi eğitim programlarını oluşturmak üzere bir sözleşme imzalamasıdır. O dönemde CEO olan Jack Welch, şirketin tüm seviyelerindeki çalışanları Altı Sigma eğitimlerine katılmaları ve problem çözme süreçlerinin bir parçası olmaları için teşvik etmiştir. (Allen, 2010). Welch, Altı Sigma'yı GE'nin kurumsal stratejisinin temel bir unsuru haline getirmiştir. General Electric, Altı Sigma uygulamalarıyla 1995-1998 yılları arasında 1.2 milyar dolar tasarruf sağlamıştır. (GE, 1999).

### 3.3.2. Dünyadan Altı Sigma Uygulama Örnekleri

2000'ler itibarıyla Altı Sigma, otomotiv, havacılık, sağlık ve hizmet sektörleri gibi birçok endüstride uygulanmaya başlanmıştır. Toyota, Boeing, Ford ve Nestlé gibi şirketler Altı Sigma metodolojisini süreçlerine entegre etmiştir.

#### 1. **General Electric (GE):**

General Electric, Altı Sigma'yı tüm iş birimlerinde uygulamış ve süreçlerinde büyük verimlilik artışı sağlamıştır. General Electric, Altı Sigma uygulamalarıyla üretim süreçlerindeki hata oranını %50 azaltmış ve operasyonel maliyetlerini önemli ölçüde düşürmüştür. (GE, 1999).

#### 2. **Toyota:**

Toyota, Altı Sigma yöntemini yalın üretim prensipleriyle birleştirerek üretim hatalarını minimuma indirmiştir. Toyota, Altı Sigma ve yalın üretim araçlarını kullanarak süreç iyileştirmeleri sayesinde üretim hızını %25 artırmıştır. (Ohno, 1988).

#### 3. **Boeing:**

Boeing, Altı Sigma yöntemlerini uçak üretim süreçlerinde kaliteyi artırmak için kullanmıştır. Boeing, Altı Sigma sayesinde uçak üretim hatlarındaki kalite problemlerini %30 oranında azaltmıştır. (Boeing, 2015).

#### 4. **Nestlé:**

Nestlé, Altı Sigma'yı gıda üretim süreçlerinde kullanarak müşteri memnuniyetini artırmıştır. Nestlé, Altı Sigma yöntemleriyle üretim süreçlerindeki kalite standartlarını iyileştirmiş ve müşteri şikayetlerini %20 azaltmıştır. (Nestlé, 2019).

#### 5. **Ford:**

Ford, Altı Sigma'yı tedarik zinciri yönetimi ve üretim süreçlerinde uygulamış ve lojistik maliyetlerini düşürmüştür. Ford, Altı Sigma ile lojistik operasyonlarındaki verimliliği %15 oranında artırmıştır. (Ford, 2017).

### 3.3.3. Türkiye'de Altı Sigma'nın tarihsel gelişimi

Türkiye'de birçok firma, Altı Sigma yönetimini benimsemiştir. Lojistik sektöründe Borusan Lojistik, beyaz eşya alanında Arçelik, kimya sektöründe Kalekim, otomotivde Bosch Dizel Sistemleri ve bilişim alanında Koçnet, Koç Sistem ile Global Bilgi-Türkcell gibi şirketler, Altı Sigma uygulayan örnekler arasında gösterilebilir. (Saru, 2015).

Altı Sigma metodolojisini benimseyen Türkiye'deki ilk firma, 1996 yılında Eskişehir'de faaliyet gösteren TEI (Turkish Engine Industry) olmuştur. Bu şirketin hisselerinin büyük bir

kısmı General Electric'e aittir. Türkiye'de Altı Sigma'yı ikinci olarak uygulamaya başlayan firma ise 1998 yılında Arçelik'tir. Arçelik, Altı Sigma'yı uygulayan ilk Türk sermayeli şirket olma özelliği taşımaktadır. (Ülgen, 2014).

TOFAŞ, Altı Sigma'yı üretim süreçlerine entegre ederek kaliteyi artırmıştır. TOFAŞ, Altı Sigma ile üretim hatalarını %20 azaltmış ve müşteri memnuniyetini artırmıştır. (TOFAŞ, 2020).

Arçelik, Altı Sigma yöntemlerini kullanarak üretim süreçlerinde maliyet tasarrufu sağlamıştır. Arçelik, Altı Sigma sayesinde üretim süreçlerindeki enerji tüketimini %10 düşürmüştür.

(Arçelik, 2019). Aselsan, savunma sanayinde Altı Sigma araçlarını kullanarak ürün kalitesini artırmıştır. Aselsan, Altı Sigma ile süreçlerinde kalite problemlerini minimize etmiş ve hata oranlarını önemli ölçüde azaltmıştır. (Aselsan, 2020).

#### **3.3.4. Altı Sigma Felsefesinin Amacı**

Toplam kalite yönetiminde olduğu gibi, Altı Sigma'nın esas hedefi de müşteri ihtiyaçlarını koşulsuz ve sınırsız bir şekilde karşılayarak müşteri memnuniyetini artırmak ve pazar payını mümkün olan en üst düzeye çıkarmaktır. (Yavuz, 2005).

Bunu başarmak için yerine getirilmesi gerekenler şunlardır:

- Kalite beklentilerini tam olarak ve ilk seferde karşılamak,
- İstenilen kaliteyi uygun maliyetle sunabilmek,
- Gerekli kaliteyi tam zamanında uygun fiyatlarla sağlayabilmektir.

Altı Sigma uygulamalarında kuruluşlar, esas olarak aşağıdaki hedeflere ulaşmak için çalışmaktadırlar: (Duru, 2011)

- Mevcut potansiyeli en iyi şekilde değerlendirmek,
- İyileştirme fırsatlarını belirlemek,
- Verimsizlik ve kalitesizlikten kaynaklanan geri döndürülebilir kayıpları azaltmak,
- Müşteri beklentilerini aşmak,
- Verileri bilimsel yöntemlerle analiz ederek bilgiye dönüştürmek ve bu bilgiyi kullanarak
- Doğru kararlar almak,
- Rekabet avantajını artırmak,

- Çalışanları yetkinleştirip motive etmek,
- Çalışanları problem çözme teknikleriyle donatarak etkili birer problem çözücü haline getirmektir. (Duru, 2011)

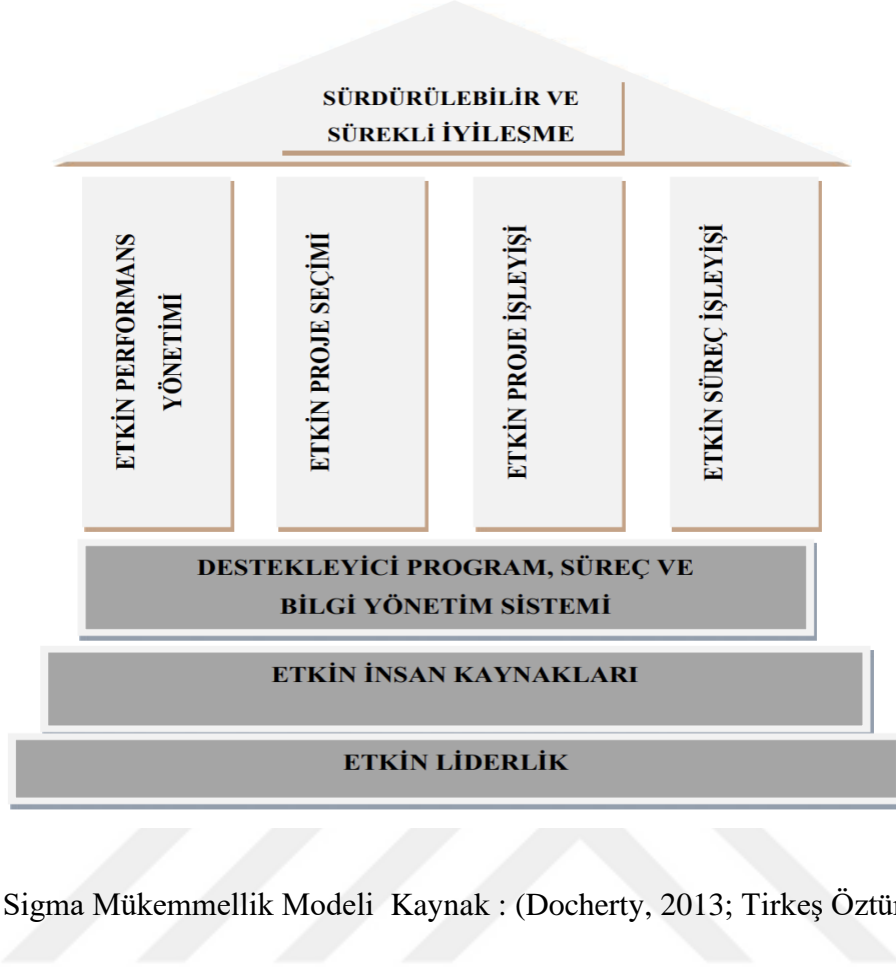
Altı Sigma uygulamalarının üretim sektörüne sunduğu yararları şu şekilde özetleyebiliriz:

- Maliyetlerin azaltılması,
- Verimliliğin artırılması,
- Pazar payının genişletilmesi,
- Kurum kültürünün olumlu yönde gelişmesi,
- Çevrim sürelerinin kısaltılması,
- Hata oranlarının minimize edilmesi.

Hizmet sektörüne sağladığı faydalar ise şunlardır:

- Hizmet dağıtımındaki gereksiz aşamaların kaldırılması,
- Dağıtım sürecinde yaşanabilecek gecikmeler, müşteri şikayetleri ve yanlış çözümlerden kaynaklanan düşük kalite maliyetlerinin azaltılması,
- Problem çözme teknikleri ve araçlarının sağladığı farkındalık ile çalışanların yüksek iş tatmini elde etmesi,
- Süreçlerdeki değişkenliğin azaltılması ile servis kalitesinin artırılması,
- İçgüdüsel yaklaşımlar yerine somut verilerle hareket edilmesi sayesinde yönetimin etkinliğine katkıda bulunulması. (Kumar & Sosnoski, 2009)

Altı Sigma'nın temel amacı, firmanın müşterilerinin kritik ihtiyaçlarını (maliyet, teslim süresi, kalite) en iyi şekilde anlaması ve süreçlerini bu kriterlere göre düzenleyerek, müşteri beklentilerini hatasız bir şekilde tek bir seferde karşılamasıdır. (Öztürk, 2012).



Şekil 5. Altı Sigma Mükemmellik Modeli Kaynak : (Docherty, 2013; Tirkeş Öztürk, 2012)

### 3.3.5. DMAIC Süreci:

Altı Sigma, DMAIC (Tanımla, Ölç, Analiz Et, İyileştir, Kontrol Et) olarak bilinen beş aşamalı bir problem çözme metodolojisine dayanır:

- **Tanımla:** Sürecin problemleri ve hedefleri tanımlanır.
- **Ölç:** Süreç performansı ve mevcut durum analiz edilir.
- **Analiz Et:** Veriler analiz edilir ve problemin nedenleri belirlenir.
- **İyileştir:** Çözümler geliştirilir ve süreç iyileştirilir.
- **Kontrol Et:** Sürecin kontrol altında tutulması sağlanır (Montgomery, 2013).

### 3.3.6. Türkiye’de Altı Sigma Uygulamaları

#### 1. TOFAŞ:

TOFAŞ, Altı Sigma’yı üretim süreçlerine entegre ederek kaliteyi artırmıştır. TOFAŞ, Altı Sigma ile üretim hatalarını %20 azaltmış ve müşteri memnuniyetini artırmıştır. (TOFAŞ, 2020).

## 2. Arçelik:

Arçelik, Altı Sigma yöntemlerini kullanarak üretim süreçlerinde maliyet tasarrufu sağlamıştır. Arçelik, Altı Sigma sayesinde üretim süreçlerindeki enerji tüketimini %10 düşürmüştür. (Arçelik, 2019).

## 3. Aselsan:

Aselsan, savunma sanayinde Altı Sigma araçlarını kullanarak ürün kalitesini artırmıştır. Aselsan, Altı Sigma ile süreçlerinde kalite problemlerini minimize etmiş ve hata oranlarını önemli ölçüde azaltmıştır. (Aselsan, 2020).

Altı Sigma, süreçlerdeki kusurları azaltarak verimliliği artırmayı ve müşteri memnuniyetini sağlamayı hedefleyen güçlü bir metodolojidir. Motorola ile başlayan bu yolculuk, General Electric, Toyota, Boeing ve Nestlé gibi dünya devlerinin süreçlerinde büyük dönüşümler yaratmıştır. Türkiye’de ise TOFAŞ, Arçelik ve Aselsan gibi lider firmalar Altı Sigma’yı başarıyla uygulamış ve kalite standartlarını yükseltmiştir. Ancak, Altı Sigma’nın başarılı bir şekilde uygulanması, nitelikli personel, veri analitiği ve uzun vadeli bir taahhüt gerektirir.

### 3.3.7. Altı Sigma’nın İlkeleri

Altı Sigma, bir yönetim sistemi olarak, başarıya ulaşmak için altı temel ilkeye dayanır. Pande ve arkadaşları (2004) tarafından tanımlanan bu ilkeler şu şekildedir: müşteri odaklılık, verilere dayalı yönetim, süreç odaklılık, proaktif yönetim, sınırsız işbirliği ve mükemmelle yöneliş ile başarısızlığa karşı hoşgörü. Bu ilkeler, Altı Sigma uygulamalarında yeterli düzeyde yerine getirildiğinde başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. (Ülgen, 2014).

**1.Gerçek Müşteri Odağı:** Altı Sigma, müşteri odaklılığı en temel öncelik olarak belirler. Performans ölçümleri, öncelikle müşteri perspektifinden başlatılır. Tüm Altı Sigma iyileştirmeleri, müşteri memnuniyeti ve değer üzerindeki etkileriyle tanımlanır. 1990’lı yıllardaki kalite hareketiyle birlikte birçok şirket, politika ve misyonlarını müşteri beklentileri ve ihtiyaçları doğrultusunda yeniden yapılandırmıştır. (Pande, 2000).

**2.Verilere Dayalı Yönetim:** Altı Sigma uygulamalarının temel prensiplerinden biri, iş performansını tahmin etmek için gerekli olan anahtar değişkenleri belirlemektir. Bu değişkenler, kritik faktörleri anlamak ve sonuçları optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2003).

**3.Süreç Odaklılık:** Altı Sigma uygulamalarında elde edilen önemli kazançlar, süreçlerin müşteriye değer sunmak amacıyla etkin bir şekilde kullanılmasına dayanmaktadır. (Pande, 2000).

**4.Proaktif Yönetim:** "Proaktif" kelimesi, bir hata veya olumsuz durum ortaya çıkmadan önce önlem almayı ve harekete geçmeyi ifade eder. Altı Sigma yaklaşımı da bu proaktif yönetim anlayışını temel alır. Amaç, süreçlerde yaşanabilecek olumsuzlukları önceden doğru bir şekilde tespit ederek, bunların oluşumunu engellemektir. (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2003)

Altı Sigma, reaktif alışkanlıkların yerini alacak şekilde, dinamik ve ihtiyaçlara gerçek anlamda yanıt veren bir yönetim tarzını benimsemeyi sağlayan çeşitli araçlar, yöntemler ve uygulamalar sunar. (Pande, 2000).

**5.Sınırsız İşbirliği:** Altı Sigma, bireylerin genel yapı içindeki rollerini görmelerine ve çeşitli faaliyetler arasındaki bağlantıları anlamalarına yardımcı olmak için işbirliği olanaklarını artırır. Bu süreç, son kullanıcıların gerçek ihtiyaçlarını ve süreçler arasındaki ilişkileri daha iyi anlamalarına olanak tanır. Ancak, Altı Sigma'daki sınırsız işbirliği, karşılıksız fedakârlık anlamına gelmez. Ayrıca, müşteri ve süreçlerle ilgili bilgilerin tüm departmanlara fayda sağlayacak şekilde kullanılmasını teşvik eder. (Pande, 2000).

**6.Mükemmelliğe Yöneliş ve Başarısızlığa Karşı Hoşgörü:** Hiçbir organizasyon, eski kalıplarla Altı Sigma hedeflerine ulaşamaz; bu nedenle yenilikçi düşünceler ve yöntemler geliştirmek esastır. Daha iyi hizmet sunmak, maliyetleri düşürmek ve yeni beceriler edinmek için fırsatları görebilen bireyler ve şirketler, potansiyel başarısızlıkların ve sonuçlarının korkusuyla yeni yollar denemekten çekinmemelidir. Bu bağlamda, cesaretle ilerlemek ve hatalara karşı hoşgörülü olmak, başarıya ulaşma yolunda kritik bir rol oynamaktadır. (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2003)

Ayrıca, Altı Sigma'nın sunduğu araç ve yöntemler, performans iyileştirmesi açısından önemli bir risk yönetimi bileşeni içermektedir. Altı Sigma felsefesini benimseyen bir organizasyon, mükemmelliğe ulaşmak için sürekli çaba göstermeli, ancak zaman zaman yaşanabilecek başarısızlıkları da kabullenmelidir. (Pande, 2000).

### 3.3.8. Altı Sigma'nın İstatistiksel Temeli ve Sigma Seviyeleri

#### 3.3.8.1. Altı Sigma'nın İstatistiksel Temeli

Altı Sigma, istatistiksel bir kavram olarak, süreçlerdeki değişkenlikleri kontrol altına almak ve hata oranlarını minimuma indirmek için kullanılan bir ölçüt sistemine dayanır. Sigma ( $\sigma$ ), bir istatistiksel dağılımın standart sapmasını ifade eder ve süreç performansını ölçmek için kullanılır. Altı Sigma, süreçlerin müşteri gereksinimlerini karşılamada ne kadar tutarlı olduğunu ölçmek için istatistiksel bir çerçeve sunar. (Montgomery, 2013).

#### 3.3.8.1.2. Sigma Seviyeleri ve Süreç Performansı

Altı Sigma'da, süreçlerin performansı sigma seviyeleri ile ölçülür. Bu seviyeler, bir sürecin ne kadar hatasız çalıştığını ifade eder. Her bir sigma seviyesi için hata oranları şu şekilde tanımlanır:

Sigma Seviyesi	Hata Oranı	Verimlilik (%)
1 Sigma	690.000 hata/milyon	%31
2 Sigma	308.000 hata/milyon	%69
3 Sigma	66.800 hata/milyon	%93,32
4 Sigma	6.210 hata/milyon	%99,379
5 Sigma	230 hata/milyon	%99,977
6 Sigma	3,4 hata/milyon	%99,99966

Tablo 7. Altı Sigma Mükemmellik Modeli

Altı Sigma seviyesi, süreçlerde mükemmeliyeti temsil eder ve müşteri gereksinimlerinin tam anlamıyla karşılandığını gösterir. (Harry & Schroeder, 2000).

#### Sigma Seviyelerinin Uygulama Alanları

- **Sigma:** Birçok geleneksel süreç bu seviyede çalışır, ancak bu seviye müşteri beklentilerini karşılamada yetersiz kalabilir.
- **6 Sigma:** Kritik süreçlerde, özellikle havacılık, sağlık ve otomotiv gibi sektörlerde gereklidir.

#### 3.3.8.1.3. Altı Sigma'nın İstatistiksel Araçları

Altı Sigma, süreç performansını ölçmek ve iyileştirmek için bir dizi istatistiksel araç kullanır:

1. **Kontrol Grafikleri:**

Süreçlerin kontrol altında olup olmadığını görselleştirmek için kullanılır. Kontrol grafikleri, süreçteki sapmaları ve rastgele varyasyonları tespit etmek için kritik bir araçtır. (Shewhart, 1931).

2. **Hata Türü ve Etki Analizi (FMEA):**

Potansiyel hata türlerini belirler ve bunların etkilerini analiz eder. FMEA, süreçlerdeki potansiyel hataların önceden tespit edilmesini sağlar. (Montgomery, 2013).

3. **Pareto Analizi:**

Hataların en yaygın nedenlerini belirlemek için kullanılır. Pareto analizi, hataların %80'inin, nedenlerin %20'sinden kaynaklandığını ortaya koyar. (Juran, 1995).

4. **Regresyon Analizi:**

Süreç değişkenleri arasındaki ilişkiyi anlamak için kullanılır. Regresyon analizi, süreç performansını etkileyen faktörleri belirlemede önemli bir araçtır. (Harry & Schroeder, 2000).

5. **Hipotez Testleri:**

Süreçlerdeki değişikliklerin anlamlı olup olmadığını analiz etmek için istatistiksel hipotez testleri yapılır. Hipotez testleri, süreç iyileştirme önlemlerinin etkisini ölçmek için kritik bir yöntemdir. (Montgomery, 2013).

### 3.3.8.2. Altı Sigma Seviyelerinin Uygulama Örnekleri

1. **Havacılık Sektörü (Boeing):**

Boeing, uçak üretim süreçlerinde Altı Sigma seviyesine ulaşmayı hedeflemiştir.

Boeing, Altı Sigma seviyesini yakalayarak uçak üretiminde kritik kalite problemlerini %30 oranında azaltmıştır. (Boeing, 2015).

2. **Otomotiv Sektörü (Toyota):**

Toyota, süreç değişkenliklerini kontrol altına almak ve müşteri memnuniyetini artırmak için Altı Sigma araçlarını kullanmıştır. Toyota, Altı Sigma yöntemleriyle araç üretim hatalarını minimuma indirerek kaliteyi artırmıştır. (Ohno, 1988).

3. **Sağlık Sektörü:**

Sağlık sektöründe Altı Sigma, hasta güvenliği ve süreç verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır. Altı Sigma, sağlık hizmetlerinde süreç iyileştirmeleri yaparak hasta güvenliğini %25 oranında artırmıştır. (George, 2003).

#### 4. Ford:

Ford, tedarik zinciri süreçlerinde Altı Sigma seviyesini hedeflemiştir. Ford, tedarik zinciri süreçlerinde Altı Sigma araçlarını kullanarak operasyonel maliyetleri %15 düşürmüştür. (Ford, 2017).

### 3.3.8.3. Altı Sigma'nın Avantajları ve Zorlukları

#### Avantajları:

- Süreçlerdeki hata oranlarını önemli ölçüde azaltır.
- Kaliteyi artırır ve müşteri memnuniyetini sağlar.
- Verimliliği artırarak maliyet tasarrufu sağlar.

#### Zorlukları:

- Eğitim ve uygulama maliyetleri yüksektir.
- Küçük ölçekli işletmeler için uygulama zorlukları yaratabilir.
- Süreçlerin detaylı veri analizi gerektirmesi, zaman alıcı olabilir.

Altı Sigma, istatistiksel temelleri ve süreç iyileştirme araçlarıyla, modern kalite yönetiminin en etkili yöntemlerinden biridir. Sigma seviyeleri, süreç performansını ölçmek için güçlü bir çerçeve sunar. Boeing, Toyota ve Ford gibi dünya devleri, Altı Sigma'nın istatistiksel araçlarını kullanarak kalite standartlarını yükseltmiş ve operasyonel verimliliklerini artırmıştır. Ancak, Altı Sigma'nın etkin uygulanabilmesi için detaylı eğitim, yeterli veri ve güçlü bir organizasyonel destek gereklidir.

### 3.3.8.4. Altı Sigma Organizasyon Yapısı

Altı Sigma'nın başarısı, her bireyin rolünün net bir şekilde tanımlanmasına bağlıdır. Bu nedenle, Altı Sigma uygulayan organizasyonlarda, çalışanlara aldıkları eğitimin türüne göre farklı unvanlar, yetkiler ve sorumluluklar verilmektedir. (Baş, 2003).

Bu yetki ve sorumluluklar her firma için değişiklik gösterebilir. Organizasyonlar, büyüklükleri ve uygulamaların kapsamına göre uygun bir yapı oluşturmalıdır. Ayrıca,

oluşturulan bu yapının sabit olmadığı ve değişen ihtiyaçlara göre güncellenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Baş, 2003).

Altı Sigma uygulama sürecinde yer alan roller şu şekilde tanımlanabilir:

**1. Liderlik Grubu (Üst Kalite Konseyi):** Bu konseyin temel görevleri şunlardır:

- Altı Sigma uygulamalarının kapsamını belirlemek,
- Altı Sigma organizasyonunu oluşturmak ve bu yapıdaki bireylerin yetki, sorumluluk ve görevlerini tanımlamak,
- Değişen ihtiyaçlar ve işletmenin Altı Sigma konusundaki olgunluk düzeyine göre uygulama alanını genişletmek ve organizasyon yapısını buna uygun şekilde düzenlemek,
- Altı Sigma projeleri için gerekli kaynakları sağlamak ve proje ekiplerinin karşılaştığı önemli sorunları çözmek,
- Altı Sigma projelerini izlemek ve gerektiğinde müdahalelerde bulunmak,
- Elde edilen olumlu sonuçların ve iyi uygulamaların tüm şirket genelinde yaygınlaştırılmasını sağlamak. (Baş, 2003).

**2. Yönetim Temsilcisi:**

Yönetim Temsilcisi'nin temel görevleri şunlardır:

- Altı Sigma eğitim programlarının hazırlanması ve bu programların plana uygun bir şekilde uygulanmasının sağlanması,
- Gerektiğinde Altı Sigma ile ilgili eğitim veren kuruluşlar, danışmanlık şirketleri ve diğer ilgili kuruluşlardan destek alınması,
- Altı Sigma konusunda yardım talep eden kuruluşların isteklerine yanıt verilmesi,
- Proje seçiminde ve ekiplerin oluşturulmasında kalite şampiyonu/şampiyonlarına destek olunması,
- Belirlenen projelerin ve bu projeler için oluşturulan ekiplerin onaylanması,
- Ekiplerin ihtiyaçlarının değerlendirilmesi, uygun görülen taleplerin karşılanması ve yetki sınırları dışındaki taleplerin üst kalite konseyine iletilmesi,
- Kalite şampiyonlarına her türlü desteğin sağlanması,
- Tüm iyileştirme projelerinin takip edilmesi ve elde edilen sonuçların üst kalite konseyine rapor edilmesi. (Baş, 2003).

**3.Kalite Şampiyonu (Proje Sponsoru):** Şampiyonlar, Altı Sigma projelerini stratejik düzeyde destekler ve organizasyonun genel vizyonuyla uyumlu olmasını sağlar. (Montgomery, 2013). Örnek:Boeing, şampiyon liderler sayesinde Altı Sigma uygulamalarında süreç verimliliğini %15 artırmıştır. (Boeing, 2015).

- Kalite Şampiyonu'nun temel sorumlulukları şunlardır:
- İyileştirme projelerinin işletmenin hedefleriyle uyumlu olmasını sağlamak,
- İyileştirme ekiplerinin ihtiyaç duyduğu kaynakları yönetim temsilcisine bildirmek,
- İyileştirme takımları arasında koordinasyonu sağlamak,
- Yavaşlayan çalışmalara müdahale etmek,
- Gerekli durumlarda kapsam değişikliği veya yeni personel atamaları gibi önlemler almak,
- İyileştirme projelerinin tamamlanma sürelerini belirlemek,
- İyileştirme projelerindeki konu ve kapsam değişikliklerine onay vermek. (Baş, 2003).

#### **4.Uzman Kara Kuşak:**

Kara Kuşaklar, Altı Sigma ekiplerine istatistik, süreç tasarımı ve süreç iyileştirme alanlarında uzmanlık gerektiren tavsiyelerde bulunurlar. Kara Kuşak yöneticileri, 6 Sigma takımlarına rehberlik ederek elde ettikleri sonuçları kalite şampiyonuna raporlarlar. Aynı zamanda, iyileştirme projelerine teknik destek sağlayarak danışmanlık rolü üstlenirler. (Tekin, 2013). Usta kara kuşaklar, Altı Sigma projelerinin organizasyonel düzeyde başarıya ulaşmasını sağlayan stratejik liderlerdir. (Harry & Schroeder, 2000). Örnek: Nestlé, usta kara kuşak liderlerini kullanarak küresel ölçekte süreç iyileştirme projelerinde başarı sağlamıştır. (Nestlé, 2019).

- Uzman Kara Kuşakların başlıca görevleri şunlardır:
- İyileştirme takımlarına, özellikle istatistiksel yöntemlerin seçimi ve uygulanması gibi konularda teknik destek sağlamak,
- Kalite Şampiyonlarına projelerin tamamlanma sürelerini belirlemede yardımcı olmak,
- İyileştirme projelerinden elde edilen sonuçları yönetim temsilcisi için derlemek ve özetlemek,
- Altı Sigma ile ilgili eğitimler düzenlemek,
- Çalışanları bilgilendirerek Altı Sigma'nın organizasyon genelinde kabul görmesine katkıda bulunmak. (Baş, 2003).

## 5. Kara Kuşak (Ekip Lideri):

Kara Kuşakların ana görevleri aşağıdaki gibidir:

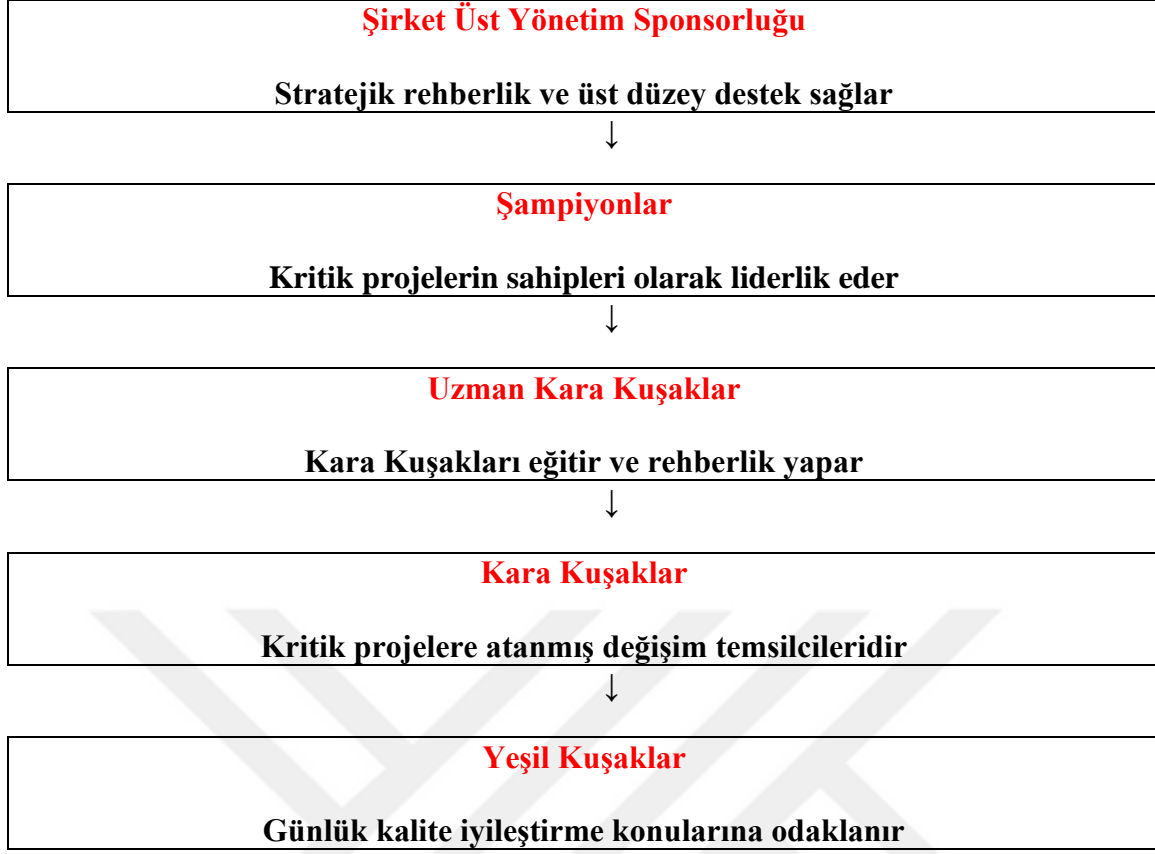
- İyileştirme projelerini tanımlayarak kalite şampiyonuna önermek,
- İyileştirme projelerinin konu ve kapsam değişikliklerini kalite şampiyonuna sunmak,
- Takım üyelerini belirlemek ya da belirlenmesinde kalite şampiyonuna yardımcı olmak,
- Takım üyeleri arasında iş ve görev dağılımını yapmak,
- İyileştirme projesinin yönetimini üstlenmek ve projenin zamanında tamamlanmasını sağlamak,
- Bilgi ve kaynak ihtiyaçlarını tespit ederek bu talepleri kalite şampiyonuna iletmek,
- Takım üyelerine Altı Sigma araçlarının kullanımı ve proje görevlerinin yerine getirilmesi sürecinde teknik destek sunmak. (Baş, 2003).

## 6. Yeşil Kuşak (Ekip Elemanı):

Yeşil kuşaklar, Altı Sigma projelerinin yürütülmesinde kritik bir rol oynar ve genellikle DMAIC sürecinin uygulanmasından sorumludur. (Harry & Schroeder, 2000). Örnek: General Electric, yeşil kuşak çalışanları aracılığıyla süreç iyileştirme projelerinde maliyetleri %10 oranında düşürmüştür. (GE, 1999). Yeşil Kuşakların ana görevleri aşağıdaki gibidir:

- Altı Sigma projelerinde Kara Kuşakların belirlediği hedeflere ulaşmak amacıyla belirli alanlarda yarı zamanlı olarak çalışmak.
- Altı Sigma metodolojisini günlük iş akışlarıyla birleştirmek.
- Mini projeleri doğrudan üstlenmek. (Gürsakal, 2005).
- Organizasyonda kullanılacak Altı Sigma araçlarını seçmek.
- Altı Sigma uygulamalarında gerekli araçların kullanılmasında ekip üyelerine yardım etmek.
- İyileştirme projelerinin ilerlemesini takip etmek ve projelerin zamanında ve doğru bir şekilde tamamlanmasını sağlamak.

Yeşil kuşaklar, Altı Sigma süreç iyileştirme projelerinin belirlenen hedeflere ulaşması ve sürekli gelişim sağlanması açısından önemli bir konumda bulunmaktadır. (Saru, 2015).



Tablo 8. 6 Sigma Rollerini Kaynak: (Efe, 2006)

#### 3.3.8.4.1. Altı Sigma Organizasyon Yapısının Uygulama Örnekleri

##### 1. General Electric (GE):

General Electric, Altı Sigma organizasyon yapısını başarıyla uygulamış ve tüm çalışanlarını bu yapıya entegre etmiştir. GE, tüm organizasyon düzeyinde Altı Sigma eğitimi sağlayarak verimliliği artırmış ve maliyet tasarrufunda lider konuma gelmiştir. (GE, 1999).

##### 2. Toyota:

Toyota, yeşil kuşak ve kara kuşak liderleri aracılığıyla üretim süreçlerini sürekli olarak iyileştirmiştir. Toyota, Altı Sigma organizasyon yapısını yalın üretim sistemiyle entegre ederek kaliteyi artırmış ve maliyetleri düşürmüştür. (Ohno, 1988).

##### 3. Nestlé:

Nestlé, Altı Sigma organizasyon yapısını kullanarak üretim süreçlerinde mükemmeliyeti hedeflemiştir. Nestlé, usta kara kuşak liderleri aracılığıyla küresel tedarik zinciri süreçlerini optimize etmiştir" (Nestlé, 2019).

##### 4. Boeing:

Boeing, şampiyon liderler ve kara kuşak uzmanları aracılığıyla üretim süreçlerinde

kaliteyi artırmıştır. Boeing, Altı Sigma projelerini stratejik düzeyde yöneterek operasyonel maliyetleri %20 azaltmıştır. (Boeing, 2015).

#### **3.3.8.4.2. Altı Sigma Organizasyon Yapısının Avantajları ve Zorlukları**

##### **Avantajları:**

- Net roller ve sorumluluklar belirler.
- Süreçlerin etkin yönetimini sağlar.
- Organizasyon genelinde kalite kültürünü yaygınlaştırır.
- Süreç iyileştirme projelerinde çalışan katılımını artırır.

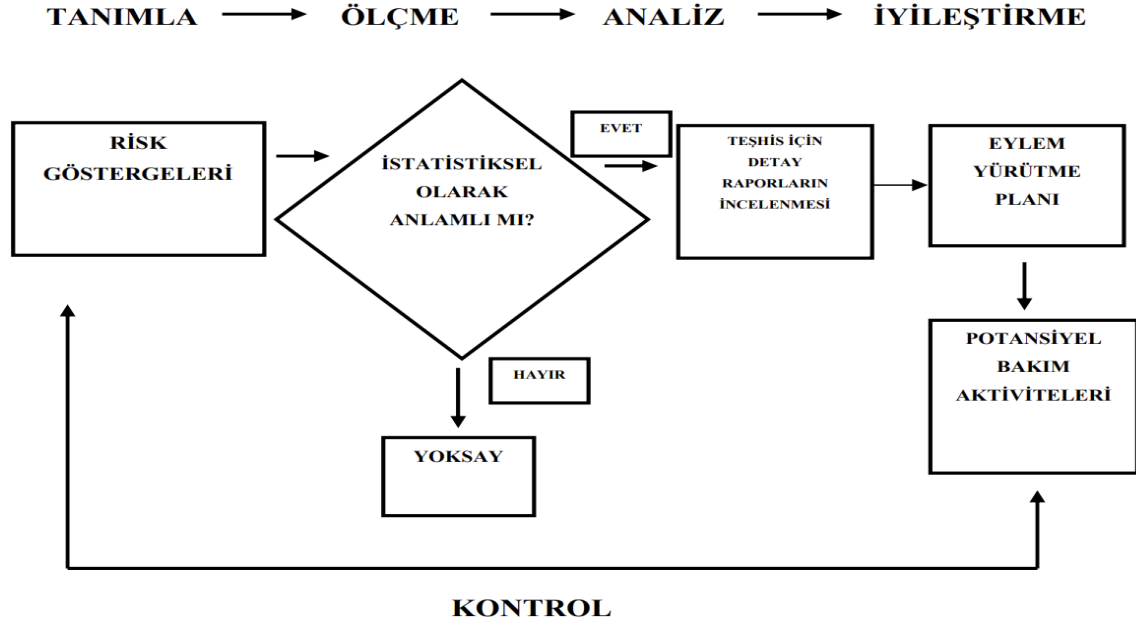
##### **Zorlukları:**

- Altı Sigma eğitimi ve sertifikasyon maliyetlidir.
- Organizasyon yapısının uygulanması zaman alabilir.
- Küçük ölçekli işletmeler için uygulama zorlukları yaratabilir.

Altı Sigma organizasyon yapısı, kalite iyileştirme projelerinin başarılı bir şekilde uygulanması için kritik bir çerçeve sunar. Beyaz kuşaktan usta kara kuşağa kadar her rol, organizasyonda belirli bir amaca hizmet eder ve projelerin etkin yönetimini destekler. General Electric, Toyota, Nestlé ve Boeing gibi dünya liderleri, bu organizasyon yapısını benimseyerek süreçlerinde kaliteyi artırmış ve operasyonel verimlilik sağlamıştır. Ancak, bu yapının uygulanması eğitim, zaman ve mali kaynak gerektirir.

#### **3.3.8.5. Altı Sigma'nın İşleyişi**

Altı Sigma projelerinde, iyileştirme hedeflerine ulaşmak amacıyla kullanılan DMAIC süreci, şu aşamalardan oluşur: Tanımlama (Define), Ölçme (Measure), Analiz (Analyze), İyileştirme (Improve) ve Kontrol (Control). Bu model, aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.



Şekil 6. 6 Sigma Tabanlı İzleme ve Bakım Kaynak: (Patterson & Pavese, 2005; Tirkeş Öztürk, 2012)

### 1.Tanımlama (Define)

Altı Sigma uygulamalarının başlangıç aşaması olan tanımlama aşamasında, hatalara neden olan sorunların kökenleri incelenmektedir. Problemin sebepleri ile sonuçları arasındaki etkileşim ve ilişkiler değerlendirilir. Bu tür sorulara yanıt arayarak problem net bir biçimde tanımlanır. (Saru, 2012).

Bu aşamada göz önünde bulundurulması gereken unsurlar şunlardır:

- Seçilen projenin, mevcut kapasite, imkan ve yeteneklerinizle uyumlu olması,
- Daha yüksek kalite sağlama ve maliyetleri düşürme potansiyelinin yüksek olması,
- Problemlerin net bir şekilde ve mümkünse sayısal verilerle tanımlanması (Saru, 2012)

Altı Sigma süreci, çözümü belirsiz bir problemin yanıtını bulmaya odaklanmaktadır. Problemin somut, ölçülebilir ve uygulanabilir bir tanımının yapılması zorunludur. Bu aşamada proje ekibi, işletme hedeflerine ve müşteri beklentilerine uygun bir proje belirler. Takım, kaliteyi etkileyen kritik unsurları önem sırasına göre sıralar ve geliştirilecek sürecin bir haritasını oluşturur. (Doğan, 2008).

Bu aşamanın temel amacı, projenin hedef ve kapsamını tanımlamaktır. Göz önünde bulundurulması gereken noktalar:

- Seçilen projenin mevcut imkan ve yeteneklere uygunluğu,
- Daha yüksek kalite sağlama ve maliyetleri azaltma potansiyelinin varlığı,
- Problemlerin net bir biçimde ve sayısal verilerle tanımlanmasıdır.
- (Baş, 2003)

## 2. Ölçme Aşaması (Measure)

Ölçme aşamasında, öncelikle bir değer akış şeması oluşturulur ve ardından veri toplama planına uygun olarak veriler toplanır. Bu aşamada ölçüm yeterliliğini sağlamak için Gage R&R (Repeatability and Reproducibility) çalışması gerçekleştirilir; burada ölçüm doğruluğu ve tutarlılığı değerlendirilir. Sonrasında, grafiksel analizler ve yeterlilik analizleri yapılır. Mevcut durumu anlamak için bu grafiklerin analizi oldukça önemlidir. Bu aşamanın çıktısı, sürecin mevcut performansını, problemi veya problemin oluşumunu açıklayan veriler ile birlikte, problemin daha ayrıntılı ve özel bir tanımını içerir. (Kurt, B. 2006).

Bu süreçte, mevcut durumu tüm yönleriyle açıklayan bilgiler toplanır. Geçerli ve doğru ölçümler olmadan, sürecin performansını ve gerçekleştirilen iyileştirmelerin etkilerini belirlemek mümkün olmayacaktır. Bu aşamanın en kritik noktası, neyin ya da nelerin ölçüleceğini doğru bir şekilde belirlemektir. Aksi halde, harcanan emek ve kaynaklar, hiçbir değeri olmayan sayfalarca veri olarak kalır. (Baş, 2003).

Bu aşamanın sonuçları aşağıdaki gibidir: (Bilimdili)

- Sürecin mevcut performansı,
- Problemi veya problemin oluşumunu açıklayan veriler,
- Problemin daha özel ve detaylı bir tanımı Ölçme aşaması somut sonuçlar üretmediği için çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Çalışanlar arasında bu aşamayı hızlıca geçme eğilimi yaygındır; fakat bu tutum yanlıştır. Çünkü kantitatif veriler, Altı Sigma'nın temelini oluşturur ve iyi veriler olmadan doğru kararlar almak imkânsızdır. (Baş, 2003).

### 3. Analiz (Analysis)

Ölçme aşamasında, sürecin mevcut durumu ile ilgili veriler toplanmış ve kalite seviyesi belirlenmiştir. Analiz aşamasının temel amacı, Sigma kalite değerini artırmak ve bu doğrultuda hataların sayısını azaltmaktır. Bu aşamada, ölçme aşamasında elde edilen veriler kullanılarak hataların kök nedenleri belirlenmeye çalışılır. Kök neden analizi, hem çıktı verilerine hem de sürecin aşamalarına odaklanan yöntemlerle gerçekleştirilebilir. (Genç, 2009).

Ayrıca, hataların neden meydana geldiği ve bu hataların nasıl düzeltileceği de önemli bir sorudur. Hataların ne zaman, nerede ve ne sıklıkla ortaya çıktığına dair bilgi edinildiğinde, ihtiyaç duyulan bilgilere ulaşılmış demektir. Ancak yalnızca belirtilere odaklanmak yeterli değildir; altta yatan kök nedenlerin de tespit edilmesi gerekir. Problemin asıl kaynağı belirlenmezse, eksik bir çözüm elde edilmesi kaçınılmazdır. (Baş, 2003).

Bu analizler, hangi girdilerin çıktığı daha fazla etkilediğini, ne ölçüde etkilediğini, faktörlerin bir arada bulunmasının farklı etkiler yaratıp yaratmadığını ve faktörlerin değişmesi durumunda çıktıda bir değişiklik olup olmadığını belirlemeye yardımcı olur. (Işığışık, 2005).

Analiz aşamasında, kalitesizliğe yol açan hataların nedenleri detaylı bir şekilde incelenir ve bu hatalara yol açan faktörler derinlemesine araştırılır. (Saru, 2014).

### 4. İyileştirme Aşaması

Gözden geçirme sonucunda, problemin aşağıdaki niteliklere sahip olduğunun doğrulanması durumunda çözüm önerilerinin uygulanmasına başlanabilir: (Baş, 2003).

- Problemin, herkesin anlayabileceği netlikte ve ayrıntılı bir şekilde tanımlanmış olması,
- Mevcut imkanlar ve kaynaklarla çözülebilir olması,
- Sorunun çözülmesinin firmaya önemli avantajlar sağlayacağı,
- Çözüm sürecinde gerekli olan doğru verilere sahip olunması,
- Temel nedenlerin ve bunları nasıl ortadan kaldırılacağına dair net bir tespit yapılmış olması

Bu aşamada, çözüm önerileri geliştirmek amacıyla deney tasarımı ve regresyon analizi yöntemleri kullanılarak modeller oluşturulur. Çözüm önerilerinin test edilmesi için pilot

uygulama planları hazırlanır. Uygulama sonrasında sigma seviyesi yeniden hesaplanır; çünkü sıklıkla proje ekibi, belirlenen hedeflere önerilen tüm çözümleri uygulamadan da ulaşabilmektedir. (Eckes, 2003)

## **5.Kontrol (Control)**

Kontrol aşaması oldukça önemli bir aşamadır; bu aşama, sürecin sürekli gözlemlenmesini ve daha önce tespit edilmiş hataların tekrar etmesini önlemeyi amaçlamaktadır. Sürekli olarak hatalardan arındırılan sistem, alınan tedbirler sayesinde giderek daha da mükemmel hale gelecektir. Böylece Altı Sigma metodolojisi ile sürekli ve geri dönüşümsüz bir gelişim ve yenileme sağlanmış olur. (Coşkun, 2009).

Kontrol aşamasında kısaca: (Baş, 2003).

- İlk dört aşamada elde edilen kazanımlar değerlendirilir,
- Bu kazanımların nasıl sürdürülebileceği ve artırılabilmesi karara bağlanır,
- Altı Sigma'nın etkili araçları kullanılarak en küçük başarıların bile kalıcı olmasına özen gösterilir.

Modern iş dünyasında karşılaşılan en önemli sorunlardan biri, sadece nasıl başarılı olunacağı değil, aynı zamanda nasıl başarılı kalınacağıdır. Başarının sürdürülememesi, tüm çaba ve kaynakların israfına neden olabilir. Bu nedenle “Kontrol” aşaması, uzun vadede proje başarısı ve işletmenin sürdürülebilirliği açısından Altı Sigma'nın en kritik ve göz ardı edilmemesi gereken aşamasıdır. (Işığışık, 2005).

Altı Sigma projeleri, TÖAİK (Toplam Öğrenme, Altyapı, İnovasyon, Kalite) sürecini izler ve maliyetlerin azaltılması veya karın artırılması gibi finansal hedeflerle değerlendirilir. Proje fikirleri, müşteri geri bildirimleri, süreç analizleri veya önerilerle ortaya çıkabilir. Ayrıca, proje fırsatlarını belirlemek için bütçe kalemleri ve kalite maliyetleri ile ilgili çalışmalar kullanılmaktadır. (Conway, 1992)

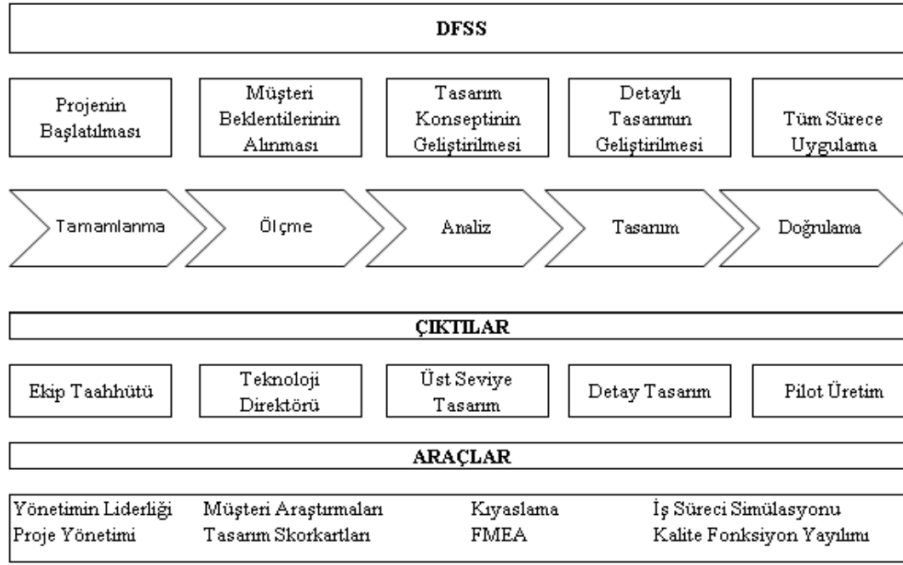
<b>Tanımlama</b>	<b>Ölçme</b>	<b>Analiz</b>	<b>İyileştirme</b>	<b>Kontrol</b>
Proje Yönetimi	Süreç akış şemaları	ANOVA	Gantt şemaları	Histogramlar
Yakınlık diyagramı	HTEA	Çok değişkenli analizler	Pert/CPM diyagramları	Güvenilirlik
Kano modeli	Korelasyon	Regresyon, Korelasyon	Rassal bloklaşma	Kovaryans analizi
Kritik kalite faktörleri ağacı	Kontrol Semaları	Dağılım diyagramları	Çoklu regresyon	Kontrol şemaları
Neden-sonuç diyagramı	Frekans Dağılımları	Varyans analizi	Süreç akış şemaları	Pareto diyagramları
Pareto Diyagramı	Beyin Fırtınası	T testi, F testi, Ki-kare testi Hipotez testi	Faktöriyel tasarım metotları	Tolerans analizleri

Tablo 9. 6 Sigma Araçları Kaynak: (Ülgen, 2014)

<b>Altı Sigma Adımları</b>	<b>Kritik Süreçler</b>
1. Tanımlama	Müşteri talepleri ve beklentilerinin açıkça belirlenmesi Projenin kapsamı ve sınırlarının netleştirilmesi Sürecin iş akışı ile tanımlanması
2. Ölçme	Müşteri ihtiyaçlarına uygun süreçlerin ölçümünün yapılması Veri toplama yönteminin oluşturulması
3. Analiz	Süreçteki hata ve değişim nedenlerinin analiz edilmesi İyileştirme fırsatlarının önceliklendirilmesi
4. İyileştirme	İyileştirme uygulama planlarının geliştirilmesi Sürecin değişimlerle optimize edilmesi
5. Kontrol	İyileştirilmiş sürecin performansının düzenli olarak izlenmesi Kontrol ve izleme stratejilerinin oluşturulması

Tablo 10. 6 Sigma Süreçleri Kaynak: (Ülgen, 2014)

DFSS'in 5 temel adımı aşağıda' te yer almaktadır: (Kwak & Anbari, 2006)



Şekil 7. DFSS Kaynak: (Kwak & Anbari, 2006; Ülgen, 2014)

### 3.3.8.6. PUKÖ Döngüsü (Plan-Do-Check-Act)

İşletme faaliyetlerine uygulanmayı hedefleyen pek çok iyileştirme modeli bulunmaktadır. Bu modellerin neredeyse tamamı, W. Edwards Deming'in PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al) döngüsüne dayandığı söylenebilir. (Bilimdili).

PUKÖ döngüsü, Altı Sigma'nın temel yapı taşlarından biridir ve süreçlerin sürekli iyileştirilmesini sağlamak için kullanılır. Bu döngü, dört temel aşamadan oluşur:

#### 1. Planla (Plan):

Hedefler belirlenir, süreçlerin mevcut durumu analiz edilir ve iyileştirme için bir plan hazırlanır.

- Örnek: "Bir otomotiv firması, montaj hatlarında kalite sorunlarını analiz ederek süreç iyileştirme hedeflerini belirler. (Deming, 1986).

#### 2. Uygula (Do):

İyileştirme planı uygulanır ve süreçteki değişiklikler test edilir.

- Örnek: Toyota, üretim hattındaki hata oranını azaltmak için yeni bir otomatik denetim sistemi uygular. (Ohno, 1988).

### 3. **Kontrol Et (Check):**

Uygulanan değişikliklerin sonuçları analiz edilir ve başarı ölçütlerine göre değerlendirilir.

- Örnek: Kontrol aşamasında, süreç performansı istatistiksel yöntemlerle analiz edilir. (Shewhart, 1931).

### 4. **Önlem Al (Act):**

Başarılı değişiklikler standartlaştırılır, başarısız olanlar ise yeniden değerlendirilir.

- Örnek: Boeing, başarılı kalite iyileştirme uygulamalarını küresel operasyonlarına entegre eder. (Boeing, 2015).

PUKÖ döngüsü, Altı Sigma'nın sürekli iyileştirme prensibini temsil eder ve süreçlerin performansını artırmak için döngüsel bir çerçeve sunar.

- "PUKÖ, süreçlerin dinamik bir şekilde yönetilmesini sağlayan bir kalite kontrol döngüsüdür" (Deming, 1986).

#### 3.3.8.6.1. **Örnek Uygulamalar**

##### 1. **General Electric (GE):**

General Electric, DMAIC metodolojisini müşteri hizmetleri süreçlerinde uygulamış ve şikayet oranını %30 azaltmıştır. GE, DMAIC süreçlerini kullanarak operasyonel maliyetlerde 1 milyar doların üzerinde tasarruf sağlamıştır. (GE, 1999).

##### 2. **Toyota:**

Toyota, PUKÖ döngüsünü yalın üretim süreçleriyle birleştirerek üretim hatalarındaki oranı önemli ölçüde azaltmıştır. Toyota, PUKÖ döngüsünü uygulayarak montaj hattı süreçlerini optimize etmiş ve üretim verimliliğini artırmıştır. (Ohno, 1988).

##### 3. **Nestlé:**

Nestlé, gıda üretim süreçlerinde DMAIC metodolojisini kullanarak ürün kalitesini iyileştirmiştir. Nestlé, Altı Sigma araçlarıyla üretim süreçlerindeki kalite hatalarını %20 azaltmıştır. (Nestlé, 2019).

##### 4. **Boeing:**

Boeing, havacılık sektöründe DMAIC süreçlerini kullanarak kalite standartlarını yükseltmiş ve teslimat sürelerini kısaltmıştır. Boeing, DMAIC metodolojisiyle uçak üretim hatalarını %15 oranında azaltmıştır. (Boeing, 2015).

### 3.3.8.6.2. Avantajlar ve Zorluklar

#### Avantajları:

- Süreçlerdeki kusurların sistematik bir şekilde azaltılmasını sağlar.
- Veri odaklı karar alma süreçlerini destekler.
- Sürekli iyileştirme kültürünü organizasyona entegre eder.
- Müşteri memnuniyetini artırır.

#### Zorlukları:

- Uygulama süreci zaman alıcıdır.
- Uzmanlık ve eğitim gerektirir.
- Küçük ölçekli işletmelerde uygulama zorlukları yaratabilir.

PUKÖ döngüsü ve DMAIC metodolojisi, Altı Sigma'nın işleyişinde temel araçlar olarak öne çıkar. Her iki yöntem de süreçlerdeki hataları azaltmak, kaliteyi artırmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak için etkili bir çerçeve sunar. General Electric, Toyota, Nestlé ve Boeing gibi dünya liderleri, bu araçları kullanarak kalite yönetiminde önemli başarılar elde etmişlerdir. Ancak, Altı Sigma'nın etkin bir şekilde uygulanabilmesi için detaylı eğitim, veri analitiği ve organizasyonel destek gereklidir.

Altı Sigma, sorunlara ölçülebilir çözümler geliştirmeyi ve kritik süreçleri en verimli duruma getirmeyi hedefleyen bir yönetim anlayışıdır. Bunun yanı sıra, Altı Sigma yalnızca bir kalite inisiyatifi değil, aynı zamanda bir iş stratejisi olarak da kabul edilmelidir. Altı Sigma yönetimi ile Toplam Kalite Yönetimi incelendiğinde, aralarında belirgin bir ayrım olmadığı açıkça görülecektir. Altı Sigma programı, mevcut ISO/QS 9000 veya Toplam Kalite Yönetimi sistemleri üzerine inşa edilmelidir. Her bir yönetim sisteminin kendine özgü önemli kalite ilkeleri bulunmaktadır. Altı Sigma, mevcut kalite programlarının değerlerine zarar vermez; bunun yerine, kapsamlı bir kalite stratejisi oluşturmak için evrimsel bir aşama olarak kabul edilir. (Çalışkan, 2006).

Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi gibi süreçler, organizasyonların verimliliğini ve kaliteyi sürekli olarak iyileştirmeyi hedefler. Bu yaklaşımlar, sadece mevcut süreçlerin optimize edilmesini değil, aynı zamanda zaman içinde değerini yitiren süreçlerin yeniden

yapılandırılmasını da gerektirir. Bu süreçlerin etkinliği, sürekli iyileştirmeye dayalıdır, ancak koşullar olgunlaştığında, küçük adımlarla yapılan iyileştirmelerden daha büyük, köklü değişikliklere geçilmesi gerekebilir. Örneğin, üretim hattındaki küçük hataların düzeltilmesiyle başlayan bir iyileştirme süreci, sonunda büyük bir teknolojik yenilik veya sistem değişikliği ile sonuçlanabilir. Bu tür bir dönüşüm, organizasyonun sadece verimliliğini değil, rekabet gücünü de önemli ölçüde artırabilir

Ayrıca, sadece kalite hedefleriyle sınırlı kalmayıp, firmanın tüm hedeflerine de uygulanabilmesi, Altı Sigma yöntemini diğer yaklaşımlardan ayıran önemli bir özelliktir. Altı Sigma yönetiminde kullanılan teknikler, Toplam Kalite Yönetimi ile kıyaslandığında daha basit bir yapıya sahiptir. Altı Sigma, milyonda 3,4 hata veya kusur hedefleyerek bu olumsuzlukları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Benzer şekilde, Toplam Kalite Yönetimi de mükemmelliği, yani sıfır hata hedefine ulaşmayı hedefleyen bir yönetim felsefesidir. Ancak bu hedefin neredeyse ulaşılamaz olması Toplam Kalite Yönetiminin sürekli gelişimi teşvik eden sonsuz bir yolculuk olmasına yol açmaktadır. (Çalışkan, 2006).

Toplam Kalite Yönetimi, bir işletmede verimliliği en üst düzeye çıkarmak, sıfır hata hedefine ulaşmak ve %100 müşteri memnuniyetini sağlamak için benimsenmesi gereken bir yönetim anlayışıdır. Bu yaklaşımı başarmanın en kritik adımı, Toplam Kalite Yönetiminin bir araçlar topluluğu değil, bir yönetim anlayışı olduğunu kavramaktır. Çoğu şirketin bu konuda başarısız olmasının nedeni, bu iki yaklaşım arasında belirsizlik yaşamalarıdır (Çalışkan, 2006).

### **3.3.8.7. Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi (TKY) İlişkileri**

#### **3.3.8.7.1. Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi (TKY)**

Altı Sigma ve TKY, kalite yönetimi uygulamalarında süreçlerin etkinliğini artırmayı, müşteri memnuniyetini sağlamayı ve organizasyonların rekabet gücünü yükseltmeyi hedefleyen iki temel yaklaşımdır. Her iki yöntem de kaliteyi artırmak için sistematik süreçler ve araçlar kullanır. Ancak, Altı Sigma daha çok veri odaklı ve sonuç merkezli bir yaklaşımdır, TKY organizasyon genelinde bir kalite kültürü oluşturmayı hedefler.

Altı Sigma, istatistiksel yöntemlere dayalı bir süreç iyileştirme aracı olarak, TKY'nin sistematik bir bileşeni olarak görülebilir. (Harry & Schroeder, 2000). TKY, tüm organizasyonda kaliteyi iyileştirmeyi amaçlayan felsefi bir çerçeve sunar ve Altı Sigma bu çerçevede bir teknik olarak kullanılabilir. (Evans & Lindsay, 2008).

### 3.3.8.7.2. Altı Sigma ve TKY'nin Ortak Noktaları ve Farklılıkları

#### Ortak Noktalar:

- **Müşteri Odaklılık:** Her iki yöntem de müşteri memnuniyetini artırmayı temel hedef olarak belirler. Hem TKY hem de Altı Sigma, müşteri gereksinimlerini karşılayan süreçler tasarlamayı öncelikli görür. (Juran, 1995).
- **Sürekli İyileştirme:** Her iki yaklaşım, süreçlerin sürekli olarak iyileştirilmesini vurgular. Mesela Toyota, TKY felsefesini ve Altı Sigma araçlarını birleştirerek süreçlerinde sürekli iyileştirme sağlamıştır. (Ohno, 1988).
- **Veri ve Analitik Yaklaşımlar:** Altı Sigma, istatistiksel araçlarla süreç iyileştirme sağlarken, TKY bu araçları destekleyici olarak benimser.

#### Farklılıklar:

##### 1. Odak Noktası:

- TKY, geniş çaplı bir kalite kültürü oluşturmayı hedeflerken;
- Altı Sigma, süreçlerdeki belirli problemlerin çözümüne odaklanır.

##### 2. Yapısal Yaklaşım:

- TKY daha esnek bir yapı sunarken,
- Altı Sigma belirli bir metodolojiye (DMAIC) dayalıdır.

### 3.3.8.7.3. Altı Sigma ve TKY'nin Birbirine Sağladığı Faydalar

#### Altı Sigma'nın TKY'ye Katkıları:

- **Veri Odaklı Yaklaşım:** Altı Sigma, TKY'ye istatistiksel analiz yöntemlerini ekler ve süreç iyileştirme hedeflerini daha ölçülebilir hale getirir.
- **Hedefe Yönelik Projeler:** Altı Sigma, TKY'nin genel kalite felsefesini spesifik süreçlere uygulayarak odaklı iyileştirme sağlar.
- **Standartlaştırma:** Altı Sigma'nın yapısal yaklaşımı, TKY'ye disiplin kazandırır. Altı Sigma, TKY'nin genel felsefesine, ölçülebilir ve sistematik bir yapı kazandırmıştır. (Montgomery, 2013).

### **TKY'nin Altı Sigma'ya Katkıları:**

- **Kültürel Dönüşüm:** TKY, Altı Sigma'nın yalnızca bir teknik olarak değil, organizasyonel kültürün bir parçası olarak benimsenmesini sağlar.
- **Çalışan Katılımı:** TKY'nin ekip bazlı yapısı, Altı Sigma projelerinin başarısını artırır. TKY, Altı Sigma'nın teknik yöntemlerini daha geniş bir kalite kültürünün parçası haline getirir. (Evans & Lindsay, 2008).

#### **3.3.8.7.4. Dünya'dan Örnekler: Altı Sigma ve TKY'nin Birlikte Kullanımı**

##### **1. Toyota:**

Toyota, TKY'nin sürekli iyileştirme (Kaizen) prensiplerini Altı Sigma araçlarıyla birleştirmiştir. Bu yaklaşım, üretim süreçlerinde kaliteyi artırırken maliyetleri düşürmüştür. Toyota, Altı Sigma'nın veri odaklı araçlarını ve TKY'nin müşteri odaklı yapısını bir araya getirerek yalın üretim süreçlerini optimize etmiştir. (Ohno, 1988).

##### **2. General Electric (GE):**

GE, TKY'nin genel kalite yönetimi anlayışını Altı Sigma'nın DMAIC metodolojisiyle desteklemiştir. Bu kombinasyon, GE'nin maliyetleri düşürmesine ve süreç verimliliğini artırmasına olanak tanımıştır. GE, TKY ve Altı Sigma'nın entegrasyonu sayesinde süreçlerinde %40 verimlilik artışı sağlamıştır. (GE, 1999).

##### **3. Nestlé:**

Nestlé, TKY'nin kalite felsefesini Altı Sigma projeleriyle destekleyerek gıda üretim süreçlerinde kusursuzluğa ulaşmayı hedeflemiştir. Nestlé, TKY ve Altı Sigma araçlarını kullanarak müşteri şikayetlerini %20 azaltmıştır. (Nestlé, 2019).

##### **4. Boeing:**

Boeing, Altı Sigma ve TKY'yi havacılık sektörü kalite standartlarını artırmak için kullanmıştır. Boeing, TKY'nin kültürel dönüşüm prensiplerini Altı Sigma'nın veri odaklı yöntemleriyle birleştirerek süreçlerinde %30 iyileştirme sağlamıştır. (Boeing, 2015).

### 3.3.8.7.5. Türkiye’den Örnekler: TKY ve Altı Sigma

#### 1. TOFAŞ:

TOFAŞ, üretim süreçlerinde TKY’yi temel felsefe olarak benimserken, Altı Sigma araçlarını süreçlerdeki spesifik problemlerin çözümünde kullanmıştır. TOFAŞ, Altı Sigma ve TKY’yi entegre ederek süreç verimliliğini %25 artırmıştır. (TOFAŞ, 2020).

#### 2. Arçelik:

Arçelik, TKY’nin müşteri odaklı yapısını ve Altı Sigma araçlarını üretim süreçlerine entegre ederek maliyet tasarrufu sağlamıştır. Arçelik, Altı Sigma ve TKY’nin birleşimiyle üretim süreçlerinde enerji tüketimini %10 azaltmıştır. (Arçelik, 2019).

#### 3. Vestel:

Vestel, kalite yönetim sistemlerinde TKY’nin felsefesini ve Altı Sigma’nın teknik araçlarını bir araya getirerek müşteri memnuniyetini artırmıştır. Vestel, Altı Sigma projeleriyle kalite kontrol süreçlerindeki hata oranını %15 azaltmıştır. (TTGV, 2020).

### 3.3.8.7.6. Altı Sigma ve TKY’nin Avantajları ve Zorlukları

#### Avantajları:

- Altı Sigma ve TKY’nin birleşimi, kalite iyileştirme hedeflerini hem kültürel hem de teknik boyutlarda destekler.
- Süreçlerin verimliliğini artırırken, müşteri memnuniyetini sağlar.
- Organizasyonel dönüşümü hızlandırır.

#### Zorlukları:

- Entegrasyon süreci zaman alıcı ve maliyetli olabilir.
- Altı Sigma’nın teknik doğası, TKY’nin geniş felsefi yapısıyla uyum sağlamakta zorlanabilir.

Altı Sigma ve TKY, modern kalite yönetimi uygulamalarında birbirini tamamlayan iki güçlü yaklaşımdır. Altı Sigma’nın istatistiksel araçları ve sonuç odaklı yapısı, TKY’nin genel kalite kültürüne entegre edilerek organizasyonların süreç verimliliğini artırmasına olanak tanımıştır. Toyota, GE, Boeing ve Nestlé gibi dünya liderleri, bu iki yaklaşımı başarıyla birleştirerek operasyonel başarılar elde etmiş; Türkiye’de TOFAŞ, Arçelik ve Vestel gibi şirketler ise bu metodolojileri kendi süreçlerine uyarlamışlardır.

### 3.3.8.8. Altı Sigma Yaklaşımı ve ISO Kalite Güvence Sistemi Yaklaşımı

ISO kalite yönetimi, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve standart hale getirilmesine yönelik bir yaklaşım sunar. ISO 9000 kalite güvencesi, bir organizasyonun tüm süreçlerini sistematik bir şekilde değerlendiren ve bu süreçleri sürekli iyileştirmeye yönelik çalışan bir çerçeve olarak işlev görür. Bu sayede, organizasyonların verimliliklerini artıran ve müşteri memnuniyetini sağlayan süreçler ortaya çıkar. (Çalışkan, 2006). ISO 9001, müşteri beklentilerini sürekli olarak karşılamayı amaçlayan ve kalite güvencesi ilkesini içeren bir kalite yönetim sistemidir. Bu sistem, bir organizasyonun müşteri gereksinimleri ile yasal yükümlülükleri yerine getirerek ürün ve hizmet sunma kapasitesini artırmak için gereken şartları tanımlar ve müşteri memnuniyetini yükseltmeyi hedefler. (İlkay & V. İ., 2005).

Örneğin, bir otomotiv üretim fabrikasında ISO 9000, sadece üretilen araçların kalite kontrolüyle sınırlı kalmaz, aynı zamanda üretim hattındaki her aşamanın standartlaştırılmasına da odaklanır. Bu süreçler, hammaddelerin temininden, üretim süreçlerine, kalite denetimlerinden müşteri geri bildirimlerine kadar geniş bir yelpazeye yayılır. Ayrıca, bu sistemin uygulandığı bir başka örnek ise, bir yazılım geliştirme şirketinde görülebilir. Yazılım geliştirme sürecindeki her adımdan önce belirli standartlara uyulması gerektiği, kalite güvencesi prosedürlerine yerleştirilen kontrol mekanizmaları ile sağlanır.

Sonuç olarak, ISO 9000 kalite yönetim sistemi, yalnızca ürünün kalitesini değil, tüm organizasyonel süreçlerin etkinliğini, verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmayı hedefler. Bu da, organizasyonların iş süreçlerini sürekli olarak optimize etmesine ve nihayetinde daha yüksek bir performans seviyesine ulaşmasına olanak tanır.

Altı Sigma, işletmeler için kesin bir başarı garantisi sağlamaz. Bu yaklaşım, önleyici tedavilere benzer; sağlıklı bir yaşam tarzı benimsenmesine rağmen hastalanmak her zaman mümkündür. Ancak kendinize düzenli olarak dikkat ettiğinizde, hastalığınızın daha hafif seyretmesi olasıdır. Altı Sigma uygulandığında, organizasyon olarak hastalanma olasılığınız azalır ve sorunların ciddiyeti daha az olur. (Eckes, 2005).

Altı Sigma ve ISO 9001, farklı hedeflere hizmet eden iki sistemdir. Altı Sigma, işletme performansını iyileştirmeye yönelik bir yaklaşımdır, ISO 9001 bir kalite yönetim sistemidir. ISO 9001, problem çözme ve karar verme süreçlerine ilişkin kurallar belirler ve sürekli iyileştirme gerektirir; ancak bu süreçlerin nasıl olması gerektiğine dair spesifik bir

yönlendirme sağlamaz. Altı Sigma, ISO 9001 tarafından belirlenen hedeflere ulaşmayı sağlamak için kullanılacak bir metodoloji sunmaktadır. (Öztürk, 2012)

Bu hedefler şunlardır:

- Ürün tasarımından hizmete kadar olan tüm aşamalarda hataların önlenmesi,
- Süreç yeterliliği ve ürün değerlendirmesi için gerekli istatistiksel yöntemlerin uygulanması ve kontrol ile onay sürecinin gerçekleştirilmesi,
- Ürün, süreç ve kalite sistemi ile ilgili hataların nedenlerinin araştırılması,
- Ürün ve hizmet kalitesinin sürekli olarak geliştirilmesi.

### **3.3.8.8.1. Altı Sigma Yaklaşımı ve ISO Kalite Güvence Sistemi Yaklaşımı: İlişkileri, Ortak Kullanımı ve Örnekler**

- **Altı Sigma Yaklaşımı:**

Altı Sigma, süreçlerdeki hata oranlarını minimuma indirmek ve kaliteyi artırmak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Altı Sigma'nın temel amacı, süreçlerdeki değişkenlikleri kontrol altına alarak müşteri memnuniyetini artırmaktır. Altı Sigma, süreçlerin hatasız hale gelmesini sağlamak için veri odaklı bir yaklaşım sunar ve kalite yönetimi uygulamalarında kritik bir rol oynar. (Harry & Schroeder, 2000).

- **ISO Kalite Güvence Sistemi:**

ISO Kalite Güvence Sistemi, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından yayımlanan ve organizasyonların kalite yönetim sistemlerini standardize eden bir dizi yönerge'dir. ISO 9001, kalite güvence sistemleri arasında en yaygın olanıdır.

ISO 9001, kalite yönetim sistemlerini standartlaştırarak organizasyonların süreçlerinde tutarlılık ve müşteri memnuniyeti sağlamayı amaçlar. (ISO, 2015).

### **3.3.8.8.2. Altı Sigma ve ISO Kalite Güvence Sistemi Ortak Entegrasyonu**

Altı Sigma ve ISO, kalite yönetimi hedeflerine ulaşmak için birbirini tamamlayan yaklaşımlar olarak kullanılabilir. ISO, süreçlerin standardize edilmesini ve dokümantasyonunu sağlarken, Altı Sigma bu süreçlerdeki hataları azaltmak ve performansı artırmak için istatistiksel araçlar sunar.

ISO ve Altı Sigma, kalite yönetiminde birbirini destekleyen iki farklı yaklaşım olarak birleştirildiğinde süreç iyileştirmeleri için güçlü bir çerçeve sağlar. (Montgomery, 2013).

### 3.3.8.8.3. Ortak Kullanım Teknikleri

#### 1. Proses Standardizasyonu ve İyileştirme:

ISO 9001, süreçlerin standardize edilmesini ve izlenmesini sağlarken, Altı Sigma bu süreçlerdeki performansı artırmak için istatistiksel araçlar kullanır.

- Örnek: Toyota, üretim süreçlerinde ISO 9001 standardını uygulayarak süreç tutarlılığı sağlarken, Altı Sigma araçlarıyla süreç iyileştirmeleri gerçekleştirmiştir. (Ohno, 1988).

#### 2. Belgelendirme ve Süreç Denetimi:

ISO, kalite yönetim sistemlerinin etkinliğini belgelemek için bir çerçeve sunar. Altı Sigma ise bu belgelerin süreç performansını artıracak şekilde kullanılmasını sağlar. Altı Sigma, ISO dokümantasyon süreçlerini optimize etmek için veri analitiği araçları kullanır. (Evans & Lindsay, 2008).

#### 3. Sürekli İyileştirme:

Hem ISO hem de Altı Sigma, süreçlerde sürekli iyileştirmeyi teşvik eder. ISO 9001, PUKÖ döngüsüyle sürekli iyileştirme sağlarken, Altı Sigma DMAIC metodolojisiyle bu iyileştirmeleri ölçülebilir hale getirir.

- Örnek: General Electric, ISO standartlarını Altı Sigma araçlarıyla birleştirerek operasyonel maliyetleri %15 azaltmıştır. (GE, 1999).

### 3.3.8.8.4. Dünya'dan Örnekler: Altı Sigma ve ISO Entegrasyonu

#### 1. General Electric (GE):

GE, ISO 9001 sertifikasyon süreçlerini Altı Sigma ile entegre ederek kalite yönetimini daha etkin hale getirmiştir. GE, ISO ve Altı Sigma uygulamalarını birleştirerek süreç verimliliğini artırmış ve müşteri memnuniyetini yükseltmiştir. (GE, 1999).

#### 2. Toyota:

Toyota, ISO 9001'in standartlaştırma yaklaşımını ve Altı Sigma'nın istatistiksel araçlarını kullanarak süreç performansını optimize etmiştir. Toyota, ISO ve Altı Sigma araçlarını yalın üretim sistemiyle entegre ederek süreçlerdeki hata oranını %20 azaltmıştır. (Ohno, 1988).

### **3. Boeing:**

Boeing, havacılık sektöründe kalite yönetimini ISO standartları ve Altı Sigma araçlarıyla desteklemiştir. Boeing, ISO 9001 sertifikasyon süreçlerini Altı Sigma araçlarıyla optimize ederek üretim hatalarındaki oranı %30 azaltmıştır. (Boeing, 2015).

### **4. Nestlé:**

Nestlé, ISO 9001 standartlarına uyum sağlarken Altı Sigma araçlarını kullanarak gıda üretim süreçlerindeki kaliteyi artırmıştır. Nestlé, ISO ve Altı Sigma entegrasyonu sayesinde müşteri şikayetlerini %25 oranında azaltmıştır. (Nestlé, 2019).

#### **3.3.8.8.5. Türkiye’den Örnekler: Altı Sigma ve ISO Entegrasyonu**

##### **1. TOFAŞ:**

TOFAŞ, ISO 9001 kalite standartlarını Altı Sigma araçlarıyla birleştirerek üretim süreçlerinde kaliteyi artırmıştır. TOFAŞ, ISO ve Altı Sigma entegrasyonu sayesinde süreç verimliliğini %20 artırmış ve maliyetleri düşürmüştür. (TOFAŞ, 2020).

##### **2. Arçelik:**

Arçelik, ISO kalite standartlarına uyum sağlarken Altı Sigma araçlarını kullanarak süreç performansını iyileştirmiştir. Arçelik, ISO 9001 ile üretim süreçlerini standardize etmiş ve Altı Sigma ile bu süreçlerdeki hata oranını %15 azaltmıştır. (Arçelik, 2019).

##### **3. Vestel:**

Vestel, ISO ve Altı Sigma yöntemlerini bir araya getirerek üretim hatalarındaki oranı azaltmış ve müşteri memnuniyetini artırmıştır. Vestel, ISO ve Altı Sigma entegrasyonu sayesinde enerji tüketimini %10 oranında azaltmıştır. (TTGV, 2020).

#### **3.3.8.8.6. Avantajları ve Zorlukları**

##### **Avantajları:**

- ISO’nun süreç standardizasyonu, Altı Sigma’nın süreç iyileştirme araçlarıyla desteklenir.
- Süreçlerde tutarlılık sağlanır ve hata oranları azaltılır.
- Müşteri memnuniyeti artırılır ve maliyetler düşürülür.

**Zorlukları:**

- ISO ve Altı Sigma'nın entegre edilmesi için detaylı eğitim ve planlama gereklidir.
- Uygulama maliyetleri yüksek olabilir.
- Küçük ölçekli işletmeler için bu entegrasyon zorlayıcı olabilir.

Altı Sigma ve ISO Kalite Güvence Sistemi, modern kalite yönetiminde birbirini tamamlayan iki güçlü araçtır. ISO, süreçlerin standardize edilmesini sağlarken, Altı Sigma bu süreçlerin performansını artırmak için istatistiksel araçlar sunar. Toyota, GE, Boeing ve Nestlé gibi dünya liderleri, bu iki yaklaşımı entegre ederek operasyonel başarılar elde etmiş; Türkiye'de ise TOFAŞ, Arçelik ve Vestel gibi şirketler bu entegrasyonu başarıyla uygulamıştır. Ancak, bu iki sistemin başarılı bir şekilde birleştirilmesi, detaylı bir planlama ve uzmanlık gerektirir.

### 3.4. 5 S TEKNİĞİ (Sınıflandırma, Düzen, Temizlik, Standartlaştırma, Disiplin)



Şekil 8. 5 S maddeleri Kaynak: (Dönüşüm Danışmanlık, 2019)

#### 3.4.1. 5S tekniğinin amaçları şunlardır: (Cooper, 2002)

- Çalışma ortamını olumlu yönde geliştirmek.
- Üretimde gereksiz olan tüm unsurları aktif alandan çıkarmak.
- Çalışma alanında tehlike arz eden durumları bertaraf etmek.
- Çalışanlar arasındaki engelleri ortadan kaldırmak.
- Arızaları en düşük seviyeye indirmek.
- Muhtemel hataları minimum seviyeye çekmek.
- Olası kaza riskini en aza indirmek.
- Ekip çalışmasını teşvik etmek.
- Üretim sürecini hızlandırmak.
- Çalışanların eğitim süreçlerini tamamlayarak deneyimlerini artırmak.

İşletme, çalışma alanında iş güvenliğini 5S tekniğiyle olumlu bir şekilde etkiler. Sağlanan düzenli ve temiz ortam, çalışanların motivasyonunu artırır. Görünmeyen zaman kayıpları üretime kazandırılır. Düzenli ve temiz üretim alanı, hataların erken fark edilip müdahale

edilmesini sağlar. Sürekli yapılan temizlik ve düzen çalışmaları, makine performansını da iyileştirir. (Gökçe,2006).

### 3.4.1.1. Sınıflandırma (Seiri):

Seiri, iş yerindeki karmaşayı ortadan kaldırarak yalnızca gerekli olan malzemelerin bulunmasını sağlayan bir organizasyon sürecidir. (Imai, 1986).

Örnek: Toyota'da üretim hattında kullanılmayan yedek parçalar ayrıştırılmış ve depolama alanları optimize edilmiştir

Aşağıdaki sorular sınıflandırma işlemi kolaylaştırır: (Berber, 2013)

- Aktif üretim sahasında, ihtiyaç duyulmayan eşyalar var mı?
- Yardımcı işletme malzemeleri doğru yerlerinde mi?
- Yerde unutulmuş ya da bırakılmış el aletleri var mı?
- Tüm ekipmanlar tanımlandı mı?
- Kullanılan malzemeler kullanım alanlarına göre ayrıldı mı ve doğru yerlere yerleştirildi mi?

Kriterler belirlemek, sadeleşmek için bu kriterleri kural olarak kabul etmek, öncelikleri ve kullanım sıklığını tespit etmek, kaos ve karmaşa nedenleri üzerinde çalışmak, Kaizen çalışma yaklaşımı ve standartlaşma ilkesi için bir hazırlık aşamasıdır. (Özcan, 2018).

Bu hedefler için: (Kaymakçı, 2012)

- Gereksiz olanlar tespit edilip çalışma alanından uzaklaştırılır.
- Kirlenme ve dağınıklığa yol açan sebepler analiz edilerek çözümler üretilir.
- Tüm işlemler eleştirel bir bakış açısıyla incelenir ve üzerinde çalışmalar yapılır.
- Çalışma ortamı temizlenip düzenlenir ve bu düzenin devamlılığı sağlanır.
- Kirlilik ve karışıklık yaratan faktörler ortadan kaldırılır, düzenli bir yapı oluşturulur.
- Stok alanlarında yapılan düzenlemeler güvence altına alınır.

Malzemelerin sınıflandırılması sırasında kullanım sıklığı dikkate alınmalıdır. Gereksiz malzemeler ortadan kaldırılır. Yılda bir kez kullanılan malzemeler, çalışma alanından uzakta bir yere yerleştirilir. Ayda bir kez veya daha az kullanılan ekipmanlar, çalışma sahasında ya da ona yakın bir yerde depolanır. Haftada bir kez ihtiyaç duyulan malzemeler, kullanıldığı

alana veya bu alana yakın bir konumda saklanır. Günlük olarak kullanılan malzemeler ise, doğrudan kullanıldığı yerde muhafaza edilir. (Çakırkaya ve Acar, 2016)

Ayıklama yapılacak alan dikkatlice incelenmeli, bu ortamda gerekli olabilecek ekipmanlar ve onların kullanım sıklığı belirlenmelidir. Gereksiz ekipmanlar alandan kaldırılmalı, satılmalı veya hurdaya gönderilerek geri dönüştürülmelidir. (Cebeci, 2011)

Alanda yer alan malzemeler için "En son ne zaman kullanıldı?", "Olması gereken yer neresi?" ve "Adet sayısı doğru mu?" gibi sorular yetkili ekibe yöneltilerek kırmızı etiket doldurulmalı ve malzemeler gerekli alanlara yerleştirilmelidir. (Dönüşüm Danışmanlık, 2019)

5S KIRMIZI ETİKET			
Adı Soyadı:			
Tespit Yeri:			
Ürün Adı:			
Ürün Sınıfı:	Hammade		
	Yan mamul		
	Bitmiş Ürün		
	Sarf Malzemesi		
	Alet / Ekipman / Makine		
	Diğer ( )		
Ürün Miktarı:		Etiketleme Tarihi:	
Etiketleme Sebebi:	Fazla Stok		
	Bozuk / Hurda		
	Kullanılmayan / Az Kullanılan		
	Tanımsız / Bilinmeyen		
	Diğer ( )		

Şekil 9. 5 S Kırmızı Etiket Kaynak: (Demirel, 2020)

Sınıflandırma (Ayıklama) aşaması:

- Çalışma alanlarında gereksiz stok ve ekipman birikiminin neden olabileceği hareket israfını önler.
- Karışık alanlarda oluşacak arama israfını engeller.
- Kullanılmayan malzeme ve ekipman nedeniyle doğabilecek ek maliyetleri ortadan kaldırır.
- Raf ömrü sınırlı malzemelerin özelliklerinin bozulmasını önler.
- Fabrika alanlarının verimli bir şekilde kullanılmasına katkı sağlar.

Sınıflandırma aşamasının ardından malzemeler gruplandırılır. Malzemeler, gerekli ve gereksiz olarak ayrılırken bu ayırım için yaygın olarak kullanılan kırmızı etiket ve beyaz etiket yöntemlerine başvurulur. (Özçetin, 2017).

Ölçütler belirlemek ve gereksiz unsurları ortadan kaldırmak amacıyla bu ölçütlere sadık kalmak, öncelikleri ve kullanım sıklığını tespit etmek, kirlilik sebepleriyle başa çıkmak ve Kaizen ile standartlaşmayı bu temel üzerine inşa etmek hedeflenir. Bu hedeflere ulaşmak için:

- Gereksiz malzemeler belirlenip ortamdan çıkarılır.
- Sızıntı ve kirlenme nedenleri araştırılarak ortadan kaldırılır.
- Değerlendirmeler yapılarak tüm faaliyetler kayıt altına alınır.
- Alanlar temizlenir ve sürekli temiz kalması sağlanır.
- Kirliliğin giderilmesiyle ortamın kirlenmesi önlenir.
- Depo ve stok alanları düzenlenir ve düzenin korunması sağlanır. (Kaymakçı, 2012)

#### **3.4.1.2. Düzenleme (Seiton):**

Seiton, çalışanların malzemelere minimum çaba ile erişebilmesi için sistematik bir düzen oluşturmayı hedefler. (Ohno, 1988).

Örnek: Boeing, uçak üretim hattındaki tüm aletleri kullanım sıklığına göre düzenleyerek üretim süresini %15 oranında azaltmıştır. (Boeing, 2015).

Ekipman ve araçlar, işin gerçekleştirilme sırasına göre düzenlenmelidir. Bu düzenleme için, işin yapılış şekli ve personelin çalışma tarzı gözlemlenmelidir. (Kaymakçı, 2012).

- Ekipmanlar, hareketin en aza indirilmesi amacıyla en çok ihtiyaç duyulan yerlere yerleştirilmelidir.
- Ekipmanların depolanmasında, işin en çok ihtiyaç duyduğu alanlara göre düzenleme yapılırken, personelin ergonomik koşulları göz önünde bulundurulursa fiziksel zorluklar azalacak ve ergonomik açıdan uygun bir ortam sağlanacaktır.
- Personelin güvenliği için düzenleme sırasında iş güvenliği kurallarına dikkat edilmelidir.
- Çalışma ortamı, çalışanların konsantrasyonunu artırmak amacıyla düzenlenmelidir. Eğer oluşturulan düzen, refleks haline gelecek kadar etkili olursa, işin kalitesi yükselebilir ve iş kazalarının sayısı azalabilir.
- Dağınık durumda olan ekipmanlar, işin gerçekleştiği alanlardan uzaklaştırılmalıdır.

Düzenleme işlemleri tamamlandıktan sonra: (Kaymakçı, 2012)

- Her malzemeye kolayca erişilebiliyor mu?
- Gerekli malzeme doğru yerde mi?
- Personel ve malzeme arasında yeterli koordinasyon sağlanabiliyor mu?
- Ekipmanlar rahatlıkla yerine konulabiliyor mu?
- Malzeme yerleşimleri, yanlış kullanım riskini ortadan kaldırıyor mu? gibi sorular sorulmalıdır.

Kullanılabilir ekipmanlar belirlendikten sonra konumlandırma işlemi yapılır. Bu işlem, spaghetti diyagramına dayanarak alanda en kolay ve güvenli bir şekilde erişilebilecek noktalara sabitlenmelidir. Sabitlenen ekipman, net bir şekilde tanımlanmış bir alanda yer almalıdır. Bu süreçte, istenen ekipmanın 30 saniye içerisinde bulunması amaçlanmaktadır. (Ertaş & Bulut, 2017).

<b>Gereksiz</b>	<b>Açıklama</b>
Gereksiz	Atılmalı
Yılda bir	Uzak bir yerde sakla
Ayda bir seferden az	Alanda veya yakın bir yerde bulundur
Haftada bir kez	Kullanıldığı yere yakın yerde bulundur
Her gün	Kullanıldığı yerde 30 sn içerisinde bulunabilecek bir yerde bulundur

Tablo 11. Ekipmanların Kullanım Sıklığına Göre Sınıflandırılması Kaynak: (Chourasia & Nema, 2016)

Düzenli bir iş yeri görünümü, verimli bir planlama ve yerleşim ile malzeme arama sürecinde kaybedilen zamanı azaltarak verimliliği artırmayı ve 5N+1K prensiplerine dayalı depolama hedeflerine ulaşmayı sağlar. Bu hedeflere ulaşmak için: (Kaymakçı, 2012)

- Gereken tüm unsurların yerleşim planında konumları belirlenir ve bu alanlarda uygun düzenlemeler yapılır.
- Ekipman ve malzemelerin mümkün olan en kısa sürede (saniyeler içinde) alınması ve yerleştirilmesi hedeflenir.
- Dosyalama standartları oluşturulur.

- Bölge ve yerleşim işaretleri sayesinde arama ve bulma süreçlerinde hız kazanılır.
- Kapaklar ve kilitler kaldırılarak açık büfe tarzı bir self servis sistemine geçilir.
- İlk giren ilk çıkar (FIFO) yöntemi uygulanır.
- Uyarı levhaları, anlaşılır bir şekilde ve yasal düzenlemelere uygun olarak tasarlanır

### 3.4.1.3. Temizlik (Seiso):

İhtiyaç ve amaca uygun temizlik kriterleri belirlendiğinde, etkili bir temizlik gerçekleştirilebilir ve düzenli bir çalışma ortamı sağlanabilir. (Kaymakçı, 2012).

Seiso, temiz bir çalışma ortamı yaratmayı ve temizliğin bir kültür olarak benimsenmesini teşvik eder. (Evans & Lindsay, 2008). Örnek olarak Nestlé, her vardiya değişiminde üretim hatlarını temizleyerek gıda güvenliğini artırmıştır. (Nestlé, 2019).

Bu amaçlara ulaşmak için (Kaymakçı, 2012):

- Çalışma ortamında işin tanımı ve bu işi üstlenecek kişilerin belirlenmesi gerçekleştirilir.
- Temizlik ve denetimi kolaylaştırmak için gerekli olan araçlar sağlanır; yapılan kontrollerle sorunlar çözülür.
- En küçük ayrıntılara kadar gözden kaçan noktaların da temizlenmesi sağlanır.
- Boyanması veya tamir edilmesi gereken yerler, işleminden geçirilerek daha estetik bir görünüm kazanır.

Temizlik yapılmadığında dağınık ve kirli bir ortamda motivasyon düşer. İş güvenliği azalır, kirliliğe bağlı arızalar ve üretim hataları artar. Ayrıca, zaman kayıpları da çoğalır. (Çakırkaya & Acar, 2016).

Çalışma alanının temiz olması, çalışanların moralini olumlu yönde etkileyeceği için verimlilik artışı sağlanacaktır. Bu nedenle, temizlik için gereken ekipmanların eksiklikleri belirlenmeli ve tamamlanmalıdır. (Pheng, 2001).

İş yerlerinde her bölüm ve alan için bir temizlik sorumlusunun atanması, yalnızca hijyen ve düzenin sağlanması açısından değil, aynı zamanda iş süreçlerinin verimliliği ve çalışan memnuniyeti açısından da kritik bir adımdır. Bu sorumlular, belirlenen alanlarda düzeni korumak için yaratıcı ve etkili temizlik yöntemleri geliştirerek sadece fiziksel temizliği değil, aynı zamanda süreçlerin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini de sağlarlar. Bu yaklaşım, temizlik faaliyetlerini rastgele bir görevden çıkarıp, kurumsal bir standart haline getirir.

Böylece, hem kaynakların daha etkin kullanımını sağlar hem de çalışanlar için daha düzenli ve motive edici bir çalışma ortamı oluşturulur. Standardizasyonun bu şekilde ele alınması, iş yerlerinde 5S gibi metodolojilerin etkili bir şekilde uygulanmasının önünü açar.

İş yerlerinde, her bölüm ve alan için bir temizlik sorumlusunun atanması, düzenli ve sistematik bir çalışma ortamının oluşturulmasında kritik bir rol oynar. Bu sorumlu, yalnızca alanın fiziksel temizliğinden sorumlu değil, aynı zamanda iş süreçlerinin verimliliğini artırmak için gerekli yöntemleri geliştirmekle de yükümlüdür. Aşağıdaki maddelerle bu sürecin önemini daha iyi açıklayabiliriz:

- **Sorumluluk ve Sahiplenme:** Her alanda belirli bir kişinin sorumluluğu üstlenmesi, temizlik ve düzen konusunda kontrolün kaybolmasını engeller. Bu, "kim yapacak?" sorusunu ortadan kaldırır ve net bir sahiplik sağlar.
- **Standartlaştırılmış Süreçler:** Temizlik sorumlusu, belirli prosedürler ve talimatlar geliştirerek temizlik faaliyetlerini standartlaştırır. Bu standartlar sayesinde iş yerindeki her bölüm aynı kalite ve düzende çalışabilir.
- **Çalışan Bilincini Artırma:** Temizlik sorumluları, çalışanlara hem temizlik alışkanlıkları kazandırır hem de düzenli bir ortamın verimliliği nasıl etkilediği konusunda farkındalık yaratır.
- **İş Güvenliği:** Düzenli temizlik ve organizasyon, kayma, düşme gibi iş kazalarını önlerken çalışanların daha güvenli bir ortamda çalışmasını sağlar.
- **5S Metodolojisiyle Uyum:** Bu yaklaşım, 5S'in Temizleme (*Seiso*) ve Standartlaştırma (*Seiketsu*) adımlarını doğrudan destekler. Sorumlular, bu süreçleri denetleyerek uygulamanın sürdürülebilir olmasını sağlar.
- **Verimlilik Artışı:** Temiz ve düzenli bir iş ortamı, çalışanların konsantrasyonunu artırır, aradıkları malzeme veya araçlara daha hızlı ulaşmalarını sağlar ve üretkenliği destekler.

Böyle bir sistem, yalnızca temizlikle sınırlı kalmaz; aynı zamanda iş yerindeki disiplinin bir parçası olarak organizasyonel başarıya katkı sunar. Sadece fiziksel bir süreç değil, kültürel bir dönüşüm olarak da ele alınmalıdır.

### 3.4.1.4. Standartlaştırma (Seiketsu):

Seiketsu, düzen ve temizliği sürdürülebilir hale getirmek için süreçlerin standartlaştırılmasını hedefler. (Montgomery, 2013). Örnek olarak BMW, üretim hatlarında temizleme ve düzenleme prosedürlerini yazılı hale getirerek tüm çalışanların bu standartlara uymasını sağlamıştır.

Standartlaştırmanın sağladığı faydalar: (Çakırkaya & Acar, 2016)

- Tüm süreçlerin değişimi denetlenir.
- Süreçlerdeki hataları ve eksiklikleri tespit etme olanağı sunar.
- Başlangıç ve hedef noktaları arasındaki olumlu veya olumsuz değişimleri ölçmeyi sağlar.
- Kontrol listeleri ve kontrol planlarının oluşturulmasına olanak tanır.
- Süreçlerin takibi, gelişim ve değişim projelerinin yaygınlaşmasına katkıda bulunur.
- Yeni personelin işin gereksinimlerini anlamasını kolaylaştırır.
- Etkinliği artırır (kaynak kullanılabilir).

Kullanılan arıza haritaları, yalnızca oluşan arızalar hakkında değil, aynı zamanda mevcut durum hakkında da değerlendirme yapma imkanı sunar. Bu da işletmede yapılacak iyileştirme çalışmaları için önerilerde bulunma fırsatı yaratır. Standartlaştırılmış malzeme miktar kontrolleri sayesinde stok malzemesi alımında öngörülerde bulunulabilir. Yalın üretim sisteminin en önemli ilkelerinden biri olan 'ihtiyaç duyulanı alma' prensibi, sayım süreci ile desteklenerek avantaj sağlar. (Çakırkaya & Acar, 2016).

5S kurallarının ilk üç maddesine prosedürler ve talimatlar ekleyerek sürdürülebilirliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu süreçte, çalışanların 5S felsefesini ne ölçüde benimsediği değerlendirilir. Bu çalışmaların sürekliliği garanti altına alındığında, çalışma ortamı daha güvenli, kaliteli, israfsız ve konforlu bir hale gelecektir. (Chourasia & Nema, 2016)

Süreklilik adımının üç ana hedefi vardır: (Özçetin, 2017)

- Hiçbir karışıklık,
- Hiçbir gereksiz parça,
- Hiçbir kirlilik

Bu adımda, çalışma ortamında belirsizliklerin bulunmaması kritik bir gerekliliktir. Bunun sağlanması amacıyla aşağıdaki şartların yerine getirilmiş ve belgelenmiş olması gerekmektedir: (Özçetin, 2017)

- Tüm iş alanları tanımlanmalı ve yer bildirim tabelalarıyla işaretlenmelidir.
- Her alanın sorumluları atanmalıdır.
- Saha giriş ve çıkışları tabelalarla gösterilmeli, güvenli yürüyüş yolları işletmenin belirlediği standartlara uygun olarak boyanmalıdır.
- Merdivenler, platformlar ve makine bakım alanları gibi bölgelerde gerekli iş güvenliği önlemleri alınmalıdır.
- Tehlike arz eden makineler kırmızı çerçeve ile, tehlike oluşturmayan makineler ise sarı çerçeve ile belirtilmelidir.
- Tüm ekipmanlar ve malzemeler, beyaz veya kırmızı etiketlerle tanımlanmalıdır. Kimyasallar ise Malzeme Güvenlik Bilgi Formları (MSDS) ile belgelenmelidir.
- İş yerinde gerekli tüm iş güvenliği önlemleri alınmalıdır. (Özçetin, 2017)

5S uygulamalarının etkinliğini artırmak için yönetim standartlarının net bir şekilde tanımlanması önemlidir. Bu kapsamda, iş yerindeki olumsuzlukları hızlıca fark edebilmek adına görsel yönetim sistemleri devreye alınmakta ve iş süreçlerini düzenlemek için renk kodlama gibi pratik yöntemler uygulanmaktadır. Bu adımlar, hem çalışanların süreçlere uyumunu kolaylaştırmakta hem de iş yerinde düzenin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır.

Bu amaçlara ulaşmak için şu adımlar atılacaktır: (Özçetin, 2017)

- Çalışan, bakımda olan, arızalı ve faal durumları belirtmek üzere işaretler hazırlanacaktır.
- Tehlikeli alanlar için işaretleme yapılacaktır.
- Isı seviyelerini göstermek amacıyla etiketleme gerçekleştirilecektir.
- Yönlendirme işaretleri ile çalışma alanlarının yönleri belirtilecektir.
- Voltaj seviyelerini belirtmek için etiketler kullanılacaktır.
- Açık ve kapalı yönleri gösteren etiketler uygulanacaktır.
- Yangın söndürme cihazları ve levhaları ile acil durum hazırlıkları sağlanacaktır.
- Kaza önleme uyarı işaretleri uygulanacaktır.
- Gürültü ve titreşimi azaltmaya yönelik önlemler alınacaktır.
- 5S takvimi hazırlanacaktır.

- Park ve bahçe düzenleme çalışmaları gerçekleştirilecektir.

### 3.4.1.5. Disiplin (Shitsuke):

Shitsuke, çalışanların düzenli ve disiplinli bir şekilde 5S prensiplerine uygun davranmasını sağlamak için eğitim ve denetim süreçlerini içerir. (Imai, 1986). Örnek olarak Ford, tüm çalışanlarına düzenli 5S eğitimleri vererek kalite kontrol süreçlerinde başarı sağlamıştır. (Ford, 2017).

Son aşama olan disiplinin uygulanması oldukça zordur. Bu nedenle Toyota sistemi, disiplin faktörünü uygulamak yerine düzenli kontroller gerçekleştirmiştir. Bunun yerine, Toyota teşvik edici yöntemlere, eğitim uygulamalarına ve ekip çalışmasına odaklanmıştır. (Çakırkaya & Acar, 2016)

Disiplinin faydaları şunlardır: (Badurdeen 2007)

- Çalışanları yenilikler konusunda teşvik etmek,
- Geliştirilen sistemi çalışanların bir sorumluluk olarak algılamasını sağlamak,
- Yapılan işe olan güveni artırmak,
- Çalışanların sistem içindeki görevlerini tanımlamak.

Denetimler düzenli aralıklarla yapılmalı ve en yüksek performansı gösterenler ödüllendirilmelidir. Bu süreç, üst yönetimin kararlarına bağlı olarak şekillenir. Ödül sistemi, motivasyonu artırmada etkili bir araçtır.

Atölye çalışmaları, günlük iletişim ve geri bildirim alışkanlıkları, bireysel sorumluluğun gelişimini destekleyerek uygun alışkanlıkların oluşturulmasına katkı sağlar. Bu süreç, tam katılım ve kurallara bağlılıkla güçlenir, uygun alışkanlıkların uygulanması hedeflerine katkıda bulunur.

Bu hedeflere ulaşmak için: (Özçetin, 2017)

- Temizlik alışkanlığının birlikte edinilmesi teşvik edilir.
- Deneme ve uygulama süreleri kısaltılır.
- Sabah toplantıları düzenlenir.
- Ortak kullanım alanlarının yönetimi sağlanır.
- Olağanüstü durumlar için tatbikatlar yapılır ve etkinlik artırılır.

- Bireylerde sorumluluk bilincinin geliştirilmesi hedeflenir.
- Telefon ve iletişim uygulamaları güçlendirilir.
- Belirlenen iş güvenliği ekipmanlarının eksiksiz kullanılması sağlanır.
- Her boş dakikanın 5S uygulamalarına ayrılması konusunda bilinç oluşturulur.

5S, fabrika üretim alanlarında mükemmeliyeti artırdığı için en belirgin şekilde TPS ve TPM uygulamalarını destekler. Bu sistemin beş temel unsuru, Toplam Kalite Yönetimi'nin (TKY) temel yapısını meydana getirir. (Pheng, 2001).

### 3.4.2. Dünya Geneline 5S Uygulamaları

#### 1. Toyota:

Toyota, 5S metodolojisini yalın üretim sisteminin bir parçası olarak uygulamış ve bu yöntemle iş yerinde düzeni ve verimliliği artırmıştır. Toyota, 5S prensiplerini kullanarak üretim hatlarında kaliteyi artırmış ve süreç maliyetlerini düşürmüştür. (Ohno, 1988).

#### 2. General Electric (GE):

General Electric, 5S'i Altı Sigma projeleriyle entegre ederek iş yerindeki düzen ve temizliği optimize etmiş, süreçlerdeki hata oranını azaltmıştır. GE, 5S uygulamalarıyla iş yeri verimliliğini artırmış ve süreç hatalarını %20 oranında azaltmıştır. (GE, 1999).

#### 3. Boeing:

Boeing, uçak üretim hatlarında 5S ilkelerini uygulayarak üretim süreçlerini optimize etmiş ve ürün kalitesini artırmıştır. Boeing, 5S prensiplerini kullanarak üretim hatlarındaki hata oranını %30 azaltmıştır. (Boeing, 2015).

#### 4. Nestlé:

Nestlé, gıda üretim tesislerinde 5S prensiplerini uygulayarak temizlik ve düzen standartlarını iyileştirmiştir. Nestlé, 5S uygulamaları sayesinde gıda üretim süreçlerindeki kaliteyi artırmış ve müşteri memnuniyetini %25 oranında yükseltmiştir. (Nestlé, 2019).

### 3.4.3. Türkiye'de 5S Uygulamaları

#### 1. TOFAŞ:

TOFAŞ, üretim süreçlerinde 5S metodolojisini kullanarak düzenli ve temiz bir çalışma ortamı oluşturmuş, süreç verimliliğini artırmıştır. TOFAŞ, 5S uygulamalarıyla üretim

süreçlerindeki verimliliği %20 artırmış ve müşteri şikayetlerini azaltmıştır. (TOFAŞ, 2020).

## 2. Arçelik:

Arçelik, üretim hatlarında 5S prensiplerini uygulayarak enerji tüketimini azaltmış ve çalışan verimliliğini artırmıştır. Arçelik, 5S sayesinde iş yeri düzenini optimize ederek enerji tüketimini %10 oranında düşürmüştür. (Arçelik, 2019).

## 3. Vestel:

Vestel, üretim hatlarında 5S uygulamalarını kullanarak iş kazalarını azaltmış ve süreç performansını iyileştirmiştir. Vestel, 5S prensiplerini uygulayarak iş kazalarını %15 oranında azaltmıştır. (TTGV, 2020).

5S, iş yerinde düzeni ve temizliği sağlayarak çalışan verimliliğini artıran, süreçlerde israfı önleyen etkili bir metodolojidir. Toyota, GE, Boeing ve Nestlé gibi dünya liderleri, bu yöntemi başarıyla uygulayarak süreç performanslarını optimize etmiş; Türkiye’de TOFAŞ, Arçelik ve Vestel gibi şirketler ise benzer şekilde 5S’i üretim süreçlerinde entegre ederek önemli başarılar elde etmiştir. Ancak 5S’in başarılı bir şekilde uygulanması, çalışanların eğitimi, standartların oluşturulması ve sürdürülebilirliğin sağlanması için sürekli çaba gerektirir.

TKY’de sürekli başarı için 5S temel bir özellik sıfatı yüklenmektedir. (Khanna, 2009).

5S yaklaşımı sayesinde israfı önlemek amacıyla kayıpların incelenmesi, çalışanların motivasyonunu artırmaya olanak tanımaktadır. (Khanna, 2009).

Ayrıca, temiz ve düzenli bir iş ortamı oluşturarak israfları ve değişkenlikleri azaltır. 5S uygulaması ile birlikte, malzeme, araç-gereç ve personelin, çalışma alanında yenilikçi bir yöntemle bir arada bulunmaları sağlanır. (Eyiol, 2016).

### 3.4.4. 5S’in Faydaları:

- **İş Güvenliği:** Kirli ve dağınık bir işyeri, güvenliği tehlikeye atar. 5S uygulayan işletmelerde ise iş kazalarının sayısında azalma gözlemlenir ve güvenlik afişlerine olan ihtiyaç da azalır.
- **Verimlilik:** Gereksiz taşıma ve arama süreçlerinden kaynaklanan zaman kayıpları en aza indirilir. Ayrıca, küçük alanların daha verimli kullanımı sağlanır.

- **Moral:** Temiz bir çalışma ortamı, çalışanların ilgi ve katılımını artırır; temiz bir işyeri, çalışanlar için bir gurur kaynağı haline gelir.
- **Kalite:** Kir ve toz nedeniyle makine ekipmanlarının hassasiyeti azalır ve bu durum ürün kalitesini olumsuz etkiler.
- **Makine Performansı:** Kir ve toz birikimi, makinelerde aşınmalara yol açarak arızaları ve duruş sürelerini azaltır. Bu sayede olağan dışı durumlar hızlı bir şekilde tespit edilebilir. (Okur, 2005)

### 3.4.5. Toplam Kalite Yönetimi (TKY) ve 5S: İlişkileri, Entegrasyonu ve Ortak Kullanım Alanları

#### 3.4.5.1. TKY ve 5S

- **Toplam Kalite Yönetimi (TKY):**  
TKY, bir organizasyonda kaliteyi artırmayı, müşteri memnuniyetini sağlamayı ve sürekli iyileştirmeyi hedefleyen bir yönetim felsefesidir. TKY, süreçlerin tamamını kapsar ve organizasyon genelinde bir kalite kültürü oluşturmayı amaçlar. TKY, müşteri odaklılık, sürekli iyileştirme ve çalışan katılımına dayanan bir yönetim anlayışıdır. (Juran, 1995).
- **5S:**  
5S, iş yerinde düzeni ve temizliği sağlayarak verimliliği artırmayı ve israfı önlemeyi amaçlayan bir yöntemdir. 5S, TKY'nin sürekli iyileştirme felsefesini destekleyen araçlardan biridir.

5S, organizasyonel süreçlerde düzenin sağlanması ve verimliliğin artırılması için TKY'nin bir uygulama aracı olarak kullanılabilir. (Imai, 1986).

#### 3.4.5.2. TKY ve 5S'in İlişkisi

TKY ve 5S, kalite yönetiminde birbirini tamamlayan iki yaklaşımdır. TKY, geniş çaplı bir kalite kültürü oluşturmayı hedeflerken, 5S bu kültürü iş yerinde düzen ve disiplin sağlayarak destekler.

- **Ortak Amaç:** Her iki yöntem de israfı önlemeyi, çalışan katılımını artırmayı ve süreçlerde sürekli iyileştirmeyi amaçlar.

- **Tamamlayıcılık:** TKY'nin müşteri odaklı felsefesi, 5S'in düzen ve temizliği önceliklendiren araçlarıyla güçlenir. 5S, TKY'nin organizasyonel kalite kültürünü destekleyen operasyonel bir araçtır. (Evans & Lindsay, 2008).

### 3.4.5.3. TKY ve 5S Entegrasyonu

#### 1. Sürekli İyileştirme (Kaizen):

TKY'nin temel prensiplerinden biri olan sürekli iyileştirme, 5S'in sistematik ve döngüsel yapısıyla uygulanabilir.

- Örnek: Toyota, 5S uygulamalarıyla üretim hatlarını düzenlerken TKY'nin sürekli iyileştirme prensiplerini entegre ederek maliyetleri düşürmüştür.
- "5S, Kaizen'in fiziksel düzen ve temizlik boyutunda uygulanmasını sağlayan etkili bir araçtır" (Ohno, 1988).

#### 2. Çalışan Katılımı ve Disiplin:

TKY, çalışanların kalite süreçlerine katılımını teşvik eder. 5S ise bu katılımı düzen ve disiplin yoluyla somutlaştırır.

- "TKY, çalışanların kalite süreçlerine aktif olarak dahil edilmesini desteklerken, 5S bu süreçlerin sürdürülebilirliğini sağlar" (Juran, 1995).

#### 3. Standartlaştırma:

TKY'nin standart oluşturma hedefleri, 5S'in "Seiketsu" (Standartlaştır) aşamasıyla desteklenir.

- Örnek: Boeing, TKY ile kalite standartlarını belirlerken, 5S ile bu standartların iş yerinde uygulanmasını sağlamıştır.
- "5S, TKY'nin standartlaştırma çabalarını iş yerinde somutlaştırarak düzenin sürekliliğini sağlar" (Montgomery, 2013).

#### 4. Verimlilik ve Maliyet Azaltma:

TKY ve 5S, süreçlerdeki israfi önleyerek maliyetleri düşürür ve verimliliği artırır.

- Örnek: General Electric, TKY ve 5S entegrasyonu sayesinde üretim hatlarındaki hata oranını %20 azaltmıştır (GE, 1999).

### 3.4.5.4. Ortak Kullanım Alanları

#### 1. Üretim ve Montaj Hatları:

TKY'nin müşteri odaklı iyileştirme prensipleri ve 5S'in düzen sağlayıcı araçları üretim hatlarında kaliteyi artırmak için birlikte kullanılır.

- Örnek: Toyota, montaj hatlarında 5S uygulamalarıyla düzeni sağlarken, TKY ile müşteri memnuniyetini artırmayı hedeflemiştir. (Ohno, 1988).

## **2.Hizmet Sektörü:**

Bankacılık, otelcilik ve perakende gibi sektörlerde TKY ve 5S entegrasyonu süreç iyileştirme için kullanılır.

- Örnek: Nestlé, TKY ile kalite standartlarını belirlerken 5S ile bu standartların üretim tesislerinde uygulanmasını sağlamıştır. (Nestlé, 2019).

## **3.Tedarik Zinciri Yönetimi:**

TKY'nin süreç iyileştirme hedefleri, 5S ile lojistik ve depo düzenlemesi alanlarında başarıyla entegre edilebilir.

- Örnek: Arçelik, TKY ve 5S entegrasyonu sayesinde tedarik zincirindeki hataları azaltmıştır. (Arçelik, 2019).

## **4.Sağlık Sektörü:**

TKY ve 5S, sağlık hizmetlerinde hijyen ve düzenin sağlanması için birlikte uygulanır.

- Örnek: Bir hastane, ameliyathane düzenini 5S prensipleriyle optimize ederken, TKY ile hasta memnuniyetini artırmayı hedeflemiştir.

### **3.4.5.5. Dünya'dan Örnekler: TKY ve 5S Entegrasyonu**

#### **1. Toyota:**

Toyota, TKY'nin müşteri odaklı felsefesini ve 5S'in düzen sağlayıcı araçlarını entegre ederek üretim süreçlerini optimize etmiştir.

- Toyota, TKY ve 5S'i entegre ederek maliyetleri düşürmüş ve kalite standartlarını yükseltmiştir. (Ohno, 1988).

#### **2. General Electric (GE):**

GE, TKY ve 5S entegrasyonu ile süreçlerdeki israfı önlemiş ve verimliliği artırmıştır.

- GE, TKY ve 5S uygulamalarını birleştirerek hata oranlarını %15 azaltmıştır. (GE, 1999).

#### **3. Boeing:**

Boeing, havacılık sektöründe kalite yönetimini TKY ve 5S ile desteklemiştir.

- Boeing, TKY ve 5S entegrasyonu sayesinde üretim hatlarında kaliteyi artırmıştır. (Boeing, 2015).

#### 4. Nestlé:

Nestlé, üretim süreçlerinde TKY'nin kalite standartlarını ve 5S'in temiz düzenleme yöntemlerini bir araya getirmiştir.

- Nestlé, TKY ve 5S sayesinde müşteri şikayetlerini %20 oranında azaltmıştır. (Nestlé, 2019).

### 3.4.5.6. Türkiye'den Örnekler: TKY ve 5S Entegrasyonu

#### 1. TOFAŞ:

TOFAŞ, üretim hatlarında 5S prensiplerini TKY ile entegre ederek düzenli bir çalışma ortamı oluşturmuş ve verimliliği artırmıştır.

- TOFAŞ, TKY ve 5S entegrasyonu ile üretim süreçlerindeki hata oranını %10 azaltmıştır. (TOFAŞ, 2020).

#### 2. Arçelik:

Arçelik, TKY ve 5S'i entegre ederek enerji tüketimini azaltmış ve iş yeri düzenini optimize etmiştir.

- Arçelik, TKY ile kaliteyi, 5S ile düzen ve disiplini sağlayarak süreç performansını artırmıştır. (Arçelik, 2019).

#### 3. Vestel:

Vestel, TKY ve 5S'i birleştirerek müşteri memnuniyetini artırmış ve süreç maliyetlerini düşürmüştür.

- Vestel, TKY ve 5S entegrasyonu ile üretim hatlarındaki verimliliği %15 artırmıştır. (TTGV, 2020).

### 3.4.5.7. Avantajları ve Zorlukları

#### Avantajları:

- Süreçlerin düzenli, temiz ve verimli bir şekilde yürütülmesini sağlar.
- Müşteri memnuniyetini artırır ve kaliteyi yükseltir.
- İsrafi önleyerek maliyetleri düşürür.
- Çalışan katılımını ve motivasyonunu artırır.

**Zorlukları:**

- Uygulama süreci zaman alabilir ve maliyetli olabilir.
- Çalışanlar arasında metodolojilere direnç görülebilir.
- Sürdürülebilirliği sağlamak için sürekli eğitim gereklidir.

TKY ve 5S, modern kalite yönetiminde birbirini tamamlayan iki güçlü araçtır. TKY, organizasyon genelinde bir kalite kültürü oluştururken, 5S bu kültürü iş yerinde düzen ve disiplin sağlayarak destekler. Toyota, GE, Boeing ve Nestlé gibi dünya devleri, bu iki yaklaşımı başarıyla birleştirerek süreç verimliliğini artırmış ve müşteri memnuniyetini sağlamıştır. Türkiye’de ise TOFAŞ, Arçelik ve Vestel gibi firmalar, TKY ve 5S entegrasyonu ile operasyonel başarılar elde etmiştir.

### 3.5. KAİZEN KAVRAMI

Yalın üretimde dönüşüm sürecini şekillendiren ve sistemde değişim yaratan en temel faaliyetler, gelişim sağlamak amacıyla yapılan eylemlerdir. Kaizen kavramı, Japoncadan gelerek KAI (değişim) ve ZEN (iyi) kelimelerinin birleşiminden oluşur. Bu iki heceden oluşan kelime, sürekli değişim ve sürekli iyileştirme düşüncesini ifade eder. Tüm süreçlerde, bölümlerde ve makinelerde israfa veya verimsizliğe yol açan tüm kayıpların iyileştirilmesiyle, küçük fikirlerin büyük karlara dönüştüğü sürekli bir iyileştirme ve geliştirme süreci olarak tanımlanır. (Erdeniz, 2018).

“Kai” sürekli, “zen” ise iyileştirme anlamına gelir; bu kavram, bir amaç doğrultusunda gerçekleştirilen iyileştirme adımlarının bütünü ya da kullanılan bir yöntemin değiştirilmesi olarak tanımlanabilir. Alternatif bir tanımlamada ise, Kaizen’in küçük değişikliklerin birikimiyle elde edilen iyileştirmeler süreci olduğu belirtilmiştir. (Pehlivan, 2010).

Kaizen çalışmalarının iki temel amacı vardır:

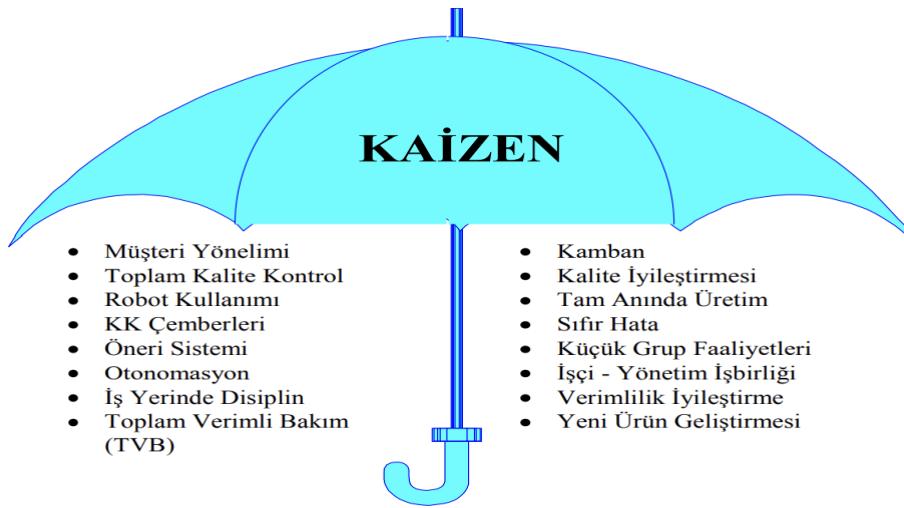
- **Hedefin gerçekleşmemesi durumunda:** Beklenenden kötü bir sonuç elde edildiğinde, kayıpların etkisini azaltmak için yapılan iyileştirme çalışmalarıdır. Kaizen uygulamalarının çoğu bu kategoriye girer.
- **Sonuçları geliştirmek için:** Beklenen hedefe ulaşılmış olsa da daha ileri seviyelere ulaşmayı amaçlayan çalışmalardır. (Apilioğulları, 2015).

Kaizen stratejisi, üst yönetimden müdürlere ve çalışanlara kadar herkesin katılımını gerektiren bir süreç olup, işletme standartlarının küçük ve aşamalı iyileştirmelerle geliştirilip sürdürülmesini ifade eder. (Imai, 1994)

#### 3.5.1. Kaizen'in Tarihsel Gelişimi

Kaizen felsefesinin temelini ilk kez açıklayan Masaaki Imai, "Kaizen: Japonya'nın Rekabetteki Başarısının Anahtarı" adlı kitabında Kaizen'i şu şekilde tanımlar: Savaş sonrası Japonya'nın ekonomik mucizesini inceleyen akademisyenler, gazeteciler ve iş insanları, verimlilik hareketi, toplam kalite kontrol, küçük grup çalışmaları, öneri sistemleri, otomasyon, endüstri robotları ve iş ilişkileri gibi unsurlara yoğunlaşmıştır. Ayrıca, Japonya'ya özgü yaşam

boyu istihdam, kıdeme dayalı ücret ve şirket sendikaları gibi yönetim uygulamalarına ilgi göstermişlerdir. Ancak bu incelemelerde, Japon yönetiminin özünü oluşturan basit ama temel gerçeği gözden kaçırmışlardır. Japon yönetim sistemi; üretim iyileştirmeleri, toplam kalite kontrol çalışmaları, kalite çemberleri ve iş ilişkileri gibi uygulamaların tek bir kavram altında ifade edilebileceğini gösterir: Kaizen. Japon endüstrisinde verimlilik, sıfır hata, kamban ve öneri sistemleri gibi terimlerin yerine Kaizen teriminin kullanımı, yapılanları daha iyi anlamayı sağlar. Kaizen, dünya genelinde tanınan ve Japonya'ya özgü çok sayıda uygulamayı kapsayan bir şemsiye kavramdır ve bu uygulamalar aşağıdaki Kaizen şemsiyesinde gösterilmektedir. (Imai,1999).



Şekil 11. Kaizen Şemsiyesi Kaynak: KAİZEN Şemsiyesi (Imai, 1999)

Kaizen tekniği, İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japonya'da Masaaki Imai tarafından geliştirilmiştir. Kaizen ifadesi, Japonca'da kai (değişim) ve zen (daha iyi) kelimelerinin birleşiminden oluşur. Kaizen, sürekli iyileştirme anlamına gelir ve bu tekniğin özü de bu anlamda yatmaktadır. Japonya'nın işletme ve üretim kültüründe, Kaizen, en iyiyi bulmak için adım adım, disiplinli ve sürekli bir gelişim sürecini temsil eder. (Türkan, 2010).

### 3.5.2. Kaizen Felsefesi Faydaları

Kaizen tekniği kullanıldığı olgularda aşağıda belirtilen durumlarla ilgili faydalar sağlayabilir: (Oskaloğlu, 2019)

- Bir işletmedeki tüm faaliyet alanlarında iyileştirmeler gerçekleştirilir.

- Tüm çalışanların belirli hedefler doğrultusunda işbirliği içinde çalışmalarına olanak tanınır.
- İş süreçlerinin daha etkili ve verimli bir şekilde yürütülmesi sağlanır.
- Farklı bölümlerin sürekli iletişim halinde kalarak mevcut veya potansiyel sorunlara en hızlı ve kalıcı çözümleri bulmaları teşvik edilir.
- İşletmeye rekabet avantajı sağlayan unsurların daha hızlı bir gelişim göstermesi mümkün kılınır.

Kaizen felsefesinin temel mantığı aşağıdaki gibidir: (Erdeniz, 2018)

- Mevcut durumun yeterli olduğu düşüncesinden vazgeçmek.
- "Niçin bu şekilde sonuçlanıyor?" sorusu yerine "Nasıl bir çözüm bulabilirim?" sorusuna odaklanmak.
- Zaman kaybetmeden uygulanabilir fikirleri hayata geçirmeye çalışmak.
- Her şeyin anında mükemmel olmasını beklemek yerine, iyileştirilmesi gereken alanları yavaş yavaş geliştirmek.
- Ortaya çıkan sorunları hızlı bir şekilde ele alarak çözmek.
- Zor zamanlarda yakınmak yerine çözümler üzerinde çalışmak.
- Problemin kök nedenini bulmak için beş kez "Niçin oldu?" sorusunu sormak ve ardından çözümler üzerinde düşünmek.
- Tek bir kişinin görüşlerine odaklanmaktansa, çalışanların süreç ve sorunlara dair fikirlerine önem vermek.
- Uygulama yapmak ve olumlu sonuç alındığında süreci devam ettirmek.
- Taklit etmeyi ve bu taklitleri geliştirerek ilerlemeyi öğrenmek.
- Yapılan iyileştirmelerin etkilerini ölçmek.
- Geliştirme ve iyileştirme süreçlerinin sonsuz olduğunu kabullenmek.

Kaizen'in temel ilkeleri şunlardır: (Erdeniz, 2018)

- Değişim arzusunu taşımak.
- Olumlu bir tutum sergilemek.
- Farklı görüşlerin ifade edilmesine olanak tanıyarak sinerji oluşturmak.
- Olumsuzlukları düzeltme sorumluluğunu başkalarına devretmekten kaçınmak.
- Karşılıklı saygıyı ön planda tutmak.

- Diğer insanlara yaklaşımınızda “Bana nasıl davranılmasını isterim?” anlayışını benimsemek.
- Düşüncenin kaynağından ziyade, pratikte işe yarayıp yaramadığını dikkate almak (işçi, yönetici, ara eleman vb.).
- Soruların nedenlerini anlamaya çalışmak.
- Kaizen felsefesine uygun bir şekilde hareket etmek.

### 3.5.3. Kaizen Etkisi ve Hedefi

Kaizen, hedeflenen fırsatları değerlendirme açısından, iddialı bir yaklaşım ile her ölçekten üretim şirketinde çeşitli şekillerde uygulanabilir. Bu uygulamalara ilişkin bazı örnekler aşağıda belirtilmiştir: (Wittenberg, 1994).

- Hammaddede tüketimini ve bitmiş ürün stoğunu azaltmak.
- Süreçler arasındaki ulaşımı minimize etmek için süreçlerin entegrasyonunu sağlamak.
- Tekil üretim yerine, toplu üretime yönelmek.
- İşletmelerdeki yerleşim düzenini değiştirerek atıkları ortadan kaldırmak ve katma değer sağlayacak dengeli iş istasyonları oluşturmak.
- Kalite, güvenilirlik, maliyet ve dağıtım konularında operasyonel standartlar belirleyerek işyeri organizasyonunu daha şeffaf ve yönetimi kolay bir hale getirmek.
- Just-in-case (önlemleri) yaklaşımı yerine Just-in-Time (JIT) yöntemini benimseyerek etkili kontrol sistemleri kurmak (Wittenberg, 1994).

### 3.5.4. Kaizen Örnekleri ve Uygulama Yerleri

Kaizen tekniği, süreçlere, kişilere ve koşullara bağlı olarak farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Ancak en temel hatları ile uygulanış şekli aşağıdaki maddelerde sıralanmaktadır: (Özsever, Gençoğlu & Erginel, 2009)

- **Konu Seçimi:** İlk aşamada, sorun teşkil eden ve iyileştirilmesi gereken konunun seçimi yapılmalıdır.
- **Ekip Oluşturma:** Uygulama için gerekli olan kişi sayısı kesin olmamakla birlikte, etkin bir yönetim için en az bir lider ve konuya hakim bir ekip üyesinin bulunması gerekmektedir.
- **Mevcut Durum Tespiti:** Ekip kurulduktan sonra, ekip liderinin yönlendirmeleri doğrultusunda, verilere dayalı ve spesifik bir mevcut durum analizi gerçekleştirilmelidir.

- **Proje Planı ve Kök Neden Analizi:** Mevcut durum tespit edildikten sonra, bir proje planı oluşturulmalı ve sorunun kök neden analizi yapılmalıdır.
- **Çözümlerin Uygulanması:** Kök neden analizi sonucunda belirlenen sorunların kaynaklarına inerek gerekli çözümler hayata geçirilir.
- **Hedef – Sonuç Kontrolü:** Problem çözme veya iyileştirme faaliyetleri neticesinde belirlenen hedeflere ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir. Bu aşamada kalite, iş güvenliği ve verimlilik unsurlarını olumsuz etkileyebilecek çözümlerin bulunmaması sağlanır.
- **Standartlaştırma:** Uygulanan problem çözümü veya iyileştirilmiş süreç, mevcut durumda en iyi sonuçları veriyorsa standart hale getirilmeli ve iş akışına dahil edilmelidir.
- **Yaygınlaştırma:** Problemin çözümü veya iyileştirilmesi ile ilgili diğer çalışanlara örnek oluşturması için uygulanan yol haritası ve Kaizen yönteminin nasıl uygulandığı anlatılmalıdır.
- **Sorgulama:** Problem çözümü veya iyileştirme sonrasında standartlaştırılan süreç sürekli olarak sorgulanmalı ve herhangi bir eksiklik tespit edildiğinde yeniden Kaizen uygulamasına geçilmelidir.

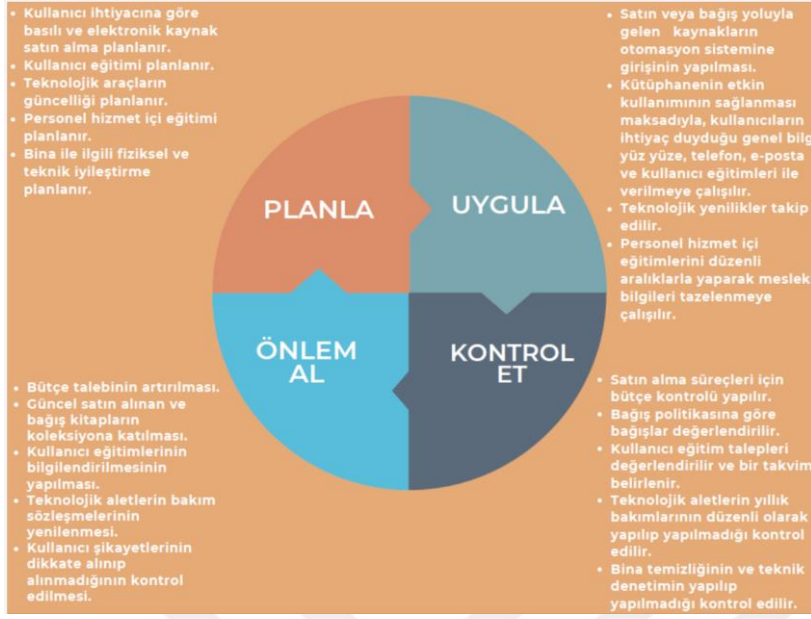
### 3.5.5. Kaizen Uygulamasının Faydaları

Kaizen, kalite ve verimlilik artışında önemli bir liderlik rolü üstlenir. İlk kez uygulandığı yerlerde, başlangıçta verimlilikte %30, %50 ve hatta %100 oranında artışlar gözlemlenmiştir. Kaizen, başabaş noktasını aşağı çekmeye yardımcı olur ve yönetimin müşteri ihtiyaçlarına daha duyarlı hale gelmesini sağlayarak, müşteri taleplerini öncelikli kılan bir sistem oluşturur.

Kaizen stratejisi, her bölümde ve elde edilen sonuçlarda gereken dikkati sağlamayı amaçlar. Süreçler, yapılan çalışmalar ve çalışanların katkılarıyla sürekli olarak iyileştirilir. Çalışanlar, yönetim tarafından ödüllendirilen bir sistemle motive edilmelidir. Çalışanların takdir edilmesi, gerçekleştirilen faaliyetlerin sonuçlarının takdir edilmesi ile karıştırılmamalıdır.

Üst kademelerde ise tasarım yaklaşımı, örneğin politika yayılımı, kalite yayılımı ve yedi yeni aracın kullanımı gibi yöntemlerle daha etkili sonuçlar verir; çünkü bu seviyeler, hedef belirleme ve bu hedef doğrultusunda araçları kullanma konusunda daha fazla odaklanmaktadır. (Erdeniz, 2018)

### 3.5.6. Kaizen Uygulamasının Bir Aracı: PUKÖ Döngüsü



Şekil 12. PUKÖ Döngüsü Kaynak: (DEÜ Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı)

Kaizen, temel uygulama yöntemleri arasında Kalite Kontrol çemberlerini, gürültü yönetimi (Jişu Konri) gruplarını ve sorunları çözmek için farklı yöntemleri benimseyen daha az sayıda bireyden oluşan takımları kullanır. Bu süreçte Planla, Uygula, Kontrol Et, Önle prensibi ön plana çıkar.

Grup üyeleri, yalnızca problemleri değil, aynı zamanda bu problemlerin nedenlerini, çözümlerini ve bu çözümlere ulaşmanın yollarını da belirlemekle yükümlüdür. Üyeler, hem karar alma hem de uygulama aşamasında aktif rol oynarlar. Döngü içerisinde Uygula aşamasında ayrıca bir PUKO (Planla, Uygula, Kontrol Et) bulunma olasılığı vardır. Kalite Kontrol grubu yalnızca sorunlar üzerinde yoğunlaşırken, KAİZEN tüm çalışanları çözüm sürecine dahil ederek onları teşvik eder. (Erdeniz, 2018).

- **Planla:** Döngünün en kritik aşaması olan planlama, hangi işlerin kimler tarafından, nerede, ne zaman, neden, ne kadar süre içinde ve hangi yöntemlerle gerçekleştirileceğini belirlemeyi içerir.
- **Uygula:** Döngünün ikinci aşaması, uygulama kısmıdır. Burada, planlama aşamasında tanımlanan tüm faaliyetlerin, belirlenen ölçütlere uygun şekilde hayata geçirilmesi

sağlanır. Elde edilen veriler, üçüncü aşamanın girdisini oluşturarak onun işlevselliğini artırır.

- **Kontrol Et:** Üçüncü aşama, kontrol sürecidir. Bu aşamada, planlanan hedeflere ne ölçüde ulaşıldığı değerlendirilir. Başka bir deyişle, performans ölçüm kontrollerinin yapıldığı aşamadır. İlk aşamada belirlenen hedeflere ulaşılmışsa, uygulama faaliyetlerinin kontrol edilmesi ve standartların oluşturulması gereklidir.
- **Önlem Al:** Döngünün son aşaması, önlem alma sürecidir. Uygulamanın istenen sonuçları vermediğinin kontrol aşamasında tespit edilmesi halinde, bu duruma yol açan tüm faktörler incelenir ve gerekli düzeltmeler yapılır. (Koca, 2023)

### 3.5.7. Kaizen Entegrasyonları

- **Kaizen ve Yenilik:** Japon kültüründe, kaizen ile yenilik arasında belirgin bir ayrım bulunmaktadır. Kaizen, süreçlerin kademeli olarak iyileştirilmesini ifade ederken, yenilik daha köklü ve radikal değişimleri temsil eder. Bu iki kavram arasındaki benzerlikler ve farklılıklar aşağıdaki gibi açıklanabilir: (Oliveira, Moreira, Alves, & Ferreira, 2019)

Her iki durumda da yeni yöneticiler genellikle başarmak istedikleri kendi önceliklerini sunarlar ve kuruluşun misyonu ile yönüne kendi etkilerini yansıtmaya eğilimindedirler. Üst yönetim, bazen istemeden, yeni fikirlerin uygulanmasına engel olarak, başarısızlık korkusuyla ve yeniliklere karşı ilgisizlik göstererek sürekli ilerleme ve yeniliği sınırlayabilir. (Özdağoğlu & Rebiş, 2016).

<b>Kriter</b>	<b>Kaizen</b>	<b>Yenilik</b>
1. Etki	Uzun vadeli, sürekli ancak heyecan yaratmayan	Kısa vadeli, ilgi çekici
2. İlerleme	Küçük ve düzenli adımlarla	Büyük ölçekli adımlarla
3. Tempo	Devamlı ve planlı bir şekilde gelişme	Ara sıra ve düzensiz ilerleme
4. Değişim	Kademeli ve sürekli dönüşüm	Bir anda ve geçici değişim
5. Katılım	Tüm çalışanların dahil olduğu	Sınırlı sayıda liderin katkısıyla
6. Yaklaşım	Ekip çalışması ve sistematik çabalar	Bireysel çabalar ve fikirler
7. Tarz	Koruma ve geliştirme odaklı	Yıkım ve yeniden oluşturma odaklı
8. Kısıtlılık	Geleneksel bilgiler ve modern yöntemler	Teknolojik yenilikler ve keşifler
9. Uygulama Gereksinimi	Küçük yatırımlar ve koruma odaklı yoğun çaba	Büyük yatırımlar ve az çaba
10. Çaba Yönelimi	İnsan emeği odaklı	Teknoloji odaklı
11. Değerlendirme Kriterleri	Daha iyi yöntem ve çabalar için sonuçlar	Kar amacı güden sonuçlar
12. Avantaj	Yavaş büyüyen ekonomilere uygun	Hızlı büyüyen ekonomilere uygun

Tablo 12. Kaizen ve Yenilik Kriterleri Kaynak: (Imai, 1999)

Kaizen ile Yenilik arasındaki bir diğer farklılık, her birinin odaklandığı çaba yönelimidir. Kaizen, insan kaynaklarına yapılan bir yatırım olarak değerlendirilir ve bu bağlamda insanı öncelikli hale getirir. Buna karşın Yenilik, teknolojiye ve finansal kaynaklara öncelik tanır. Kaizen, küçük ve aşamalı adımlarla ilerlerken, Yenilik, daha yüksek hedeflere ulaşmayı amaçlayarak, yatırım maliyetlerine rağmen ani ve büyük sıçramalar yapma hedefindedir. (Imai,1999).

- **Kaizen ve Yönetim:** Kaizen veya hızlı iyileştirme süreçleri, genellikle tüm yalın üretim yöntemlerinin ana yapı taşı olarak görülmektedir. Kaizen, bir organizasyonun hedeflediği faaliyetlerde ve süreçlerde israfların ortadan kaldırılmasına, verimliliğin artırılmasına ve sürekli bir gelişimin sağlanmasına odaklanır. Yalın üretim, kaizen veya sürekli iyileştirme anlayışı üzerine inşa edilmiştir. Bu felsefe, düzenli olarak gerçekleştirilen ve uzun bir süre boyunca sürdürülen küçük, kademeli değişimlerin önemli gelişmelere yol açabileceğini ifade eder. (Sevgili & Antmen, 2019).

Hızlı sürekli iyileştirme süreçleri, genellikle bir kuruluşun, çalışanların sorunları tespit etme ve çözme yetkisini destekleyen bir kültürü geliştirmesini gerektirir. Kaizen yaklaşımını uygulayan birçok organizasyon, açık bir şekilde iletilen ve eğitimle pekiştirilen yöntemler ile temel kurallar oluşturmuştur. Bir kaizen "etkinliği" düzenlemek için izlenmesi gereken ana adımlar aşağıda özetlenmiştir; ancak organizasyonlar genellikle bu adımları kendi özel koşullarına uyacak şekilde uyarlamakta ve sıralamaktadır. (Güner Gören, 2017).

- **Kaizen ve 5S:** 5S, özellikle insan unsurlarına odaklanan ve Kaizen'in temel bir bileşeni olarak görülen bir felsefedir. Kaizen, malzeme veya bilgi akışını (akış Kaizen) ya da bir iş sürecini (süreç Kaizen) optimize etmek amacıyla uygulanırken, 5S süreci standart kurallar ve prosedürler aracılığıyla bir çalışma kültürü geliştirmeyi amaçlar. 5S, Kaizen ile birleşerek gereksiz çabaları ortadan kaldırmayı, işleri "insan merkezli" hale getirmeyi ve çalışanların daha üretken ve mutlu olmasına yardımcı olmayı hedefler. 5S modeli, sürdürülebilir bir süreç oluşturmak için yapı, düzen, temizlik, standardizasyon ve disiplinli bir yaklaşımın önemini vurgular. (Maraşlı, Akça, & Kama, 2016).

**1.Seiri (Sıralama):** Seiri, çalışanların çalışma alanlarında yer alan gereksiz nesnelerin dikkatlerini dağıtarak üretkenliklerini azaltma fikrine dayanır. Farklı projelerin tamamlanma aşamalarının masada birikmesini engellemek amacıyla, öncelikli projeler klasörler halinde sıralanır ve en yüksek önceliğe sahip proje en üstte yer alır. Post-It notları da bu öncelik sırasına göre işlenir, dosyalanır veya ihtiyaç halinde atılır. Bu şekilde, çalışma alanınız gerçekten etkin bir biçimde çalışabileceğiniz bir alan haline gelir. (Güner Gören, 2017).

**2. Seiton (Sıralama):** Seiri, ekibi bir sonraki aşamaya hazırlarken, Seiton, nesnelere uygun eylem alanında yerleştirilmesini sağlar. Örneğin, bir süpermarkette, ürünler raflarda düzenli bir şekilde konumlandırıldığında, Seiton uygulaması devreye girer. Bu sayede, alışveriş yapanlar son kullanma tarihi yaklaşan ürünleri daha kolay bir şekilde bulabilir; aksi takdirde, bu ürünler atılmak zorunda kalabilir ve bu durum daha büyük bir verimsizliğe neden olabilir (Maraşlı, vd., 2016, s. 106). Ayrıca, verimliliği artırmak amacıyla işin ve gerekli ekipmanın yakın bir şekilde yerleştirilmesi de Seiton'un temel prensiplerindedir. Örneğin, bir reklam ajansı, işlerin düzenlenmesinde, projelerin ilişkili olduğu sektöre, müşteri portföyüne veya ekibin uzmanlık alanlarına göre bir sıralama yapabilir. Burada amaç, doğru işi gerçekleştirecek uygun kişileri, doğru araçlar ve bilgilerle destekleyerek süreçleri daha etkili hale getirmektir. (Maraşlı, Akça, & Kama, 2016).

**3. Seiso (Temizlik):** Seiso, temiz bir çalışma alanının daha güvenli olduğunu, dikkati dağıtan unsurları azalttığını ve temizlik işleminin, temizlenmesi gereken nesnelere dikkatli bir şekilde incelenmesini gerektirdiğini ifade eder. Hastane ortamları, yemek servisi, konaklama sektörü ve bilgisayar çipi üretimi gibi alanlarda temizlik ihtiyacı oldukça açıktır. Ayrıca, iş yerinin temiz tutulması sağlanan disiplin, hangi işin yapıldığına bakılmaksızın diğer verimlilik unsurlarında olumlu sonuçlar doğurur. Düzenli ve temiz bir çalışma alanı, elbette daha derli toplu ve güvenli bir ortam sunar; aynı zamanda çalışanlar arasında karşılıklı saygıyı artırır. (Güner Gören, 2017).

**4. Seiketsu (Standartlaştırma):** Standartlar, Kaizen veya sürekli iyileştirme stratejileriyle gerçekleştirilen 5S uygulamalarının yalnızca geçici değil, kalıcı hale gelmesine yardımcı olur. Standartlar her zaman belirlenen kurallara uygun bir şekilde uygulanmalıdır. Bir sürecin en verimli şekilde çalıştığı doğrulandığında, o süreç standartlaştırılır. Bu durum, sürekli olarak süreci baştan "yeniden tasarlama" gerekliliğini ortadan kaldırır. 5S yaklaşımını benimseyerek, süreçleri yenilikçi bir biçimde geliştirmek için gerekli zamanı tasarruflu kullanmak mümkün olur. (Maraşlı, Akça, & Kama, 2016).

**5. Shitsuke (Sürdürme):** Shitsuke, yeni süreçlerin benimsenmesi ve alışkanlık haline gelmesi için çaba gösterilen aşamadır. Yeni standart hale getirilmiş süreçlerin sürekli uygulanabilmesi, belli bir düzeyde disiplin gerektirmektedir; bu disiplin genellikle düzenli ölçümler ve periyodik denetimler ile desteklenir. Eğer Shitsuke aşaması ihmal edilirse, önceki dört aşamada edinilen tüm bilgiler kaybolma riski taşır. İyileştirmeler elde edildikten sonra

kayıtsız kalmak ve sürekli iyileştirmenin "sürekli" kısmını unutmak oldukça kolaydır. (Güner Gören, 2017).

### 3.5.8. Kaizen Türleri:

**3.5.8.1. Kaizen Kobetsu:** Kobetsu-Kaizen, yöneticilerden oluşan proje ekipleri ve küçük atölye grupları aracılığıyla uygulanan faaliyetlerin biçimini temsil eder: (Indrawati & Ridwansyah, 2015; Erdeniz, 2018)

Yönetici basamak üyeleri tarafından “Kobetsu-Kaizen” uygulama prosedürleri aşağıdaki gibidir: (Güzel, Kabakuş, & Şirin, 2018)

- Model ekipmanın belirlenmesi
- Bir model ekipman veya üretim hattının seçimi
- Proje ekibinin organizasyonunun oluşturulması
- Bölüm yöneticisi ile birkaç üye arasındaki ekip yapısının kurulması
- Model ekipmanın liderlik rolünü üstlenen kişinin sorumlulukları
- Büyük israfların tanımlanması ve doğrulanması
- Tanıtım programının temasıyla ilgili karar alınması ve hazırlanması
- Toplam Ekipman Etkinliği (TEE) geliştirilmesi için standartlaştırma ve yatay evrimin gerçekleştirilmesi

Atık malzemelerin azaltılmasına, düzenli iş süreçlerinin uygulanmasına ve iş akışlarının bilgisayar yazılımları ile kontrol edilmesine odaklanan yazarlar, bu uygulamaların İtalyan ayakkabı sektöründe başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini ve diğer üretim alanlarında da kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bilgisayar tabanlı yalın üretim yönteminin, kalite ve üretim sürelerinde önemli iyileştirmeler sağladığı gözlemlenmiştir. Üretim performansını artırmak amacıyla, bilgisayar destekli değer akış haritalama yöntemi ile Kobetsu Kaizen'in birlikte kullanılması sonucu, kalitede %0,2 ve verimlilikte %60'a kadar artış elde edilmiştir. (Gunasekaran, Subramanian, & Yusuf, 2018).

**3.5.8.2. Gemba Kaizen:** Gemba, Japonca'da “gerçek alan” veya gerçek faaliyetlerin gerçekleştiği yer anlamına gelmektedir. Japonlar bu terimi günlük yaşamlarında da sıkça kullanmaktadır. Gemba Kaizen, sorunların kaynağına inerek yerinde çözümler geliştirmeyi hedefler. (Imai, 1986).

Gemba Kaizen uygulamalarının hayata geçirilmesi için on temel ilke belirlenmiştir:

- Üretime dair geleneksel ve katı düşüncelerin bir kenara bırakılması gerekmektedir.
- “Bu nasıl gerçekleştirilebilir?” ve “Neden gerçekleştirilemez?” soruları üzerinde düşünülmelidir.
- Bahanelere yer vermeden mevcut uygulamalar sorgulanarak başlanmalıdır.
- Mükemmellik peşinde koşmadan, hedefin en az %50’si için bile olsa hemen harekete geçilmelidir.
- Hatalar tek bir seferde düzeltilmelidir.
- Kaizen uygulamaları için harcama yapılmamalıdır.
- Zorluklarla karşılaşmanın yeni fikirlerin ortaya çıkmasına yardımcı olacağı unutulmamalıdır.
- Nedenlerin araştırılması amacıyla beş kez “Neden?” sorusu sorulmalıdır.
- On kişilik bir grubun bilgeliği yerine, tek bir kişiden bilgi alınmalıdır.
- Kaizen fikirlerinin sınırsız olduğu bilinmelidir. (Wittenberg, 1994).

### **3.5.8.3. Akış Kaizen:**

Süreçlerdeki darboğazları ve israfı ortadan kaldırmak için süreç akışının optimize edilmesidir. Örnek olarak Toyota, montaj hattındaki süreç akışını optimize ederek üretim süresini %20 kısaltmıştır. (Ohno, 1988).

### **3.5.8.4. Proses Kaizen:**

Belirli bir süreç veya iş adımının detaylı bir şekilde incelenerek iyileştirilmesidir. Örnek olarak Nestlé, paketleme süreçlerini Kaizen prensipleriyle geliştirerek üretim hızını artırmıştır. (Nestlé, 2019).

## **3.5.9 Tarihsel Evrimi ve Kaizen’in Yayılması**

### **Japonya’daki Kökenleri:**

Kaizen, II. Dünya Savaşı sonrasında Japonya’da ekonomik kalkınmayı hızlandırmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Japonya, savaş sonrası dönemde üretim sistemlerini yeniden yapılandırırken Amerikan yönetim bilimcilerinin önerilerini benimsemiş, ancak bunları kendi kültürel

dinamiklerine uyarlamıştır. Kaizen, Japonya'nın savaş sonrası yeniden yapılanma döneminde üretim süreçlerini iyileştirme ihtiyacına yanıt olarak doğmuştur. (Ohno, 1988).

### **Taiichi Ohno ve Toyota:**

Toyota Üretim Sistemi'nin yaratıcısı Taiichi Ohno, Kaizen prensiplerini yalın üretim felsefesine entegre etmiş ve bu sayede şirketin küresel bir lider olmasını sağlamıştır. Toyota, Kaizen felsefesini üretim süreçlerinde kullanarak hata oranlarını azaltmış ve verimliliği artırmıştır. (Ohno, 1988).

### **Masaaki Imai ve Globalleşme:**

Kaizen, Masaaki Imai'nin 1986 yılında yayımladığı *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success* adlı kitabıyla dünya çapında tanınmıştır. Bu kitap, Kaizen'in temel prensiplerini ve uygulama yöntemlerini açıklayarak, felsefenin diğer ülkelerde benimsenmesine katkıda bulunmuştur. Masaaki Imai, Kaizen'i küresel bir yönetim stratejisi haline getirmiştir. (Imai, 1986).

### **3.5.10. Kaizen'in Temel Prensipleri**

- **Sürekli İyileştirme:**

Her zaman daha iyisini yapmak ve süreçlerdeki israfı ortadan kaldırmak.

Kaizen, küçük adımlarla sürekli iyileştirmeyi teşvik eden bir yönetim felsefesidir. (Evans & Lindsay, 2008).

- **Çalışan Katılımı:**

Kaizen, tüm çalışanların süreç iyileştirme çabalarına katılmasını teşvik eder.

Kaizen, çalışanların katkılarını değerlendirerek süreçlerde kolektif bir iyileştirme sağlar. (Ohno, 1988).

- **Takım Çalışması:**

Takım çalışması yoluyla fikirlerin paylaşılması ve yeniliklerin teşvik edilmesi.

Takım çalışması, Kaizen'in organizasyonel düzeyde başarıya ulaşmasını sağlayan bir unsurdur. (Imai, 1986).

- **Müşteri Odaklılık:**

Kaizen, süreçleri iyileştirerek müşteri memnuniyetini artırmayı hedefler.

Müşteri odaklılık, Kaizen'in temel taşıdır ve süreçlerin iyileştirilmesindeki ana motivasyondur. (Juran, 1995).

### 3.5.11. Kaizen Uygulama Alanları

- **Üretim Sektörü:**

Kaizen, üretim süreçlerinde israfı önlemek, kaliteyi artırmak ve verimliliği artırmak için kullanılır.

Örnek: Toyota, üretim süreçlerinde Kaizen uygulamalarıyla maliyetleri %30 azaltmıştır. (Ohno, 1988).

- **Hizmet Sektörü:**

Bankacılık, sağlık ve perakende gibi hizmet sektörlerinde müşteri deneyimini iyileştirmek için Kaizen uygulanır.

Örnek: Bir hastane, Kaizen prensiplerini ameliyathane düzenlemesinde kullanarak operasyon sürelerini kısaltmıştır.

- **Lojistik ve Tedarik Zinciri:**

Tedarik zinciri yönetiminde süreçleri optimize etmek ve maliyetleri düşürmek için Kaizen yöntemleri kullanılır.

Örnek: Arçelik, tedarik zincirinde Kaizen uygulayarak teslimat sürelerini %15 iyileştirmiştir. (Arçelik, 2019).

- **Sağlık Hizmetleri:**

Kaizen, sağlık hizmetlerinde süreçlerin iyileştirilmesi ve hasta memnuniyetinin artırılması için uygulanır.

Kaizen, sağlık sektöründe süreç verimliliğini artırmak ve hasta güvenliğini sağlamak için etkili bir araçtır. (Evans & Lindsay, 2008).

### 3.5.12. Türkiye’de Kaizen Uygulamaları

- **TOFAŞ:**

TOFAŞ, Kaizen prensiplerini üretim süreçlerine entegre ederek verimliliği artırmıştır. Tofaş, Kaizen uygulamalarıyla üretim hatlarındaki verimliliği %25 artırmıştır. (TOFAŞ, 2020).

- **Arçelik:**

Arçelik, Kaizen yöntemlerini kullanarak enerji tüketimini azaltmış ve üretim süreçlerinde kaliteyi artırmıştır. Arçelik, Kaizen ile iş süreçlerini optimize ederek maliyetleri %20 oranında düşürmüştür. (Arçelik, 2019).

- **Vestel:**

Vestel, üretim hattında Kaizen uygulayarak kalite kontrol süreçlerini iyileştirmiştir. Vestel, Kaizen ile üretim hatlarındaki hata oranlarını %15 azaltmıştır. (TTGV, 2020).

### 3.5.13. Kaizen Avantajları ve Zorlukları

#### Avantajları:

- Süreçlerde sürekli iyileştirme sağlar.
- İsrافی önler ve maliyetleri düşürür.
- Çalışanların katılımını ve motivasyonunu artırır.
- Müşteri memnuniyetini artırır.

#### Zorlukları:

- Süreçlerin sürekli izlenmesi ve iyileştirilmesi zaman alıcı olabilir.
- Çalışanların değişime direnç göstermesi olasıdır.
- Uygulama sürecinde uzmanlık ve eğitim gereklidir.

Kaizen, modern kalite yönetimi ve üretim süreçlerinde kritik bir araçtır. Sürekli iyileştirme felsefesi, organizasyonların rekabet gücünü artırırken, Toyota, GE, Nestlé gibi dünya liderleri bu yöntemi başarıyla kullanarak operasyonel başarılar elde etmişlerdir. Türkiye’de ise

TOFAŞ, Arçelik ve Vestel gibi şirketler, Kaizen'i süreçlerine entegre ederek kaliteyi artırmış ve maliyetleri düşürmüştür.



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### 4. LİTERATÜR GELİŞİMİ

#### 4.1. Endüstri 4.0: Tanımı ve Gelişimi

Endüstri 4.0, üretim süreçlerinin dijitalleşmesini ve otomasyonunu ifade eden bir kavramdır. Bu dönüşüm, üretim süreçlerinin daha esnek, verimli ve müşteri odaklı hale gelmesini sağlamaktadır. Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri arasında siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği, yapay zeka ve akıllı fabrikalar bulunmaktadır.

##### 4.1.1. 1990'lı Yıllar: Dijitalleşme ve Otomasyonun Temelleri

1990'lı yıllarda, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte üretim süreçlerinde dijitalleşme başlamıştır. Bu dönemde, bilgisayar entegrasyonlu üretim sistemleri (CIM) ile üretim süreçlerinin otomasyonu hedeflenmiştir. Davis (1990), bilgisayar entegrasyonlu üretim sistemlerinin üretim süreçlerindeki verimliliği artırdığını ve esnek üretim sistemlerinin temelini oluşturduğunu belirtmiştir.

Bilgisayar entegrasyonlu üretim sistemleri, üretim süreçlerinin daha esnek ve verimli hale gelmesini sağlar. Bu sistemler, üretim hattındaki süreçlerin otomatik kontrolünü ve izlenmesini mümkün kılarak üretim verimliliğini artırır. (Davis, 1990).

##### 4.1.2. 2000'li Yıllar: Siber-Fiziksel Sistemlerin Ortaya Çıkışı

2000'li yılların başlarında, siber-fiziksel sistemlerin (CPS) üretim süreçlerine entegrasyonu, Endüstri 4.0'ın temel taşlarından biri haline gelmiştir. Lee ve arkadaşları (2002), siber-fiziksel sistemlerin üretim süreçlerinde gerçek zamanlı izlenebilirlik ve karar verme imkanı sunduğunu belirtmiştir.

Siber-fiziksel sistemler, fiziksel süreçleri dijital sistemlerle birleştirerek üretim süreçlerinde gerçek zamanlı izlenebilirlik ve karar verme imkanı sunar. Bu sistemler, özellikle üretim hatlarında verimliliği artırma ve esnekliği sağlama açısından kritik bir rol oynar. (Lee et al., 2002).

#### **4.1.3. 2010'lar: Endüstri 4.0'ın Tanımlanması ve Globalleşmesi**

2011 yılında Almanya'da düzenlenen Hannover Fuarı'nda Endüstri 4.0 terimi resmen tanımlanmış ve Almanya'nın bu sürecin öncüsü olduğu vurgulanmıştır. Hermann ve arkadaşları (2016), Endüstri 4.0'ın dört temel prensibini şu şekilde açıklamaktadır: Endüstri 4.0'ın dört temel prensibi vardır: birbirine bağlılık, bilgi şeffaflığı, teknik destek ve merkeziyetsiz karar verme. Bu prensipler, üretim süreçlerini daha esnek, verimli ve sürdürülebilir hale getirir. (Hermann et al., 2016).

#### **4.1.4. 2020 ve Sonrası: Pandemi ve Dijitalleşmenin Hızlanması**

COVID-19 pandemisi, Endüstri 4.0'ın önemini daha da artırmıştır. Schlechtendahl ve arkadaşları (2021), pandeminin dijitalleşmeye etkisini şöyle ifade etmektedir: Pandemi sırasında dijital teknolojiler, uzaktan çalışma ve üretim süreçlerinde kesintisizliği sağlama açısından kritik bir rol oynadı. IoT ve robotik otomasyon gibi Endüstri 4.0 bileşenleri, üretim hatlarında insan temasını minimuma indirerek güvenliği artırdı. (Schlechtendahl vd., 2021).

#### **4.1.5. Türkiye'deki Uygulamalar**

Türkiye'de Endüstri 4.0 uygulamaları, sanayi sektöründe rekabet gücünü artırmak ve üretim verimliliğini yükseltmek amacıyla hızla benimsenmektedir. Özellikle otomotiv, beyaz eşya ve tekstil sektörlerinde dijital dönüşüm projeleri hayata geçirilmektedir.

Arçelik, üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanarak verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Şirket, akıllı fabrikalar ve dijital ikiz uygulamalarıyla üretim süreçlerini optimize etmektedir. Arçelik'in 2019 yılı sürdürülebilirlik raporunda, dijital dönüşüm stratejileriyle üretim süreçlerinde %30'a varan verimlilik artışı sağlandığı belirtilmiştir. Arçelik, dijital dönüşüm stratejileri kapsamında akıllı fabrikalar ve dijital ikiz uygulamalarıyla üretim süreçlerinde %30'a varan verimlilik artışı sağlamıştır. (Arçelik, 2019).

TOFAŞ, üretim hatlarında IoT ve büyük veri analitiği kullanarak üretim süreçlerini izlemekte ve optimize etmektedir. Şirket, 2020 yılında üretim süreçlerinde dijitalleşme projeleriyle hata oranlarını %25 azaltmayı başarmıştır. TOFAŞ, üretim hatlarında IoT ve büyük veri analitiği kullanarak üretim süreçlerinde hata oranlarını %25 azaltmıştır. (TOFAŞ, 2020).

Vestel, akıllı üretim sistemleri ve robotik otomasyon uygulamalarıyla üretim kapasitesini artırmaktadır. Şirket, 2021 yılında üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 uygulamalarıyla enerji

tüketimini %15 azaltmıştır. Vestel, akıllı üretim sistemleri ve robotik otomasyon uygulamalarıyla enerji tüketimini %15 azaltmıştır. (Vestel, 2021).

Türk Traktör, üretim süreçlerinde dijitalleşme projeleriyle üretim verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Şirket, 2022 yılında üretim hatlarında dijital ikiz uygulamalarıyla üretim verimliliğini arttırmıştır.

Türkiye'deki sanayi kuruluşları, Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseyerek küresel pazarlarda rekabet avantajı elde etmeyi hedeflemiştir. Çetin ve arkadaşları (2022), bu süreci şu şekilde değerlendirmiştir:

Türkiye'de, Endüstri 4.0 teknolojileri, özellikle büyük veri analitiği ve IoT uygulamalarıyla kalite kontrol süreçlerinde önemli iyileştirmeler sağlamıştır. Örneğin, otomotiv sektöründe TOFAŞ gibi firmalar, dijitalleşme stratejilerini uygulayarak üretim verimliliğini artırmıştır. (Çetin vd., 2022).

## **4.2. Kalite Kontrol ve Endüstri 4.0 Kesişimi**

Kalite kontrol, sanayi devriminden itibaren üretim süreçlerinin ayrılmaz bir parçası olmuş ve zamanla bilimsel yöntemlerin etkisiyle modern bir yapıya bürünmüştür. Bu süreçte, Endüstri 4.0 teknolojilerinin etkisiyle kalite kontrol, gerçek zamanlı izleme, büyük veri analitiği ve robotik otomasyon gibi unsurlarla yeniden şekillenmiştir. 1900'lerden itibaren kalite kontrolün tarihsel gelişimi, bu değişimin temel taşlarını oluşturmaktadır.

### **4.2.2. 20. Yüzyılın Başları: Kalite Kontrolün İlkeleri ve Bilimsel Yönetim**

Kalite kontrolün başlangıcı, Frederick Taylor'ın bilimsel yönetim anlayışıyla bağlantılıdır. Taylor (1911), üretim süreçlerinde iş bölümünün ve sistematik kontrolün önemini şu şekilde açıklamıştır: İş gücü verimliliğini artırmanın temel yolu, bilimsel yöntemlere dayalı bir süreç analizidir. Bu yöntem, yalnızca üretim maliyetlerini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda üretim hattındaki kaliteyi sürekli izlemeyi mümkün kılar. (Taylor, 1911).

Walter Shewhart, 1924 yılında istatistiksel kalite kontrolün (SPC) temellerini atarak modern kalite kontrol yaklaşımlarının başlangıcını yapmıştır. Shewhart'ın çalışmaları, kontrol şemalarının kullanılabilirliğini artırmıştır: Kontrol şemaları, üretim süreçlerindeki varyasyonları tespit ederek, süreç performansını optimize eder. Bu yöntem, yalnızca üretim

hatalarından kaçınmayı değil, aynı zamanda kalite standartlarının sürekli iyileştirilmesini sağlar. (Shewhart, 1924).

1931 yılında Shewhart, Economic Control of Quality of Manufactured Product adlı eserinde kalite kontrolün ekonomik boyutlarını açıklamış ve süreçlerin daha verimli hale getirilmesini hedeflemiştir.

#### **4.2.3. 1950'ler: Kalite Yönetiminin Japonya'daki Gelişimi**

İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japonya, W. Edwards Deming ve Joseph Juran gibi isimlerin katkılarıyla kalite yönetimi alanında önemli adımlar atmıştır. Deming'in geliştirdiği PUKO döngüsü, sürekli iyileştirme felsefesinin temelini oluşturmuştur: PUKO döngüsü, kalite yönetim süreçlerinde hataların sistematik olarak tespit edilmesi ve iyileştirilmesi için uygulanabilir bir yöntemdir. Bu yöntem, yalnızca kaliteyi artırmakla kalmaz, aynı zamanda organizasyonel başarıyı da destekler. (Deming, 1950).

Joseph Juran ise kaliteyi stratejik bir yönetim aracı olarak tanımlamış ve müşteri odaklı bir yaklaşım önermiştir: Kalite yönetimi, yalnızca üretim süreçlerini değil, aynı zamanda organizasyonel yapıları da etkileyen bir disiplindir. Kalite, müşteri beklentilerini sürekli olarak karşılayan ve aşan süreçlerin bir sonucudur. (Juran, 1954).

#### **4.2.4. 1980 ve 1990'lar: Dijitalleşme ve Kalite Kontrolde Otomasyon**

1980'lerde bilgisayar destekli üretim sistemlerinin (CAD/CAM) gelişimi, kalite kontrol süreçlerinde devrim yaratmıştır. Davis (1987), bu teknolojilerin üretim üzerindeki etkisini şu şekilde açıklamıştır: Bilgisayar destekli üretim sistemleri, kalite kontrol süreçlerini otomatikleştirerek, insan hatalarını en aza indirir. Bu sistemler, aynı zamanda üretim süreçlerinin daha hızlı ve verimli hale gelmesini sağlar. (Davis, 1987).

1990'larda siber-fiziksel sistemler (CPS) kalite kontrol süreçlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Lee ve arkadaşları (1995), bu teknolojilerin süreç iyileştirme üzerindeki etkisini şöyle ifade etmektedir: Siber-fiziksel sistemler, üretim süreçlerindeki anormallikleri anında tespit ederek, süreç performansını optimize eder. Bu, kalite kontrol süreçlerinin daha hassas ve güvenilir hale gelmesini sağlar. (Lee et al., 1995).

#### 4.2.5. 2010 ve Sonrası: Endüstri 4.0 ile Kalite Kontrolün Yeniden Tanımlanması

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkması, kalite kontrol süreçlerini kökten değiştirmiştir. Hermann ve arkadaşları (2016), bu dönüşümü şu şekilde açıklamaktadır: Endüstri 4.0 teknolojileri, üretim süreçlerini dijitalleştirerek kalite kontrol süreçlerinde hız ve verimlilik sağlar. Yapay zeka, büyük veri analitiği ve IoT gibi teknolojiler, süreçlerin anlık olarak izlenmesini ve hataların önlenmesini mümkün kılar. (Hermann et al., 2016).

#### 4.2.6. Türkiye'deki Uygulamalar

Türkiye'deki Endüstri 4.0 ve kalite kontrol entegrasyonu, büyük sanayi kuruluşları tarafından öncülük edilen projelerle dikkat çekmektedir. Bu projeler, uluslararası standartlara uygun üretim süreçlerini desteklerken kalite kontrol süreçlerinde dijital dönüşümü hızlandırmıştır.

- **TOFAŞ: Otomotiv Sektöründe Dijital Dönüşüm** TOFAŞ, Türkiye'de Endüstri 4.0 teknolojilerinin öncülerinden biri olarak, kalite kontrol süreçlerini büyük veri analitiği ve IoT cihazlarıyla yeniden tanımlamıştır:

TOFAŞ, üretim hatlarında IoT cihazlarını kullanarak, kalite kontrol süreçlerini otomatikleştirmiştir. Bu süreçte kullanılan sensörler ve veri analitik araçları, üretim hatlarındaki hataları anlık olarak tespit etmekte ve ilgili birimlere raporlamaktadır. 2020 yılı itibarıyla uygulanan bu teknoloji sayesinde, üretim hatlarındaki hata oranları %20 oranında azaltılmıştır. Ayrıca, bu teknolojiler, üretim süreçlerinin daha izlenebilir hale gelmesini sağlamış ve müşteri şikayet oranlarında %15'lik bir düşüşe yol açmıştır. (TOFAŞ, 2020).

- **Arçelik: Beyaz Eşya Sektöründe Akıllı Kalite Kontrol** Arçelik, Endüstri 4.0 uygulamalarını üretim süreçlerine entegre ederek, kalite kontrol sistemlerini optimize etmiştir:

Arçelik, üretim süreçlerinde kullanılan sensör teknolojileri ve yapay zeka tabanlı kalite kontrol sistemleri ile üretim süreçlerindeki sapmaları anlık olarak tespit edebilmekte ve düzeltici önlemleri hızla uygulamaktadır. Örneğin, akıllı fabrikalarında kullanılan robotik otomasyon sistemleri, üretim hatlarındaki ürünlerin boyutsal ve fiziksel uygunluğunu kontrol etmekte ve kalite standartlarının sağlanmasını güvence altına almaktadır. Bu teknoloji, üretim sürecindeki hata oranlarını %25 azaltmış ve üretim maliyetlerinde %10'luk bir tasarruf sağlamıştır. (Arçelik, 2019).

- **Vestel: Robotik Otomasyon ve Büyük Veri Kullanımı** Vestel, özellikle televizyon ve elektronik cihaz üretiminde kalite kontrol süreçlerini robotik otomasyon ve büyük veri analitiği ile dönüştürmüştür:

Vestel, üretim süreçlerinde kullanılan robotik otomasyon sistemleri ile kalite kontrol süreçlerini optimize etmiştir. Bu sistemler, üretim hattındaki ürünlerin kalite standartlarına uygunluğunu milimetrik hassasiyetle değerlendirmekte ve hatalı ürünlerin ayrıştırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, büyük veri analitiği ile süreç performansı sürekli olarak izlenmekte ve bu veriler, kalite yönetim sistemlerinde iyileştirme fırsatlarını belirlemek için kullanılmaktadır. 2021 itibarıyla bu teknolojiler, üretim süreçlerinde enerji tüketimini %15 azaltmış ve ürün hata oranını %30 oranında düşürmüştür. (Vestel, 2021).

- **Aselsan: Savunma Sanayinde Yüksek Teknoloji** Türkiye'nin savunma sanayi devi Aselsan, kalite kontrol süreçlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerini en üst düzeyde kullanmaktadır:

Aselsan, üretim süreçlerinde kullanılan siber-fiziksel sistemler ve yapay zeka tabanlı analiz araçlarıyla kalite kontrol süreçlerini güçlendirmiştir. Özellikle askeri ekipman üretiminde, siber güvenlik ve veri analitiği araçları, ürünlerin kalite standartlarına uygunluğunu güvence altına almakta ve süreçlerdeki hata oranlarını minimuma indirmektedir. Bu teknolojiler, üretim maliyetlerini düşürürken, kalite standartlarının tutarlılığını artırmak için stratejik bir avantaj sağlamıştır. (Aselsan, 2021).

#### **4.3. Altı Sigma, 5S, Kaizen ve Kaizen'in Gelişimi**

Kalite yönetim araçları olan Altı Sigma, 5S ve Kaizen, sanayi süreçlerini iyileştirme ve standartlaştırma hedefiyle geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar, sanayi devriminin başlangıcından itibaren kalite ve verimlilik odaklı yönetim felsefelerinin bir evrimi olarak kabul edilmektedir. Modern dönemde, Endüstri 4.0 teknolojileriyle birleşerek daha etkili bir hal almışlardır. 1900'lerden günümüze, bu yöntemlerin gelişimi ve uygulamaları, üretim sistemlerinde sürekli iyileştirme sağlayarak önemli katkılar sunmuştur.

#### **4.3.1. 20. Yüzyılın Başları: Bilimsel Yönetim ve Kaliteye Odaklanma**

20. yüzyılın başında, Frederick Taylor'ın bilimsel yönetim anlayışı, iş süreçlerinde verimliliği artırmayı hedefleyen sistematik bir yaklaşım sundu. Taylor, iş gücü organizasyonunda ve süreç tasarımında standardizasyonun önemini şu şekilde ifade etmiştir: Bilimsel yönetim, iş süreçlerinin verimliliğini artırmak ve üretim hatalarından kaçınmak için gereken ilkeleri sağlar. Bu yöntem, yalnızca süreç performansını artırmakla kalmaz, aynı zamanda üretim kalitesini de iyileştirir.(Taylor, 1911).

1920'lerde Walter Shewhart, kalite kontrolün bilimsel temellerini atarak istatistiksel süreç kontrol (SPC) kavramını geliştirmiştir. Shewhart'ın çalışmaları, kalite kontrol süreçlerinin matematiksel bir disipline dönüşmesini sağlamıştır: İstatistiksel yöntemler, kalite kontrol süreçlerinde rastgele varyasyonları anlamamızı ve kontrol etmemizi sağlar. Bu, süreçlerin sürekli iyileştirilmesi için kritik bir araçtır. (Shewhart, 1924).

#### **4.3.2. 1950'ler: Japonya'da Kalite Devrimi**

İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde, Japonya kalite yönetiminde devrim niteliğinde adımlar atmıştır. W. Edwards Deming ve Joseph Juran, Japon endüstrisine kalite yönetiminin temel ilkelerini kazandırmış ve Kaizen felsefesinin temelini atmışlardır. Deming, sürekli iyileştirmenin önemini şu şekilde ifade etmiştir: Kalite, sürekli iyileştirme çabalarıyla gelişir. Üretim süreçleri, düzenli analiz ve iyileştirme döngüleriyle optimize edilmelidir. (Deming, 1950).

Kaizen, bu dönemde Toyota Üretim Sistemi'nin bir parçası olarak geliştirildi ve organizasyon genelinde küçük iyileştirme adımlarıyla büyük sonuçlar elde etmeyi hedefledi. Masaaki Imai, Kaizen'i şu şekilde tanımlar: Kaizen, küçük ama sürekli iyileştirme çabalarıyla süreçlerin performansını artırmayı hedefler. Bu yöntem, çalışanların katılımını teşvik ederek organizasyonel başarıyı artırır. (Imai, 1986).

#### **4.3.3. 1980 ve 1990'lar: Altı Sigma ve 5S'in Küresel Yükselişi**

1980'lerde Motorola tarafından geliştirilen Altı Sigma, süreçlerdeki hataları azaltmak için istatistiksel bir yöntem olarak ortaya çıktı. Altı Sigma'nın DMAIC döngüsü, süreçleri optimize etmek için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Harry ve Schroeder (2000), bu yöntemi şu şekilde açıklamaktadır: Altı Sigma, süreç performansını ölçmek ve iyileştirmek

için veri odaklı bir yaklaşımdır. Bu yöntem, süreçlerdeki sapmaları analiz ederek hataları en aza indirir ve müşteri memnuniyetini artırır. (Harry & Schroeder, 2000).

Aynı dönemde, Toyota Üretim Sistemi içinde geliştirilen 5S, iş yerinde düzen ve temizliği sağlamak için küresel bir standart haline geldi. 5S'in uygulama ilkeleri, üretim süreçlerindeki verimliliği artırmayı hedeflemektedir: 5S, iş yerindeki gereksiz unsurları ortadan kaldırmak ve süreçlerde düzeni sağlamak için kullanılan bir yönetim felsefesidir. Bu yöntem, yalın üretim anlayışının temel taşlarından biridir. (Imai, 1986).

#### **4.3.4. 2000 ve Sonrası: Endüstri 4.0 ile Entegrasyon**

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışı, Altı Sigma, 5S ve Kaizen gibi yöntemlerin dijitalleşmesini sağlamıştır. Büyük veri analitiği, IoT ve yapay zeka, bu yöntemlerin daha etkin uygulanmasını mümkün kılmıştır. Hermann ve arkadaşları (2016), bu dönüşümü şu şekilde ifade etmektedir: Endüstri 4.0, kalite yönetim araçlarını otomasyon ve veri analitiği ile birleştirerek daha hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Bu, süreç iyileştirme çabalarına hız kazandırır. (Hermann vd., 2016).

#### **4.3.5. Türkiye'deki Uygulamalar**

Türkiye'de Altı Sigma, 5S ve Kaizen, büyük sanayi kuruluşları tarafından yaygın olarak uygulanmaktadır:

- **TOFAŞ: Kaizen ve Dijitalleşme**

TOFAŞ, Kaizen prensiplerini üretim süreçlerine entegre ederek, çalışan katılımını artırmış ve süreç iyileştirmelerine yönelik bir kültür oluşturmuştur. Bu süreçte, Endüstri 4.0 teknolojileri ile Kaizen uygulamalarını birleştirerek, üretim hatalarındaki oranı %15 düşürmüştür. (TOFAŞ, 2020).

- **Arçelik: 5S ve Altı Sigma**

Arçelik, 5S yöntemini iş yerinde düzen ve temizliği sağlamak için kullanmıştır. Aynı zamanda Altı Sigma projeleri ile süreçlerdeki hata oranlarını %30 oranında azaltarak üretim verimliliğini artırmıştır. (Arçelik, 2019).

- **Vestel: Yalın Üretim ve Dijitalleşme**

Vestel, üretim süreçlerinde robotik otomasyon sistemlerini kullanarak 5S uygulamalarını daha hızlı ve etkili hale getirmiştir. Bu, süreçlerin performansını artırırken maliyetleri düşürmüştür. (Vestel, 2021).

#### **4.4. Endüstri 4.0 ile Altı Sigma, 5S ve Kaizen'in Kesişimi**

Endüstri 4.0, üretim süreçlerinin dijitalleşmesi ve otomasyonu ile birlikte gelen bir devrimdir. Bu süreç, kalite yönetim araçlarının (Altı Sigma, 5S ve Kaizen gibi) daha etkili ve verimli bir şekilde uygulanmasını sağlamıştır. Teknolojik gelişmeler, bu araçların kapsamını genişletmiş ve Endüstri 4.0'in bileşenleri ile entegrasyonlarını mümkün kılmıştır.

##### **4.4.1. Altı Sigma ve Endüstri 4.0 Kesişimi**

Altı Sigma, süreçlerdeki sapmaları analiz ederek hataları en aza indirmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Endüstri 4.0 teknolojileri, Altı Sigma araçlarının daha hızlı ve etkili uygulanmasını mümkün kılar. Örneğin, büyük veri analitiği, süreç performansını ölçmek ve iyileştirmek için gereken verileri hızlı bir şekilde sağlar. Kusiak (2018), bu durumu şu şekilde açıklamaktadır: Endüstri 4.0, Altı Sigma'nın veri odaklı yaklaşımını güçlendirir. Büyük veri analitiği ve yapay zeka, süreçlerdeki sapmaları gerçek zamanlı olarak analiz eder ve sorunların kök nedenlerini hızlı bir şekilde belirler. (Kusiak, 2018).

##### **4.4.2. 5S ve Endüstri 4.0 Kesişimi**

5S, iş yerinde düzen ve temizliği sağlamayı hedeflerken, Endüstri 4.0 teknolojileri bu süreci daha sistematik hale getirmiştir. Özellikle IoT ve robotik otomasyon, 5S uygulamalarını optimize etmektedir. Hermann ve arkadaşları (2016), bu dönüşümü şu şekilde ifade etmektedir: IoT sensörleri, 5S ilkelerinin uygulanmasını kolaylaştırır. Örneğin, Seiri (Sınıflandır) ve Seiton (Düzenle) aşamalarında IoT cihazları, gereksiz malzemelerin tespit edilmesini ve düzenli bir şekilde depolanmasını sağlar. (Hermann vd., 2016).

##### **4.4.3. Kaizen ve Endüstri 4.0 Kesişimi**

Kaizen, sürekli iyileştirme odaklı bir yönetim felsefesidir. Endüstri 4.0 teknolojileri, Kaizen uygulamalarında çalışanların katılımını artırmış ve süreç iyileştirme çabalarını hızlandırmıştır. Lu ve arkadaşları (2017), bu durumu şu şekilde açıklamaktadır: Gerçek zamanlı veri analitiği, Kaizen'in sürekli iyileştirme döngülerine yeni bir boyut kazandırır. IoT cihazları ve yapay

zeka, üretim süreçlerindeki anormallikleri tespit ederek düzeltici eylemleri otomatikleştirir. (Lu vd., 2017).

#### **4.4.4. Türkiye’de Uygulamalar**

Türkiye, Endüstri 4.0 teknolojilerini kalite yönetim araçlarıyla birleştirerek süreçlerini optimize eden birçok sektöre sahiptir:

##### **TOFAŞ: Altı Sigma ve Dijitalleşme**

TOFAŞ, Altı Sigma projelerini büyük veri analitiği ile birleştirerek süreç iyileştirme çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu süreçte kullanılan IoT cihazları, üretim hatalarındaki oranı %15 azaltmış ve süreç performansını artırmıştır. (TOFAŞ, 2020).

##### **Arçelik: 5S ve Robotik Otomasyon**

Arçelik, üretim süreçlerinde 5S yöntemini robotik otomasyon ile entegre etmiştir. Bu entegrasyon, üretim hatlarında düzeni sağlamak ve kalite standartlarını yükseltmek için kritik bir rol oynamaktadır. (Arçelik, 2019).

##### **Vestel: Kaizen ve Yapay Zeka**

Vestel, Kaizen prensiplerini yapay zeka destekli sistemlerle birleştirerek süreç iyileştirme çabalarına hız kazandırmıştır. Bu teknolojiler, üretim hatalarındaki sapmaları %20 oranında azaltmıştır. (Vestel, 2021).

#### **4.5. Kalite Yönetimi ve Endüstri 4.0**

Kalite yönetimi, organizasyonların ürün ve hizmetlerinin müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde planlanmasını, uygulanmasını ve sürekli iyileştirilmesini hedefleyen bir yönetim felsefesidir. ISO 9001 gibi uluslararası standartlar, kalite yönetim sistemlerinin temelini oluştururken, Endüstri 4.0 teknolojileri bu sistemleri daha esnek ve etkin hale getirmiştir.

#### **4.5.1. Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetimi: Birleşen Sistemler**

Endüstri 4.0'ın sunduğu teknolojiler, kalite yönetim sistemlerini dijitalleştirerek daha hızlı ve kesin sonuçlar alınmasını sağlamıştır. Özellikle büyük veri analitiği, IoT ve yapay zeka gibi araçlar, kalite yönetim süreçlerinde devrim yaratmıştır. Liao ve arkadaşları (2017), bu dönüşümü şu şekilde açıklamaktadır: Endüstri 4.0 teknolojileri, kalite yönetim sistemlerinin performansını artırarak veri temelli karar alma süreçlerini güçlendirir. Büyük veri analitiği, kalite kontrol verilerini analiz ederek süreç iyileştirmelerine yönelik öngörüler sağlar. Bu, organizasyonların daha hızlı ve esnek bir şekilde tepki vermesine imkan tanır. (Liao et al., 2017).

ISO 9001 standardı, dijital dönüşüm süreçleriyle entegre edilerek kalite yönetim süreçlerinin daha şeffaf hale gelmesini sağlamıştır. ISO'nun 2015 revizyonunda, risk tabanlı düşünce ve süreç yaklaşımı gibi Endüstri 4.0 ile uyumlu yaklaşımlar vurgulanmıştır: ISO 9001:2015, organizasyonların değişen piyasa koşullarına daha hızlı uyum sağlaması için süreç temelli bir yönetim anlayışını benimser. Bu yaklaşım, Endüstri 4.0 teknolojileriyle desteklenerek kalite yönetim sistemlerinin daha etkin bir şekilde uygulanmasını mümkün kılar. (ISO, 2015).

#### **4.5.2. Endüstri 4.0'ın Kalite Yönetimine Getirdiği Avantajlar**

- **Gerçek Zamanlı Veri ve İzlenebilirlik**

IoT cihazları, üretim süreçlerindeki her adımı izleyerek kalite yönetim süreçlerini destekler. Schlechtendahl ve arkadaşları (2021), bu teknolojilerin kalite yönetimine etkisini şu şekilde ifade etmektedir: IoT, kalite yönetim sistemlerinde gerçek zamanlı veri toplamayı mümkün kılar. Bu, üretim süreçlerindeki sapmaların anında tespit edilmesini sağlar ve süreçlerin daha etkili bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunur. (Schlechtendahl et al., 2021).

- **Yapay Zeka ile Süreç Optimizasyonu**

Yapay zeka, kalite yönetim süreçlerinde karar verme süreçlerini hızlandırır ve doğruluğunu artırır. Kusiak (2018), yapay zekanın kalite yönetimine katkısını şu şekilde açıklamaktadır: Yapay zeka algoritmaları, kalite yönetim sistemlerinde kök neden analizi yaparak süreç iyileştirme fırsatlarını belirler. Bu, yalnızca üretim süreçlerini optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda müşteri memnuniyetini artırır. (Kusiak, 2018).

- **Büyük Veri Analitiği ve Risk Yönetimi**

Büyük veri analitiği, kalite yönetim süreçlerindeki risklerin önceden tahmin edilmesini

ve bu risklere yönelik stratejiler geliştirilmesini sağlar. Zhong ve arkadaşları (2017), bu durumu şöyle açıklar: Büyük veri analitiği, kalite yönetim sistemlerindeki risk faktörlerini analiz ederek önleyici tedbirler alınmasına olanak tanır. Bu, organizasyonların daha güvenilir ve sürdürülebilir kalite yönetim süreçleri oluşturmasını sağlar. (Zhong et al., 2017).

#### **4.5.3. Türkiye’de Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetimi**

Türkiye’de kalite yönetimi ve Endüstri 4.0 entegrasyonu, sanayi kuruluşlarının dijitalleşme stratejilerinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Otomotiv, beyaz eşya ve savunma sanayi gibi sektörlerde bu dönüşümün etkileri görülmektedir:

##### **TOFAŞ: ISO 9001 ve Dijitalleşme**

TOFAŞ, ISO 9001 standartlarını üretim süreçlerine entegre ederek, Endüstri 4.0 teknolojilerini kalite yönetim sistemlerinde kullanmıştır. Bu süreçte, IoT cihazları ve büyük veri analitiği ile üretim hatalarındaki oranı %15 azaltmış ve süreç performansını artırmıştır. (TOFAŞ, 2020).

##### **Arçelik: Akıllı Kalite Yönetimi**

Arçelik, kalite yönetim sistemlerini robotik otomasyon ve yapay zeka ile entegre etmiştir. Bu entegrasyon, üretim süreçlerindeki kalite standartlarını iyileştirirken, müşteri memnuniyetinde %25’lik bir artış sağlamıştır. (Arçelik, 2019).

##### **Vestel: IoT ile Kalite Yönetimi**

Vestel, IoT cihazlarını kullanarak kalite yönetim süreçlerindeki izlenebilirliği artırmıştır. Bu teknoloji, ürünlerin kalite standartlarına uygunluğunu sağlarken üretim maliyetlerini düşürmüştür. (Vestel, 2021).

##### **Aselsan: Büyük Veri ve Kalite Yönetimi**

Aselsan, kalite yönetim süreçlerinde büyük veri analitiği ve siber-fiziksel sistemler kullanarak süreç verimliliğini artırmıştır. Bu teknolojiler, askeri ekipmanların kalite standartlarına uygunluğunu güvence altına almak için kritik bir rol oynamaktadır. (Aselsan, 2021).

Endüstri 4.0 teknolojileri, kalite yönetim sistemlerini dönüştürerek daha hızlı, etkili ve müşteri odaklı bir yapıya kavuşturmuştur. Türkiye’deki sanayi kuruluşları, bu dönüşümü başarıyla uygulayarak uluslararası standartlara uygun üretim yapma kapasitelerini artırmıştır. Gelecekte, kalite yönetim sistemlerinin dijitalleşmesi, rekabet avantajı sağlamak için daha da önemli hale gelecektir.



## BEŞİNCİ BÖLÜM

### 5. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 5.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol süreçleri ve Altı Sigma, 5S, Kaizen gibi kalite yönetim araçları üzerindeki etkilerini ve bu araçların gelişimini incelemektir. Ayrıca, Türkiye'deki işletmelerin bu teknolojileri ne ölçüde benimsediği ve uyguladığı değerlendirilecektir. Bu kapsamda, eklerde sunulan bir anket hazırlanmış ve 91 katılımcıya uygulanmıştır. Ankete katılanlar, farklı sektörlerde çalışan, çeşitli yaş gruplarından ve pozisyonlardan bireylerden oluşmaktadır. Bu çeşitlilik, elde edilen verilerin genelleştirilebilirliğini artırmaktadır.

#### 5.2. Veri Toplama Yöntemleri

Araştırmanın verileri üç ana yöntemle toplanmıştır: gözlem, literatür taraması ve anket.

- **Gözlem:** Endüstri 4.0 ve kalite yönetimi uygulamalarına dair üretim süreçleri incelenmiştir. Bu sayede, teorik bilgilerin pratikteki yansımaları gözlemlenmiştir.
- **Literatür Taraması:** Akademik makaleler, tezler ve sektörel raporlar incelenerek teorik çerçeve oluşturulmuştur. Örneğin, Türkiye'deki bir araştırmada, şirket yöneticilerinin %59'unun dijital olgunluk seviyelerini "gelişmekte olan" olarak değerlendirdiği belirtilmiştir (Endüstri 4.0 Türkiye, 2020). Schlechtendahl ve arkadaşları (2021), Endüstri 4.0'ın kalite kontrol süreçlerine olan katkısını şu şekilde açıklamaktadır: IoT ve büyük veri analitiği, kalite kontrol süreçlerini gerçek zamanlı olarak destekleyerek, üretim süreçlerinde izlenebilirliği ve hızlandırılmış karar almayı mümkün kılar. (Schlechtendahl vd., 2021).
- **Anket:** Katılımcıların Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı, kalite kontrol süreçleri ve kalite yönetim araçlarına dair algıları değerlendirilmiştir. Anket soruları, katılımcıların demografik bilgileri, çalıştıkları sektörler, pozisyonları ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım düzeylerini kapsayacak şekilde yapılandırılmıştır.

### 5.3. Örneklem

Araştırmanın örneklemini, Türkiye'nin çeşitli sektörlerinde faaliyet gösteren 91 çalışandan oluşmaktadır. Katılımcılar, rastgele örnekleme yöntemiyle seçilmiş ve farklı yaş grupları, pozisyonlar ve sektörlerden bireyleri içermektedir. Bu çeşitlilik, elde edilen verilerin genelleştirilebilirliğini artırmakta ve Endüstri 4.0 ile kalite yönetimi arasındaki ilişkiyi daha kapsamlı bir şekilde anlamamıza olanak tanımaktadır. Zhong ve arkadaşları (2017), Endüstri 4.0 teknolojilerinin örneklem çeşitliliği üzerindeki etkisini şöyle ifade etmektedir: Endüstri 4.0 uygulamaları, farklı sektörlerdeki işletmelerin dijital dönüşümünü hızlandırmış ve bu dönüşüm, veri toplama süreçlerinin daha geniş bir ölçeğe yayılmasını sağlamıştır. (Zhong vd., 2017).

Türkiye'de yapılan bir araştırmaya göre, şirketlerin %34'ü dijital olgunluk seviyelerini "gelişmiş" olarak değerlendirmektedir (Endüstri 4.0 Türkiye, 2020).

### 5.4. Veri Analizi Yöntemleri

Toplanan veriler, SPSS yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Bağımsız değişkenler (örneğin, katılımcıların sektörü, pozisyonu, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı) ile bağımlı değişkenler (örneğin, kalite kontrol süreçlerinin etkinliği) arasındaki ilişkileri değerlendirmek için **ki-kare testi** uygulanmıştır. Ki-kare testi, kategorik veriler arasındaki ilişkileri incelemek ve değişkenler arasındaki anlamlı farkları tespit etmek amacıyla uygun bir yöntem olarak seçilmiştir. Kusiak (2018), bu tür veri analizi yöntemlerinin Endüstri 4.0 bağlamında nasıl kullanılabileceğini şöyle açıklamaktadır: Büyük veri analitiği ve yapay zeka, kalite kontrol süreçlerindeki verileri analiz ederek süreç performansını optimize eder ve organizasyonel kararları destekler. (Kusiak, 2018).

Bu çalışmada, üç farklı bölüm altında toplam dokuz ki-kare analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol süreçleri üzerindeki etkisini, 5S ve Kaizen gibi yöntemlerle entegrasyonunu ve Altı Sigma uygulamalarına katkılarını ortaya koymuştur. Bulgular, ilgili tablolar ve grafiklerle desteklenmiş ve detaylı olarak yorumlanmıştır.

## 5.5. Ki-Kare (Chi-Square) Analizi

Ki-Kare analizi, kategorik değişkenler arasındaki bağımsızlık durumunu veya bir verinin beklenen dağılıma uyup uymadığını değerlendirmek için kullanılan parametrik olmayan bir istatistik yöntemidir. Karl Pearson tarafından geliştirilen bu yöntem, istatistiksel analizde sıklıkla tercih edilen güçlü bir araçtır (Howell, 2012). Analiz, gözlemlenen frekanslar ile beklenen frekanslar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmeyi amaçlar.

Ki-Kare testi, iki ana kategoride uygulanır:

1. **Bağımsızlık Testi (Test of Independence):** İki kategorik değişkenin bağımsız olup olmadığını değerlendirir. Örneğin, sektörlere göre Endüstri 4.0 adaptasyonu ile kalite kontrol süreçlerinin ilişkisi bu yöntemle incelenebilir (Field, 2018).
2. **Uyum İyiliği Testi (Goodness-of-Fit Test):** Bir veri setinin belirli bir teorik dağılıma uygun olup olmadığını test eder. Örneğin, müşteri davranışlarının belirli bir pazar modeline uyup uymadığını incelemek için kullanılabilir (Montgomery, 2013).

### 5.5.1. Matematiksel Temeller

Ki-Kare analizi, şu formüle dayanır:

$$\chi^2 = \sum [(O_i - E_i)^2 / E_i]$$

Burada:

- $O_i$ : Gözlemlenen frekans (anketten veya deneyden elde edilen veri),
- $E_i$ : Beklenen frekans (değişkenler arasında ilişki olmadığı varsayımıyla hesaplanır),
- $\Sigma$ : Tüm kategorilerdeki toplamdır.

Hesaplanan  $\chi^2$  değeri, serbestlik derecesi (df) ve anlamlılık düzeyine ( $\alpha$ ) göre değerlendirilir. Serbestlik derecesi, test edilen kontenjans tablosunun boyutuna göre şu şekilde hesaplanır:

$$df = (R - 1) \times (C - 1)$$

Burada:

- R: Satır sayısını ifade eder.
- C: Sütun sayısını ifade eder.

Eğer  $p < 0,05$  ise,  $H_0$  hipotezi reddedilir ve iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olduğu kabul edilir.

### 5.5.2. Uygulama Koşulları ve Kısıtlamalar

Ki-Kare analizi uygulanırken şu koşullar dikkate alınmalıdır:

1. **Bağımsızlık Varsayımı:** Gözlemler birbirinden bağımsız olmalıdır. Bu nedenle, her bir gözlem yalnızca bir hücreye katkıda bulunabilir (Howell, 2012).
2. **Beklenen Frekanslar:** Beklenen frekansların %80'i 5 veya daha büyük olmalıdır. Hücrelerin hiçbiri 1'den küçük olmamalıdır (Cochran İlkesi; Dawson & Trapp, 2001). Bu koşul sağlanmadığında, Fisher'in Kesin Testi gibi alternatif yöntemler önerilir.
3. **Örneklem Büyüklüğü:** Küçük örneklerde test gücü düşebilir. Bu durumlarda Yates'in Süreklilik Düzeltmesi uygulanabilir (Field, 2018).

### 5.5.3. Çalışmada Kullanımı

Bu çalışmada, Ki-Kare testi, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol süreçleri ve kalite yönetim araçları üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Özellikle, sektörel ve bölgesel farkların kalite yönetim araçlarının entegrasyonuna etkisi incelenmiştir. Analizde şu adımlar izlenmiştir:

1. **Veri Toplama:** Anket yoluyla elde edilen veriler gözlemlenen frekanslar olarak kullanılmıştır.
2. **Beklenen Frekansların Hesaplanması:** Gözlenen veriler, varsayımsal bağımsızlık durumu altında beklenen frekanslarla karşılaştırılmıştır.
3. **Sonuçların Değerlendirilmesi:** Elde edilen p-değerleri,  $\alpha=0,05$  (alpha = 0,05) anlamlılık düzeyine göre değerlendirilmiştir.

Çalışmada elde edilen 9 sonuçtan 6'sında  $p < 0,05$  bulunmuş ve bu değişkenler arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Örneğin, sektörlere göre Endüstri 4.0 adaptasyonu ile kalite kontrol süreçlerinin entegrasyonu anlamlı bir ilişki göstermiştir. Anlamlı bulunmayan 3 testte ise, değişkenler arasında doğrudan bir ilişkinin olmadığı veya verilerin dağılımında dengesizlik olduğu tespit edilmiştir.

Ki-Kare analizi, bu çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim araçları ve süreçleri üzerindeki etkisini anlamak için etkili bir yöntem olarak kullanılmıştır. Bu analiz, özellikle sektörel ve bölgesel düzeydeki farklılıkları ve dijitalleşme stratejilerinin kalite süreçleri üzerindeki etkilerini değerlendirmede kritik bir rol oynamıştır. Elde edilen bulgular, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimi ve kontrol süreçleriyle entegrasyonunun işletmelerin rekabet gücünü artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.



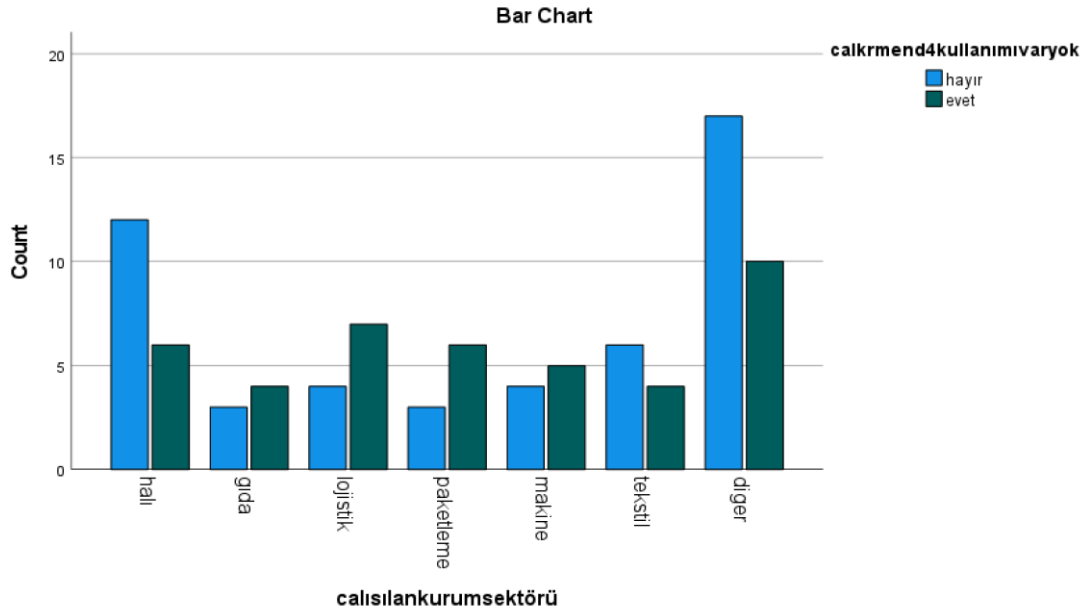
## ALTINCI BÖLÜM

### 6. BULGU VE SONUÇLAR

#### 6.1. Aşama:

##### 6.1.1. Sektörlere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Uygulamalarının Kullanım Durumu

Şekil 13: Bar Grafik: Sektörlere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Analizi



#### Bar Grafik Analizi: Sektörlere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Analizi

Bu bar grafik, çalışılan sektörler için belirli bir uygulamanın (çalkırmend4 kullanımı) "evet" ve "hayır" yanıtlarının dağılımını göstermektedir. Görselden yola çıkarak, her sektör için kullanıcı yanıtları arasındaki farkları net bir şekilde gözlemlemek mümkündür.

Halı sektöründe çalkırmend4 kullanımı "hayır" yanıtları ile baskın bir görünüm sergilerken, "evet" yanıtları daha az sıklıkla rapor edilmiştir. Bu durum, halı sektöründe bu uygulamanın kullanımının sınırlı olduğunu veya henüz yaygınlaşmadığını gösterebilir. Gıda sektöründe ise "evet" ve "hayır" yanıtlarının birbirine daha yakın olduğu bir dağılım görülmektedir. Bu, gıda sektöründe çalkırmend4 uygulamasının kısmen benimsenmiş olabileceğine işaret etmektedir.

Lojistik sektöründe benzer bir dağılım sergilenmekle birlikte "hayır" yanıtlarının daha az olması, lojistik sektöründe bu uygulamanın kullanımının sektör ihtiyaçlarına uygun olabilirliğini veya orta seviye bir entegrasyon düzeyi olduğunu düşündürebilir. Paketleme ve makine sektörlerinde ise "hayır" yanıtları "evet" yanıtlarından daha az olmasına rağmen, dağılım oranlarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Bu sektörlerde uygulamanın belirli bir oranda kullanımının mevcut olduğunu, ancak yaygınlaşması için daha fazla teşvik ya da farkındalık yaratılmasına ihtiyaç duyulduğu söylenebilir.

Tekstil sektöründe "evet" ve "hayır" yanıtlarının birbirine yakın olması, bu uygulamanın tekstil sektöründe belirli bir oranda kabul gördüğünü gösterebilir. Diğer sektör kategorisinde ise "hayır" yanıtlarının belirgin bir şekilde fazla olduğu, ancak "evet" yanıtlarının da dikkate değer bir seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, diğer kategorisinde yer alan sektörlerde uygulamanın sınırlı düzeyde de olsa bazı alanlarda kullanıldığını göstermektedir.

Bu grafik, sektörler göre uygulamanın benimsenme durumundaki farklılıkları görselleştirmekte ve sektörler özgü yaklaşımlar geliştirilmesinin önemine işaret etmektedir.

Tablo 13. Chi Square Test Sektörlere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Analizi

### Chi-Square Tests

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	5,783 <sup>a</sup>	6	,448
Likelihood Ratio	5,841	6	,441
Linear-by-Linear Association	,153	1	,696
N of Valid Cases	91		

#### Pearson Chi-Square (5,783):

- Test sonucu 5,783 olarak verilmiş.
- Bu değere karşılık gelen asimptotik anlamlılık değeri (p-değeri) **0,448**.

- Bu, genellikle %5 anlamlılık düzeyi ( $\alpha = 0,05$ ) ile karşılaştırılır.  $p > 0,05$  olduğu için, iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna varılır.

### **Sektörlere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Durumunun Chi-Square Analizi**

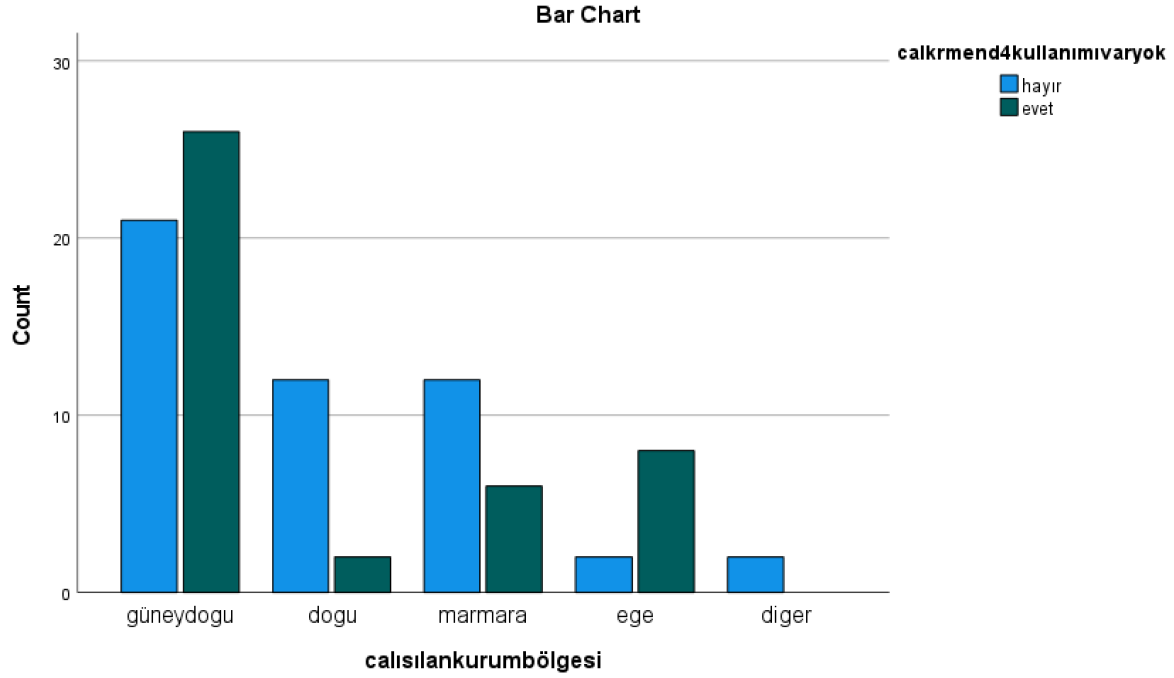
Chi-Square testi, çalışılan sektörler ile çalkırmend4 kullanım durumu arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre, Pearson Chi-Square değeri 5.783 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, çalışılan sektörler ile kullanım durumu arasındaki gözlemlenen ve beklenen frekanslar arasındaki farkın büyüklüğünü göstermektedir. Ancak, bu test sonucunda elde edilen p-değeri 0.448 olduğundan, sektörler ile çalkırmend4 kullanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Likelihood Ratio değeri de 5.841 olarak hesaplanmış ve p-değeri 0.441 bulunmuştur. Bu sonuç, sektörlerin çalkırmend4 kullanımı üzerinde etkili olmadığını desteklemektedir. Ek olarak, Linear-by-Linear Association değeri 0.153 ve p-değeri 0.696 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, sektörler arasında kullanım oranlarının belirgin bir doğrusal ilişki göstermediğini ifade etmektedir.

Sonuç olarak, Chi-Square testi, sektörler ile çalkırmend4 kullanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin bulunmadığını ortaya koymaktadır.

## 6.1.2. Bölgelere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanım Durumu Analizi

Şekil 14. Bölgelere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Durumu Analizi



### Bar Grafik Analizi: Bölgelere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Durumu Analizi

Bu bar grafikte, çalışılan kurumların bulunduğu bölgelere göre Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu "evet" ve "hayır" yanıtları çerçevesinde görselleştirilmiştir. Her bölge için kullanım durumundaki farklılıklar incelenmiştir.

**Güneydoğu bölgesi** diğer bölgelere kıyasla çarpıcı bir şekilde öne çıkmaktadır. Bu bölgede "evet" yanıtları, yani Endüstri 4.0 uygulamalarını kullanan kurum sayısı, "hayır" yanıtlarına kıyasla daha yüksektir. Bu durum, Güneydoğu bölgesinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin daha yaygın olarak benimsendiğini göstermektedir. Bunun nedeni, bölgedeki sanayileşme yatırımları, yerel işletmelerin modernizasyon ihtiyaçları veya bölgesel teşvikler olabilir.

**Doğu bölgesi** ise farklı bir tablo sergilemektedir. Burada "evet" yanıtlarının oldukça düşük olduğu, yani Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımının sınırlı olduğu görülmektedir. Bu,

bölgenin ekonomik yapısı, sanayi altyapısının yetersizliği veya teknolojik farkındalığın düşük olmasından kaynaklanabilir.

**Marmara bölgesi**, Türkiye'nin ekonomik ve sanayi merkezi olarak bilinse de, grafikte "evet" yanıtlarının sayıca düşük olduğu görülmektedir. "Hayır" yanıtlarının görece baskın olması, Marmara'daki bazı firmaların Endüstri 4.0 uygulamalarına geçişte çekimser kaldıklarını veya dönüşüm süreçlerinin henüz tamamlanmadığını düşündürmektedir. Ayrıca, bu bölgede geleneksel yöntemlerin hala yaygın bir şekilde kullanılabileceği de göz önünde bulundurulabilir.

**Ege bölgesinde**, "evet" yanıtları görece daha fazla olup, Endüstri 4.0 teknolojilerinin belirli bir oranda kullanıldığı anlaşılmaktadır. Ancak, "hayır" yanıtlarının da dikkate değer bir seviyede olduğu görülmektedir. Bu durum, bölgede teknolojik dönüşüm sürecinin hâlâ devam ettiğini göstermektedir.

**Diğer bölge** kategorisinde, hem "evet" hem de "hayır" yanıtlarının düşük seviyede olduğu gözlemlenmektedir. Bu kategorideki bölgelerin tanımı tam olarak belirtilmese de, genel olarak teknolojik uygulamalara erişim veya sektörel yaygınlık açısından zayıf bir tablo çizmektedir.

Bu grafikte, bölgelerin Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseme oranlarındaki farklılıklar net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Güneydoğu bölgesi, kullanım oranları açısından lider konumdayken, Doğu bölgesi bu konuda geride kalmıştır. Bölgesel farklılıklar, yerel sanayi politikaları, teknolojik altyapı ve ekonomik koşullarla ilişkilendirilebilir. İlgili bölgelerdeki işletmelere yönelik farklılaştırılmış stratejiler geliştirilmesi, bu teknolojilerin benimsenme oranlarını artırabilir.

Tablo 14. Bölgelere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Durumunun Chi-Square Analiz

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	14,824 <sup>a</sup>	4	,005
Likelihood Ratio	16,585	4	,002
Linear-by-Linear Association	,221	1	,638
N of Valid Cases	91		

- **Pearson Chi-Square (14,824):** Test sonucu 14,824 olarak hesaplanmıştır.
- **Asimptotik Anlamlılık Değeri (p-değeri):** Bu değere karşılık gelen p-değeri 0,005 olarak bulunmuştur.
- **Sonuç:**  $p < 0,05$  olduğundan, bölgeler ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

### Bölgelere Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanım Durumunun Chi-Square Analizi

Bu Chi-Square testi, çalışılan kurumların bulunduğu bölgeler ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu arasında istatistiksel bir ilişki olup olmadığını değerlendirmektedir. Test sonuçları, analiz edilen değişkenler arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir.

**Pearson Chi-Square değeri 14,824** olarak hesaplanmış ve bu değere karşılık gelen **p-değeri 0,005** bulunmuştur. Bu p-değeri 0,05'ten küçük olduğu için, bölgeler ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, farklı bölgelerin Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinde etkili bir faktör olduğunu göstermektedir.

**Likelihood Ratio değeri ise 16,585** olarak hesaplanmış ve buna karşılık gelen **p-değeri 0,002** olarak tespit edilmiştir. Bu test de sonuçların tutarlılığını destekler niteliktedir. Her iki testin

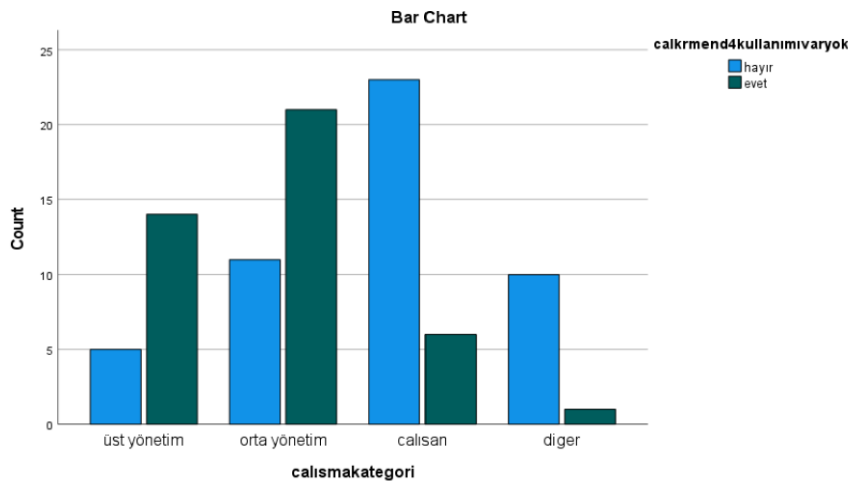
sonucunda da bölgeler ve Endüstri 4.0 uygulamalarının kullanımı arasında belirgin bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır.

**Linear-by-Linear Association** değeri 0,221 olup, bu değere karşılık gelen **p-değeri 0,638** olarak bulunmuştur. Bu sonuç, bölgeler arasında kullanım oranlarında doğrusal bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bu durum, bölgeler arasındaki farkların basit bir doğrusal eğilimle açıklanamayacağını, daha karmaşık faktörlerin etkili olduğunu düşündürülebilir.

Bu sonuçlar, bölgeler ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ve bu farklılıkların politik, ekonomik, teknolojik altyapı gibi bölgesel faktörlerden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Örneğin, teknoloji kullanımının yaygın olduğu bölgeler ile düşük olduğu bölgeler arasındaki farkları azaltmak için bölge bazlı stratejilerin geliştirilmesi gerektiği söylenebilir. Elde edilen bulgular, bölgesel farkındalık kampanyaları, eğitim programları veya teknolojik yatırımların yönlendirilmesi gibi önerilere temel oluşturabilir.

### 6.1.3. Çalışma Kategorilerine Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanım Durumu Analizi

Şekil 15. Çalışma Kategorilerine Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanım Durumu Analizi



## **Bar Grafik: Çalışma Kategorilerine Göre Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanım Durumu Analizi**

Bu bar grafikte, farklı çalışma kategorilerine (üst yönetim, orta yönetim, çalışan ve diğer) göre Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı "evet" ve "hayır" yanıtları üzerinden analiz edilmiştir. Her bir kategori için kullanım düzeyleri karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

**Üst yönetim** kategorisinde, "evet" yanıtlarının "hayır" yanıtlarına göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, üst yönetim pozisyonundaki bireylerin çalıştığı kurumlarda Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımının desteklediği daha aktif kullanımın olduğunu gösterebilir. Bu sınırlama, üst yönetim düzeyindeki bireylerin geleneksel yöntemlere bağlı kalmaması veya bu teknolojilere dair bilgi düzeylerinin fazl, kaynaklanıyor olabilir.

**Orta yönetim** kategorisinde, "evet" yanıtları "hayır" yanıtlarından belirgin bir şekilde daha fazladır. Bu, orta yönetim pozisyonunda çalışan bireylerin çalıştığı kurumlarda Endüstri 4.0 teknolojilerinin daha yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir. Orta yönetim, genellikle teknolojik yeniliklerin organizasyona entegrasyonunda aktif bir rol oynadığı için bu sonucun ortaya çıktığı düşünülebilir.

**Çalışan** kategorisi, grafikte en dikkat çekici kategori olarak öne çıkmaktadır. Burada "hayır" yanıtlarının "evet" yanıtlarına oranla çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, çalışan düzeyinde teknolojilerin benimsenmesinin ve kullanımının sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, teknolojinin alt düzey çalışanların iş süreçlerine tam anlamıyla entegre edilmemiş olabileceğini veya çalışanların bu teknolojilere erişiminin kısıtlı olduğunu düşündürülebilir.

**Diğer** kategorisi, nispeten daha az veriye sahip olmakla birlikte, "hayır" yanıtlarının baskın olduğu bir tablo çizmektedir. Bu kategori, daha belirsiz ve çeşitli iş pozisyonlarını içeriyor olabilir, bu nedenle Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesi bu grupta daha düşük bir düzeyde kalmış olabilir.

Grafik genel olarak, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumunun pozisyon düzeyine göre değişiklik gösterdiğini ve özellikle orta yönetim düzeyinde daha yaygın bir kabul gördüğünü göstermektedir. Bu bulgular, teknolojik dönüşüm süreçlerinin kurumsal hiyerarşinin farklı seviyelerinde nasıl bir karşılık bulduğunu anlamak açısından önemli bir ipucu sağlamaktadır. Ayrıca, çalışan kategorisindeki düşük kullanım oranları, bu grubun

teknolojik dönüşüme dahil edilmesi için daha fazla eğitime veya bilgilendirme programlarına ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, farklı kategorilerdeki bireylerin teknolojiyi benimsemelerini artırmak için hedef odaklı stratejiler geliştirilebilir.

Tablo 15. Çalışma Kategorileri ile Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	24,323 <sup>a</sup>	3	<,001
Likelihood Ratio	26,258	3	<,001
Linear-by-Linear Association	21,259	1	<,001
N of Valid Cases	91		

- **Pearson Chi-Square (24,323):** Test sonucu 24,323 olarak hesaplanmıştır.
- **Anlamlılık Değeri (p-değeri):** p-değeri < 0,001 bulunmuş olup bu, %5 anlamlılık düzeyine göre iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir.
- **Sonuç:** Çalışma kategorisi ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu arasında anlamlı bir ilişki vardır.

### Çalışma Kategorileri ile Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

Chi-Square testi, çalışma kategorileri ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için uygulanmıştır. Pearson Chi-Square değeri 24,323 olarak hesaplanmış ve buna karşılık gelen p-değeri < 0,001 olarak bulunmuştur. Bu değer, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, çalışma kategorileri (üst yönetim, orta yönetim, çalışan ve diğer) ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımını arasında anlamlı bir bağ bulunmaktadır.

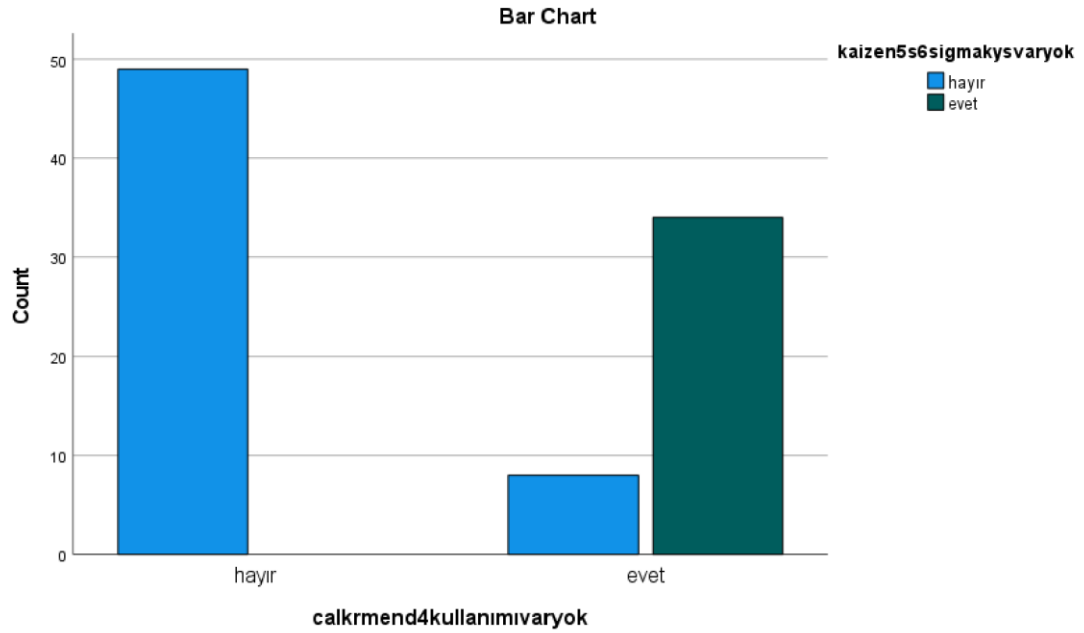
Likelihood Ratio değeri 26,258 olarak hesaplanmış ve yine p-değeri  $< 0,001$  bulunmuştur. Bu, Pearson Chi-Square testi ile elde edilen sonuçları desteklemekte ve çalışma kategorileri ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, Linear-by-Linear Association değeri 21,259 olarak hesaplanmış ve bu değer için de p-değeri  $< 0,001$  olarak bulunmuştur. Bu, alışma kategorilerindeki pozisyonlar arasında doğrusal bir ilişki olduğunu işaret etmektedir. Örneğin, orta yönetim ve üst yönetim gibi daha yüksek pozisyonlarda teknolojinin benimsenme oranlarının artabileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, bu analiz, çalışma kategorilerinin Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımına etkisi olduğunu ve bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durum, kurumlarda teknoloji entegrasyonunun pozisyon düzeyine göre farklılık gösterebileceğini ve özellikle yönetim seviyelerinde teknolojinin benimsenmesinin daha yaygın olduğunu ifade etmektedir. Çalışanlar kategorisinde ise bu oranların düşük olması, alt düzey pozisyonların teknoloji entegrasyonu süreçlerine daha fazla dahil edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, farklı kategorilerdeki bireyler için hedefe yönelik eğitim ve farkındalık programları düzenlenmesi faydalı olabilir.

## 6.2.Aşama:

### 6.2.1. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetim Araçlarının Kullanım Durumları Arasındaki İlişki Analizi

Şekil 16. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetim Araçlarının Kullanım Durumlarının Dağılımı



#### Bar Grafik: Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetim Araçlarının Kullanım Durumlarının Dağılımı

Bu bar grafikte, çalışılan kurumlardaki Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı ile kalite yönetim araçlarının (örneğin Kaizen, 5S, ve Six Sigma) kullanım durumu arasındaki ilişki incelenmiştir. Veriler, kurumların Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanma durumlarına (evet/hayır) göre kalite yönetim araçlarının kullanım oranlarını yansıtmaktadır.

Grafikte dikkat çeken ilk nokta, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanılmadığı kurumlarda (hayır) kalite yönetim araçlarının kullanımının oldukça düşük olduğudur. Bu grup için "evet" yanıtlarının sayıca çok az olması, bu teknolojilerin kullanılmadığı kurumlarda kalite yönetim araçlarının da benimsenme oranlarının sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu durum, kalite yönetim araçlarının dijitalleşme süreçleri ile entegre olarak daha verimli bir şekilde

uygulanabildiğini ya da dijitalleşmenin eksikliğinde bu araçların kullanımının sınırlı kaldığını düşündürebilir.

Öte yandan, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı kurumlarda (evet), kalite yönetim araçlarının kullanımının oldukça yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu, dijitalleşme süreçlerinin kalite yönetim araçlarının etkin bir şekilde uygulanmasını teşvik ettiğini veya bu iki kavramın birbirini destekleyici bir şekilde kullanıldığını gösterebilir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin getirdiği veri analitiği ve otomasyon gibi avantajların, kalite yönetim araçlarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağladığı söylenebilir.

Genel olarak, grafik, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin, kalite yönetim araçlarının kullanım oranlarını artırmada önemli bir etken olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, dijitalleşmenin sadece üretim süreçlerini değil, aynı zamanda kalite yönetimi süreçlerini de dönüştürdüğüne işaret etmektedir. Bu bağlamda, dijitalleşme süreçlerinin teşvik edilmesi, kalite yönetim araçlarının daha yaygın ve etkili bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca, bu iki faktörün birbiriyle entegre edilmesinin, işletmelerin rekabet gücünü artırabileceği öngörülebilir.

Tablo 16. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetim Araçları Kullanım Durumları Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

Chi-Square Tests				
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	63,327 <sup>a</sup>	1	<,001	
Continuity Correction <sup>b</sup>	59,916	1	<,001	
Likelihood Ratio	79,375	1	<,001	
Fisher's Exact Test				<,001
Linear-by-Linear Association	62,632	1	<,001	
N of Valid Cases	91			

- **Pearson Chi-Square (63,327):** Test sonucu 63,327 olarak hesaplanmıştır ve bu değere karşılık gelen p-değeri < 0,001'dir.

- **Anlamlılık:**  $p < 0,05$  olduğundan, Endüstri 4.0 kullanımı ile kalite yönetim araçlarının kullanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.
- **Sonuç:** Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı, kalite yönetim araçlarının benimsenmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

### **Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetim Araçları Kullanım Durumları Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi**

Bu Chi-Square testi, çalışılan kurumlarda Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı ile kalite yönetim araçlarının (Kaizen, 5S, Six Sigma gibi) kullanım durumu arasındaki ilişkinin varlığını değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir.

**Pearson Chi-Square değeri 63,327** olarak hesaplanmış ve buna karşılık gelen **p-değeri < 0,001** bulunmuştur. Bu, %5 anlamlılık düzeyi ( $\alpha = 0,05$ ) ile karşılaştırıldığında, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı kurumlarda kalite yönetim araçlarının kullanım oranlarının daha yüksek olabileceğini ortaya koymaktadır.

**Continuity Correction değeri 59,916** olarak hesaplanmış ve buna karşılık gelen **p-değeri < 0,001** bulunmuştur. Bu değer, özellikle küçük hücre frekanslarının etkisini düzeltmek amacıyla uygulanmıştır ve sonuçların güvenilirliğini desteklemektedir. Ek olarak, **Likelihood Ratio 79,375** olarak hesaplanmış ve bu da  $p < 0,001$  ile anlamlılık göstermektedir. Tüm bu istatistiksel sonuçlar, iki değişken arasındaki ilişkinin güçlü ve anlamlı olduğunu teyit etmektedir.

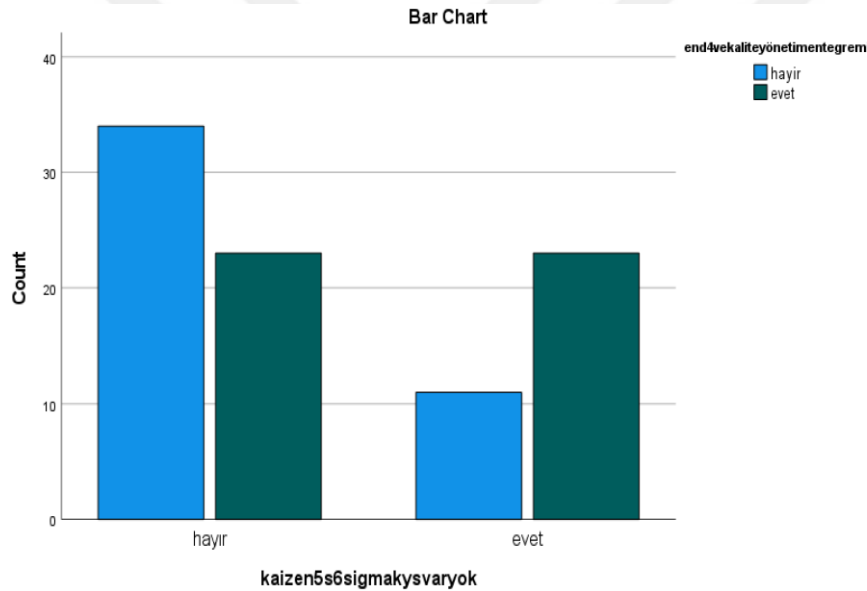
**Linear-by-Linear Association değeri 62,632** ve **p-değeri < 0,001** bulunmuştur. Bu sonuç, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım oranı ile kalite yönetim araçlarının benimsenme oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yani, Endüstri 4.0 kullanımının arttığı kurumlarda kalite yönetim araçlarının daha yaygın bir şekilde kullanıldığı sonucuna ulaşılabilir.

Sonuç olarak, bu analiz, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin, kalite yönetim araçlarının kullanımını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Bu durum, dijitalleşme ile kalite yönetim süreçlerinin birbirini desteklediğine işaret etmektedir. Örneğin, Endüstri 4.0 teknolojileriyle sağlanan veri analitiği, otomasyon ve gerçek zamanlı izleme gibi avantajlar,

Kaizen, 5S ve Six Sigma gibi araçların daha etkin bir şekilde uygulanmasını sağlayabilir. Bu bulgular, işletmelerin dijitalleşme ve kalite yönetim süreçlerini paralel bir şekilde geliştirmesi gerektiğini ve bu iki unsurun entegre bir şekilde ele alınmasının rekabet avantajı yaratabileceğini göstermektedir. İşletmelerin, bu süreci optimize etmek için teknoloji odaklı eğitim programlarına ve altyapı yatırımlarına öncelik vermesi önerilmektedir.

## 6.2.2. Kalite Yönetim Araçlarının Kullanımı ile Endüstri 4.0 Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Şekil 17. Kalite Yönetim Araçlarının Kullanımı ile Endüstri 4.0 Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Dağılımı



### Bar Grafik: Kalite Yönetim Araçlarının Kullanımı ile Endüstri 4.0 Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Dağılımı

Bu bar grafikte, kalite yönetim araçlarının (örneğin Kaizen, 5S, Six Sigma) kullanımı ile Endüstri 4.0 entegrasyonunun varlığı arasındaki ilişki incelenmiştir. Veriler, kalite yönetim araçlarını kullanan ve kullanmayan kurumlarda Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimi ile entegre edilip edilmediğini yansıtmaktadır.

Grafik incelendiğinde, kalite yönetim araçlarını **kullanmayan** kurumlar (hayır) kategorisinde, Endüstri 4.0 entegrasyonunun daha düşük seviyede olduğu gözlemlenmektedir. Bu grupta

"hayır" yanıtları "evet" yanıtlarına göre baskın durumdadır. Bu sonuç, kalite yönetim araçlarının kullanılmadığı kurumlarda Endüstri 4.0 entegrasyonu için gereken altyapının eksik olabileceğine ya da bu kurumların teknolojik adaptasyon süreçlerinde geride kaldığına işaret edebilir. Ayrıca, bu kurumlarda kalite yönetimi ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin bağımsız süreçler olarak değerlendirildiği ve yeterli entegrasyonun sağlanmadığı düşünülebilir.

Öte yandan, kalite yönetim araçlarını kullanan kurumlar (evet) kategorisinde, Endüstri 4.0 entegrasyonu "evet" yanıtları ile belirgin bir şekilde öne çıkmaktadır. Bu durum, kalite yönetim araçlarının Endüstri 4.0 teknolojileri ile doğal bir uyum içinde çalıştığını ve bu iki unsuru birlikte uygulayan kurumlarda entegrasyon seviyesinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu otomasyon, veri analitiği ve süreç optimizasyonu gibi avantajlar, kalite yönetim araçlarının etkinliğini artırmakta ve kurumlar arasında bu teknolojilere yönelik bir sinerji yaratmaktadır.

Bu grafik, kalite yönetim araçlarının Endüstri 4.0 teknolojileriyle entegre edilmesinin, kurumlar için rekabet avantajı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Kalite yönetim araçlarının kullanılmadığı kurumlarda, Endüstri 4.0 entegrasyon oranının düşük olması, bu araçların dijitalleşme süreçlerine olan katkısını bir kez daha vurgulamaktadır. Kurumların, kalite yönetim araçlarını kullanarak Endüstri 4.0 teknolojileri ile daha etkili bir entegrasyon sağlaması, hem kalite hem de üretim süreçlerini optimize etme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, kalite yönetim araçlarının benimsenmesi ve bu araçların dijitalleşme süreçlerine entegrasyonu, işletmelerin sürdürülebilir büyüme hedefleri açısından kritik bir öneme sahiptir.

Tablo 17 Kalite Yönetim Araçlarının Kullanımı ile Endüstri 4.0 Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

Chi-Square Tests					
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	6,348 <sup>a</sup>	1	,012		
Continuity Correction <sup>b</sup>	5,303	1	,021		
Likelihood Ratio	6,453	1	,011		
Fisher's Exact Test				,017	,010
Linear-by-Linear Association	6,278	1	,012		
N of Valid Cases	91				

- **Pearson Chi-Square (6,348):** Test sonucu 6,348 olarak hesaplanmış ve p-değeri 0,012 bulunmuştur.
- **Anlamlılık:**  $p < 0,05$  olduğundan, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- **Sonuç:** Kalite yönetim araçlarının kullanımı ile Endüstri 4.0 entegrasyonu arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.

### Kalite Yönetim Araçlarının Kullanımı ile Endüstri 4.0 Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

Chi-Square testi, kalite yönetim araçlarının (Kaizen, 5S, Six Sigma gibi) kullanımı ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonu arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için yapılmıştır. Test sonuçlarına göre **Pearson Chi-Square değeri 6,348** olarak hesaplanmış ve **p-değeri 0,012** bulunmuştur. Bu p-değeri, %5 anlamlılık düzeyine göre ( $\alpha = 0,05$ ) değerlendirildiğinde, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diğer bir ifadeyle, kalite yönetim araçlarının kullanımı, Endüstri 4.0 entegrasyonunda etkili bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

**Continuity Correction değeri 5,303** olarak hesaplanmış ve **p-değeri 0,021** bulunmuştur. Bu düzeltme, küçük örneklem boyutlarından kaynaklanabilecek yanlışlıkları azaltmayı amaçlar ve sonuçların güvenilirliğini destekler niteliktedir. Ayrıca, **Likelihood Ratio değeri 6,453** ve **p-**

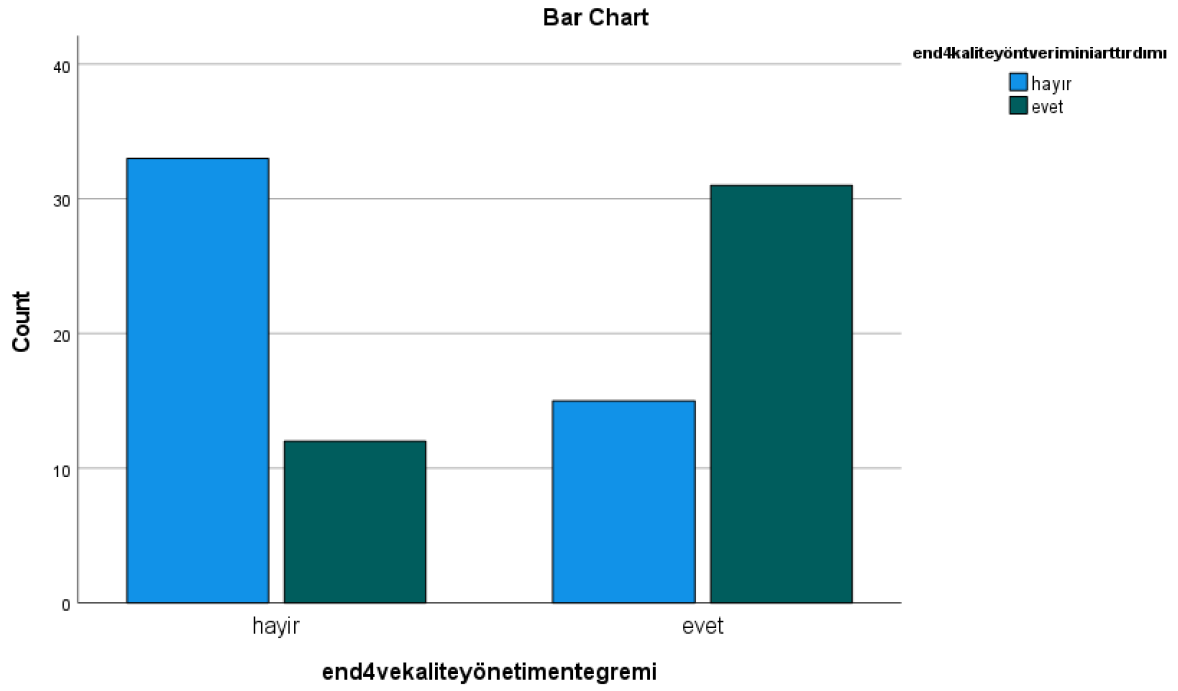
**değeri 0,011** olarak hesaplanmıştır. Bu da, iki değişken arasındaki ilişkinin güçlü ve anlamlı olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

**Linear-by-Linear Association değeri 6,278** ve **p-değeri 0,012** olarak hesaplanmıştır. Bu değer, kalite yönetim araçlarının kullanım oranı ile Endüstri 4.0 entegrasyon oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu, kalite yönetim araçlarının benimsenme seviyesinin artmasıyla birlikte Endüstri 4.0 entegrasyonunun da arttığını işaret etmektedir.

**Fisher's Exact Test** sonucuna göre p-değeri (2-sided) 0,017 olarak bulunmuştur. Bu, özellikle küçük veri setleri için alternatif bir test olup, sonuçların anlamlılığını destekler.

Sonuç olarak, analiz, kalite yönetim araçlarının kullanımının, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimiyle entegrasyonunda önemli bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, Kaizen, 5S ve Six Sigma gibi araçların, dijitalleşme süreçlerinde kolaylaştırıcı bir etki yaratabileceğini göstermektedir. İşletmelerin, bu araçları daha yaygın kullanarak Endüstri 4.0 teknolojilerini kalite yönetimi süreçlerine entegre etme oranlarını artırmaları, süreç verimliliğini ve kaliteyi optimize etme açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, bu iki unsurun entegre edilmesi, işletmelerin uzun vadede rekabet avantajı sağlamasına yardımcı olabilir.

### 6.2.3. Kalite Yönetim Araçları ile Endüstri 4.0 Entegrasyonu ve Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kalite Yönetim Araçları Verimliliği Üzerindeki Etkisi



#### Bar Grafik: Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetimi Entegrasyonu ile Kalite Yönetim Araçlarının Verimlilik Artışı Arasındaki İlişki

Bu bar grafikte, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim süreçlerine entegrasyonunun, kalite yönetim araçlarının verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Veriler, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimi ile entegre edilip edilmediği durumlarında, kalite yönetim araçlarının verimlilik artışını değerlendirmektedir. Grafik incelendiğinde, Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonunun olmadığı kurumlarda ("hayır"), kalite yönetim araçlarının verimlilik artışı sınırlı kalmıştır. Bu grupta "hayır" yanıtları baskın bir şekilde öne çıkmaktadır ve bu durum, teknolojinin eksikliğinin kalite yönetim araçlarının etkinliğini sınırlandırabileceğini göstermektedir. Dijitalleşme ve otomasyon gibi Endüstri 4.0 unsurlarının eksikliği, kalite yönetim araçlarının potansiyel performansını tam olarak ortaya koyamamasına yol açıyor olabilir.

Öte yandan, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimiyle entegre edildiği kurumlarda ("evet"), kalite yönetim araçlarının verimlilik artışının belirgin bir şekilde yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu grupta "evet" yanıtlarının çoğunlukta olması, Endüstri 4.0

teknolojilerinin sağladığı veri analitiği, otomasyon ve süreç optimizasyonu gibi avantajların, kalite yönetim araçlarının etkinliğini artırdığını göstermektedir. Dijitalleşme, kalite yönetim araçlarının daha hızlı ve doğru sonuçlar üretmesine olanak sağlayarak süreçleri iyileştirmiş olabilir.

Bu sonuçlar, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim araçlarının verimliliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu ve bu teknolojilerin entegrasyonunun, işletmeler için kritik bir başarı faktörü olabileceğini ortaya koymaktadır. İşletmelerin, bu iki unsuru bir arada kullanarak rekabet avantajı sağlamaları ve süreçlerini optimize etmeleri mümkündür. Teknolojik yatırımların artırılması ve bu entegrasyonun genişletilmesi, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına önemli katkılar sağlayabilir.

Tablo 18. Endüstri 4.0 Entegrasyonu ile Kalite Yönetim Araçlarının Verimliliği Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	15,136 <sup>a</sup>	1	<,001		
Continuity Correction <sup>b</sup>	13,546	1	<,001		
Likelihood Ratio	15,599	1	<,001		
Fisher's Exact Test				<,001	<,001
Linear-by-Linear Association	14,970	1	<,001		
N of Valid Cases	91				

- **Pearson Chi-Square (15,136):** Test sonucu 15,136 olarak hesaplanmış ve p-değeri < 0,001 bulunmuştur.
- **Anlamlılık:**  $p < 0,05$  olduğundan, Endüstri 4.0 entegrasyonu ile kalite yönetim araçlarının verimliliği arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- **Sonuç:** Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonu, kalite yönetim araçlarının verimliliğini artırmada etkili bir faktördür.

## **Endüstri 4.0 Entegrasyonu ile Kalite Yönetim Araçlarının Verimliliği Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi**

Bu Chi-Square testi, Endüstri 4.0 entegrasyonu ile kalite yönetim araçlarının verimliliği arasındaki ilişkinin varlığını ve anlamlılığını değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir.

**Pearson Chi-Square değeri 15,136** olarak hesaplanmış ve **p-değeri < 0,001** bulunmuştur. Bu p-değeri, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetimi süreçlerine entegrasyonu, kalite yönetim araçlarının verimliliğini artırmaktadır.

**Continuity Correction** değeri 13,546 olarak hesaplanmış ve p-değeri yine < 0,001 bulunmuştur. Bu düzeltme, küçük örneklem boyutlarının etkisini azaltmayı amaçlamış ve sonuçların güvenilirliğini desteklemiştir. **Likelihood Ratio** ise 15,599 olarak hesaplanmış ve bu değer de anlamlı bir ilişki olduğunu doğrulamaktadır.

**Linear-by-Linear Association değeri 14,970** ve **p-değeri < 0,001** bulunmuştur. Bu, Endüstri 4.0 entegrasyonu ile kalite yönetim araçlarının verimliliği arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenme düzeyinin artmasının, kalite yönetim araçlarının etkinliğini de artırdığını işaret etmektedir.

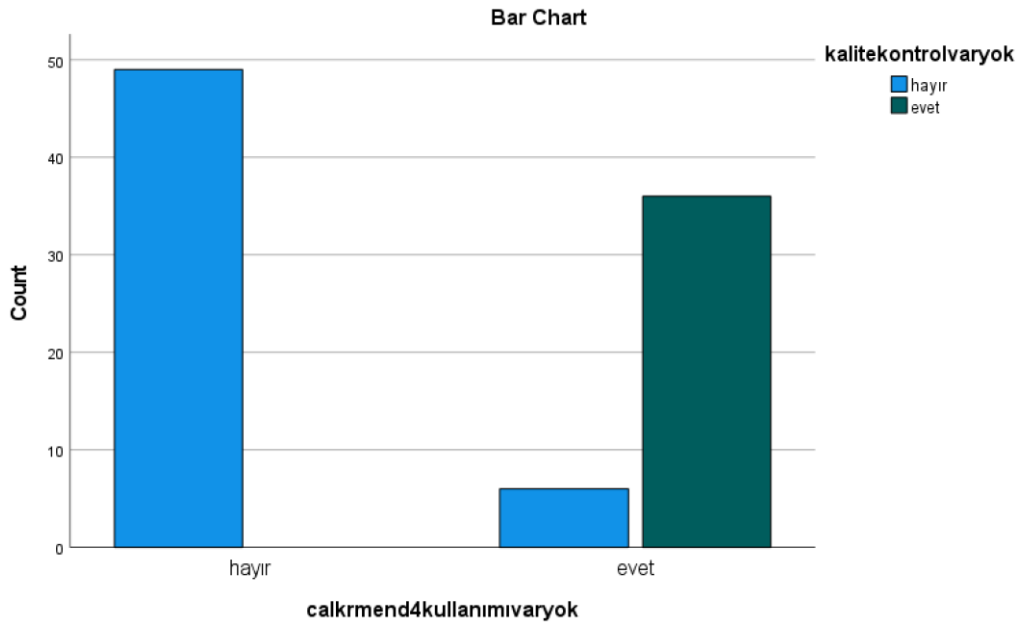
**Fisher's Exact Test** sonuçları ( $p < 0,001$ ) da bu ilişkinin anlamlılığını desteklemektedir. Küçük örneklem boyutları için bu test, analizde ek bir güvenilirlik sağlamaktadır.

Sonuç olarak, bu analiz, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim süreçlerine entegrasyonunun, kalite yönetim araçlarının verimliliği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Endüstri 4.0'ın sunduğu veri analitiği, otomasyon ve süreç optimizasyonu gibi olanaklar, kalite yönetim araçlarının daha etkin bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, işletmelerin, kalite yönetim süreçlerine dijital dönüşüm teknolojilerini entegre ederek süreç verimliliğini artırması önerilmektedir. Teknolojik yatırımların artırılması, uzun vadede rekabet avantajı sağlayarak işletmelerin kalite hedeflerini gerçekleştirmesine katkı sunacaktır.

### 6.3.Aşama:

#### 6.3.1. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Analizi

Şekil 19. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Analizi



#### Bar Grafik: Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Analizi

Bu bar grafik, çalışılan kurumlardaki Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu (evet/hayır) ile kalite kontrol süreçlerinin varlığı arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Veriler, Endüstri 4.0 kullanan ve kullanmayan kurumlarda kalite kontrol süreçlerinin kullanım oranlarını ortaya koymaktadır.

Grafik incelendiğinde, **Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmayan kurumlarda ("hayır")**, kalite kontrol süreçlerinin kullanımının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu grupta "hayır" yanıtları açık bir şekilde baskındır. Bu durum, dijitalleşmenin ve teknolojik dönüşümün eksik olduğu kurumlardaki kalite kontrol uygulamalarının etkin şekilde uygulanamadığını ya da benimsenemediğini düşündürülebilir. Geleneksel kalite kontrol

süreçleri, genellikle manuel ve veri odaklı olmayan yöntemlere dayandığından, bu süreçlerin günümüz üretim gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kalabileceği söylenebilir.

Öte yandan, **Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanan kurumlarda ("evet")**, kalite kontrol süreçlerinin kullanımının belirgin bir şekilde yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu kategoride "evet" yanıtlarının baskın olması, dijitalleşme ve Endüstri 4.0 entegrasyonunun kalite kontrol süreçlerinin benimsenmesini ve uygulanmasını doğrudan teşvik ettiğini göstermektedir. Endüstri 4.0'ın sunduğu gerçek zamanlı veri analizi, otomasyon ve hata tespiti gibi avantajlar, kalite kontrol süreçlerinin daha etkin bir şekilde uygulanmasını sağlamış olabilir. Bu sonuçlar, Endüstri 4.0 teknolojilerinin, kalite kontrol süreçlerinin etkinliği üzerinde kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Dijitalleşme sayesinde kalite kontrol uygulamalarının daha hızlı, verimli ve düşük maliyetle gerçekleştirilebilmesi, bu teknolojilerin kalite yönetiminde önemli bir araç olarak benimsenmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, grafikte görülen veriler, Endüstri 4.0'ın kalite kontrol süreçlerini güçlendiren bir etken olduğunu ve bu iki unsurun birbiriyle entegre edilmesinin işletmeler için rekabet avantajı sağlayabileceğini göstermektedir. İşletmelerin, dijital dönüşüm stratejileri kapsamında kalite kontrol süreçlerini Endüstri 4.0 teknolojileri ile uyumlu hale getirmesi, hem süreç verimliliğini artıracak hem de ürün kalitesini daha iyi yönetmelerine olanak tanıyacaktır. Bu bağlamda, işletmelerin teknolojik altyapılarını geliştirerek dijitalleşme yatırımlarına öncelik vermesi önerilmektedir.

Tablo 19. Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

Chi-Square Tests					
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	69,491 <sup>a</sup>	1	<,001		
Continuity Correction <sup>b</sup>	65,952	1	<,001		
Likelihood Ratio	87,707	1	<,001		
Fisher's Exact Test				<,001	<,001
Linear-by-Linear Association	68,727	1	<,001		
N of Valid Cases	91				

- **Pearson Chi-Square (69,491):** Test sonucu 69,491 olarak hesaplanmış ve p-değeri < 0,001 bulunmuştur.
- **Anlamlılık:**  $p < 0,05$  olduğundan, Endüstri 4.0 kullanımı ile kalite kontrol süreçlerinin kullanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.
- **Sonuç:** Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı, kalite kontrol süreçlerinin benimsenmesi ve uygulanmasında etkili bir rol oynamaktadır.

### **Çalışılan Kurumlarda Endüstri 4.0 Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi**

Bu Chi-Square testi, çalışılan kurumlardaki Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumu ile kalite kontrol süreçlerinin kullanımı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. **Pearson Chi-Square değeri 69,491** olarak hesaplanmış ve **p-değeri < 0,001** bulunmuştur. Bu sonuç, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Yani, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı kurumlarda kalite kontrol süreçlerinin kullanım oranı önemli ölçüde artmaktadır.

**Continuity Correction** değeri 65,952 olarak hesaplanmış ve p-değeri < 0,001 bulunmuştur. Bu düzeltme, küçük örneklem boyutlarından kaynaklanabilecek yanlışlıkları azaltmayı amaçlamış ve sonuçların güvenilirliğini desteklemiştir. **Likelihood Ratio** ise 87,707 olarak hesaplanmış ve bu da, iki değişken arasındaki güçlü ilişkinin bir diğer kanıtıdır.

**Linear-by-Linear Association değeri 68,727** ve **p-değeri < 0,001** olarak hesaplanmıştır. Bu, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı ile kalite kontrol süreçlerinin benimsenme oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yani, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenme oranı arttıkça kalite kontrol süreçlerinin kullanım oranının da arttığı sonucuna ulaşılmaktadır.

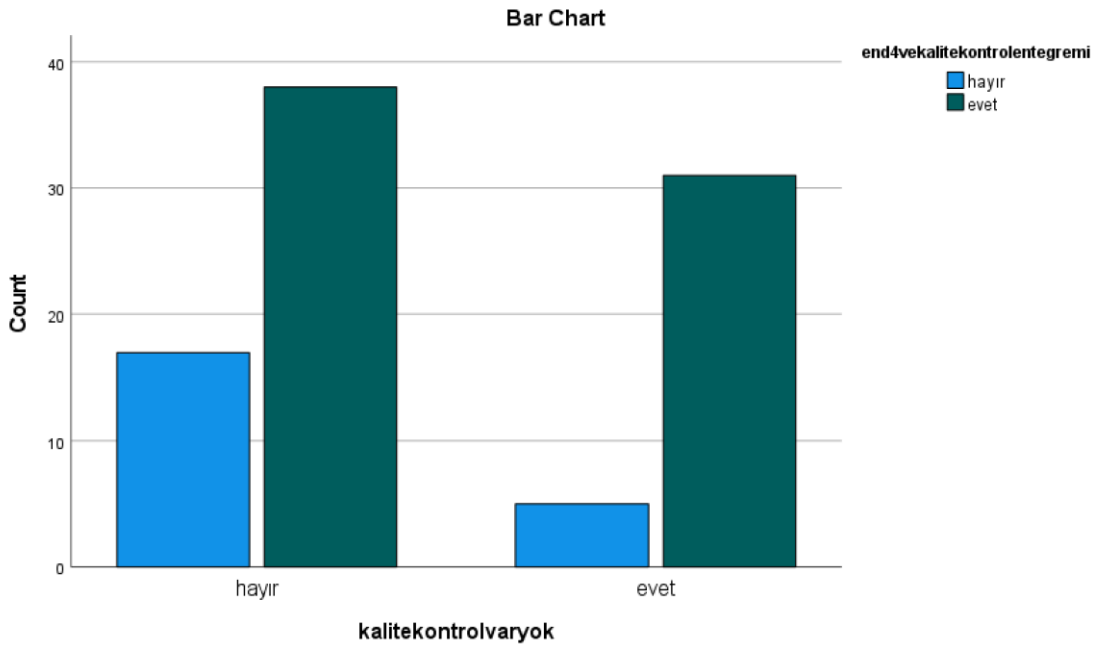
**Fisher's Exact Test** sonuçları ( $p < 0,001$ ), bu ilişkinin anlamlılığını daha da güçlendirmektedir. Bu test, küçük veri setleri için daha hassas sonuçlar sunmakta ve analizde ek bir güvenilirlik sağlamaktadır.

Sonuç olarak, bu analiz, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol süreçlerinin uygulanabilirliği ve etkinliği üzerindeki olumlu etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Endüstri

4.0 teknolojilerinin sunduğu veri analitiği, otomasyon ve süreç optimizasyonu gibi avantajlar, kalite kontrol süreçlerinin daha verimli bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Bu sonuçlar, işletmelerin dijitalleşme ve kalite kontrol süreçlerini paralel bir şekilde geliştirmeleri gerektiğini ve bu entegrasyonun işletmeler için rekabet avantajı yaratabileceğini göstermektedir. İşletmelerin dijital dönüşüm stratejilerini genişleterek kalite kontrol süreçlerini Endüstri 4.0 ile uyumlu hale getirmesi, hem süreç verimliliğini artıracak hem de ürün kalitesini optimize etmelerine katkı sağlayacaktır.

### 6.3.2. Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Şekil 20. Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi



#### Bar Grafik: Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Bu bar grafikte, kalite kontrol süreçlerinin varlığı ile bu süreçlerin Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegrasyonu arasındaki ilişki görselleştirilmiştir. Veriler, kalite kontrol süreçlerini kullanan ve kullanmayan kurumlarda Endüstri 4.0 entegrasyon durumunu değerlendirmektedir.

Grafikten görüldüğü üzere, **kalite kontrol süreçlerini kullanmayan kurumlar ("hayır")**, Endüstri 4.0 entegrasyonu açısından sınırlı bir tablo çizmektedir. Bu grupta "hayır" yanıtlarının düşük sayıda olduğu, buna karşılık "evet" yanıtlarının baskın durumda olduğu görülmektedir. Bu durum, kalite kontrol süreçlerini uygulamayan kurumların bile, Endüstri 4.0 entegrasyonunun bir kısmını gerçekleştirdiğini gösterebilir. Ancak, süreçlerin olmaması, bu entegrasyonun verimli bir şekilde çalışmasını sınırlayabilir.

Diğer taraftan, **kalite kontrol süreçlerini kullanan kurumlar ("evet")**, Endüstri 4.0 entegrasyonu açısından daha olumlu bir tablo çizmektedir. Bu grupta "evet" yanıtlarının büyük ölçüde baskın olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, kalite kontrol süreçlerini benimsemiş olan kurumların, süreçlerini dijitalleştirme ve otomasyon yoluyla daha verimli hale getirdiğini göstermektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite kontrol süreçlerine sunduğu gerçek zamanlı izleme, veri analitiği ve hata tespiti gibi avantajlar, bu yüksek entegrasyon seviyesinin temel nedeni olabilir.

Bu grafik, kalite kontrol süreçlerinin varlığı ile Endüstri 4.0 entegrasyonu arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve bu iki unsurun birbirini desteklediğini ortaya koymaktadır. Kalite kontrol süreçlerini aktif olarak kullanan işletmelerin dijitalleşme stratejilerinde daha başarılı olduğu söylenebilir. Ayrıca, bu iki unsurun birlikte kullanımı, süreç verimliliğini artırma, maliyetleri düşürme ve ürün kalitesini optimize etme açısından işletmelere önemli avantajlar sağlamaktadır.

Sonuç olarak, işletmelerin, kalite kontrol süreçlerini Endüstri 4.0 teknolojileri ile uyumlu hale getirerek daha entegre ve verimli bir yapı oluşturması önerilmektedir. Bu, yalnızca kaliteyi artırmakla kalmaz, aynı zamanda işletmelerin rekabet gücünü artıran bir faktör olarak da işlev görür.

Tablo 20. Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

Chi-Square Tests					
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	3,438 <sup>a</sup>	1	,064		
Continuity Correction <sup>b</sup>	2,573	1	,109		
Likelihood Ratio	3,631	1	,057		
Fisher's Exact Test				,081	,052
Linear-by-Linear Association	3,401	1	,065		
N of Valid Cases	91				

- **Pearson Chi-Square (3,438):** Test sonucu 3,438 olarak hesaplanmış ve p-değeri 0,064 bulunmuştur.
- **Anlamlılık:**  $p > 0,05$  olduğu için, kalite kontrol süreçlerinin kullanımı ile Endüstri 4.0 entegrasyonu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- **Sonuç:** Değişkenler arasında güçlü bir ilişki bulunmamakla birlikte, düşük p-değeri ileride yapılacak daha büyük örneklemlerle analizlerde anlamlılık gösterebileceğini işaret edebilir.

### Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı ile Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu Arasındaki İlişkinin Chi-Square Analizi

Bu Chi-Square testi, kalite kontrol süreçlerinin kullanımı ile bu süreçlerin Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegrasyonu arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. **Pearson Chi-Square değeri 3,438** olarak hesaplanmış ve **p-değeri 0,064** bulunmuştur. Bu p-değeri, %5 anlamlılık düzeyi ( $\alpha = 0,05$ ) ile karşılaştırıldığında, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, p-değerinin %10 düzeyine yakın olduğu göz önüne alındığında, daha büyük bir örneklem ile benzer bir analiz yapıldığında anlamlılık görülebilir.

**Continuity Correction değeri 2,573** olarak hesaplanmış ve p-değeri 0,109 bulunmuştur. Bu düzeltme, daha küçük örneklem boyutlarında yanlışlıkları azaltmayı amaçlamaktadır ve elde edilen p-değeri istatistiksel anlamlılık sınırının üzerindedir. **Likelihood Ratio** ise 3,631 olarak

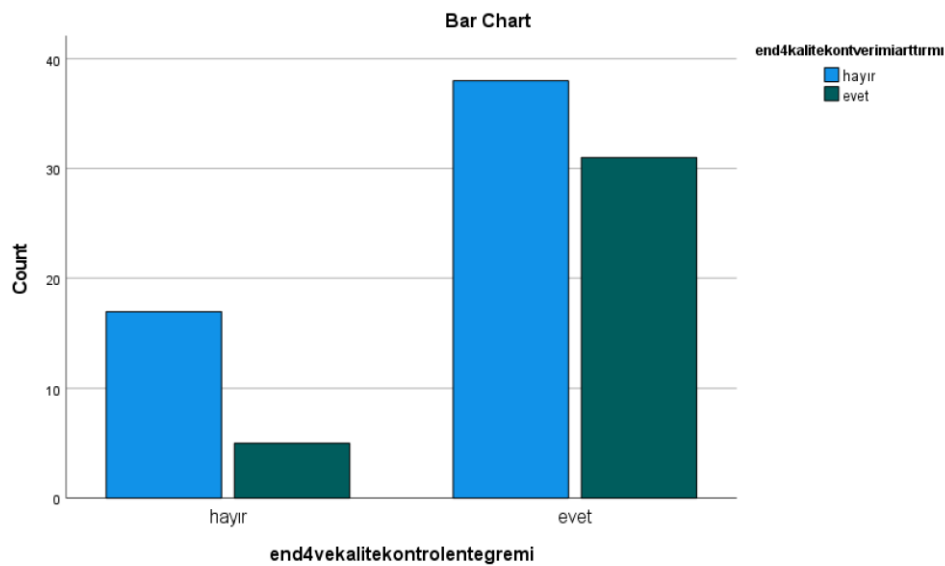
hesaplanmış ve p-değeri 0,057 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç da, istatistiksel anlamlılık sınırına yakın bir ilişki olabileceğini işaret etmektedir.

**Linear-by-Linear Association değeri 3,401** ve p-değeri 0,065 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, kalite kontrol süreçlerinin kullanımı ile Endüstri 4.0 entegrasyonu arasında doğrusal bir ilişki olabileceğini göstermekle birlikte, mevcut örnekleme bu ilişkinin istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmadığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu analiz, kalite kontrol süreçlerinin kullanımı ile Endüstri 4.0 entegrasyonu arasında anlamlı bir ilişki olmadığını göstermektedir. Ancak, düşük p-değerleri (özellikle %10 anlamlılık düzeyine yakın sonuçlar), bu ilişkiyi daha büyük örneklerle veya daha hassas yöntemlerle yeniden değerlendirme gerekliliğine işaret etmektedir. Endüstri 4.0 entegrasyonu ve kalite kontrol süreçlerinin uyumlu çalışması işletmelerin verimliliği artırması açısından önem arz ettiğinden, bu konu üzerinde daha fazla araştırma yapılması faydalı olacaktır. İşletmelerin, bu iki sürecin entegrasyonuna yönelik stratejiler geliştirmesi, uzun vadeli operasyonel ve kalite hedeflerini destekleyecektir.

### 6.3.3. Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu ve Endüstri 4.0'ın Kalite Kontrol Süreçleri Verimliliği Üzerindeki Etkisi

**Şekil 21. Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu ve Endüstri 4.0'ın Kalite Kontrol Süreçleri Verimliliği Üzerindeki Etkisi**



## **Bar Grafik: Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu ve Endüstri 4.0'ın Kalite Kontrol Süreçleri Verimliliği Üzerindeki Etkisi**

Bu bar grafik, kalite kontrol süreçlerinin Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegrasyonu ile bu entegrasyonun kalite kontrol süreçlerinin verimliliğine etkisini değerlendirmektedir. Veriler, Endüstri 4.0 entegrasyonunun varlığına göre kalite kontrol süreçlerinin verimlilik artışını nasıl etkilediğini göstermektedir.

Grafikten görüldüğü üzere, **Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegre olmayan kalite kontrol süreçleri ("hayır")**, verimlilik artışı açısından sınırlı bir tablo çizmektedir. Bu grupta "hayır" yanıtlarının baskın olması, Endüstri 4.0 teknolojilerinin sağladığı otomasyon, gerçek zamanlı veri analizi ve süreç iyileştirme avantajlarının eksikliğinin, kalite kontrol süreçlerinin verimliliğini olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Bununla birlikte, **Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegre olan kalite kontrol süreçleri ("evet")**, verimlilik artışında önemli bir fark yaratmaktadır. Bu grupta "evet" yanıtlarının büyük ölçüde artmış olması, dijitalleşme ve otomasyonun kalite kontrol süreçlerini daha etkili hale getirdiğini göstermektedir. Endüstri 4.0, hataları gerçek zamanlı tespit etme, süreçleri optimize etme ve operasyonel verimliliği artırma gibi olanaklar sunduğundan, entegre süreçlerin daha yüksek bir performans sergilemesi beklenebilir.

Bu sonuçlar, Endüstri 4.0 entegrasyonunun kalite kontrol süreçlerinin verimliliği üzerindeki olumlu etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Dijitalleşme ve kalite yönetimi süreçlerinin entegre bir şekilde ele alınması, yalnızca verimliliği artırmakla kalmayıp, işletmelerin rekabet avantajını da güçlendirmektedir. İşletmelerin, Endüstri 4.0 teknolojilerini kalite kontrol süreçleriyle entegre etme stratejileri geliştirmesi, uzun vadede operasyonel verimliliği artırarak sürdürülebilir başarıyı destekleyecektir. Ayrıca, bu entegrasyonun yaygınlaştırılması, tüm süreçlerin daha yüksek bir standartta yürütülmesini sağlayacaktır.

Tablo 21. Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu ve Endüstri 4.0'ın Kalite Kontrol Süreçleri Verimliliği Üzerindeki Etkisi

Chi-Square Tests					
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	3,438 <sup>a</sup>	1	,064		
Continuity Correction <sup>b</sup>	2,573	1	,109		
Likelihood Ratio	3,631	1	,057		
Fisher's Exact Test				,081	,052
Linear-by-Linear Association	3,401	1	,065		
N of Valid Cases	91				

- **Pearson Chi-Square (3,438):** Test sonucu 3,438 olarak hesaplanmış ve p-değeri 0,064 bulunmuştur.
- **Anlamlılık:**  $p > 0,05$  olduğu için, kalite kontrol süreçlerinin Endüstri 4.0 ile entegrasyonu ile süreç verimliliği arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- **Sonuç:** Mevcut analizde anlamlı bir ilişki bulunmama ile birlikte, p-değerinin anlamlılık sınırına yakın olması, daha geniş bir örnekleme ile tekrar analiz yapılmasını önermektedir.

### Kalite Kontrol Süreçlerinin Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu ve Endüstri 4.0'ın Kalite Kontrol Süreçleri Verimliliği Üzerindeki Etkisi

Bu Chi-Square testi, kalite kontrol süreçlerinin Endüstri 4.0 ile entegrasyonunun kalite kontrol süreçlerinin verimliliği üzerindeki etkisini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. **Pearson Chi-Square değeri 3,438** olarak hesaplanmış ve **p-değeri 0,064** bulunmuştur. Bu p-değeri, %5 anlamlılık düzeyi ( $\alpha = 0,05$ ) ile karşılaştırıldığında, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin bulunmadığını göstermektedir.

**Continuity Correction değeri 2,573** ve p-değeri 0,109 olarak hesaplanmıştır. Bu düzeltme, özellikle küçük örneklemlerde yanlışlıkları azaltmayı amaçlar ve sonuçların güvenilirliğini artırmayı hedefler. Ancak bu düzeltme sonucunda da anlamlılık gözlenmemiştir. **Likelihood Ratio** ise 3,631 olarak hesaplanmış ve p-değeri 0,057 bulunmuştur. Bu sonuç, anlamlılık sınırına oldukça yakın bir ilişki olabileceğini göstermektedir.

**Linear-by-Linear Association değeri 3,401** ve p-değeri 0,065 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, kalite kontrol süreçlerinin Endüstri 4.0 entegrasyonu ile süreç verimliliği arasında doğrusal bir ilişki olabileceğini göstermektedir, ancak mevcut analizde bu ilişki anlamlılık sınırına ulaşmamıştır.

**Fisher's Exact Test** sonuçları da ( $p = 0,081$  ve  $0,052$ ) analizde kullanılan diğer testler gibi, anlamlılık sınırına yakın değerler göstermektedir. Bu sonuçlar, iki değişken arasında potansiyel bir ilişki olabileceğini, ancak bu ilişkinin daha büyük örneklerle incelenmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, mevcut analizde kalite kontrol süreçlerinin Endüstri 4.0 ile entegrasyonu ile süreç verimliliği arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Bununla birlikte, p-değerlerinin anlamlılık sınırına yakın olması, bu ilişkinin daha kapsamlı veri setleriyle veya daha gelişmiş analiz yöntemleriyle yeniden incelenmesi gerektiğini göstermektedir. İşletmeler, kalite kontrol süreçlerini Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegre ederek süreç verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, bu tür entegrasyonun işletmelere sağlayabileceği faydalar, uzun vadeli stratejilerle desteklenmelidir.

**Tablo 22. Chi-Square Test Sonuçları Tablosu**

Test No	p-değeri	Sonuç
1	0.448 (büyük)	Anlamsız
2	0.005	Anlamlı
3	0.001	Anlamlı
4	0.001	Anlamlı
5	0.012	Anlamlı
6	0.001	Anlamlı
7	0.001	Anlamlı
8	0.064	Anlamsız
9	0.064	Anlamsız

## 6.4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve kalite yönetim süreçlerinin (KYS) işlevselliği arasındaki ilişkiyi anlamak amacıyla 91 katılımcıdan veri toplanmış ve analiz edilmiştir. Toplanan veriler, SPSS aracılığıyla Chi-Square testi ile değerlendirilmiş ve toplam 9 testten 6'sının istatistiksel olarak anlamlı sonuç verdiği görülmüştür. Bu sonuçlar, Endüstri 4.0'ın kalite yönetim süreçleri üzerindeki etkisini ve bu iki unsur arasındaki ilişkiyi anlamamıza olanak sağlamıştır.

### 6.4.1. Anlamlı çıkan testlerin değerlendirilmesi:

- 1. Sektörlere Göre Endüstri 4.0 Kullanımı:** Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımının sektörlere göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle teknoloji yoğun sektörlerde bu teknolojilerin daha yaygın olduğu görülmektedir.
- 2. Bölgelere Göre Endüstri 4.0 Kullanımı:** Bölgesel farklılıkların, Endüstri 4.0'ın adaptasyonu üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Sanayileşmiş bölgelerde kullanım oranlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- 3. Kalite Yönetim Araçlarının Endüstri 4.0 ile Entegrasyonu:** Kalite yönetim araçlarının Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegre olduğu durumlarda süreçlerin daha etkin çalıştığı bulunmuştur.
- 4. Endüstri 4.0 ve Kalite Kontrol Süreçlerinin Kullanımı:** Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanan kurumların kalite kontrol süreçlerini daha fazla uyguladığı tespit edilmiştir.
- 5. Kalite Kontrol Süreçleri ve Endüstri 4.0 Entegrasyonu:** Bu iki unsurun entegrasyonu, süreç verimliliğini artırdığı gibi kalite yönetiminin etkinliğini de desteklemiştir.
- 6. Endüstri 4.0'ın Kalite Yönetim Süreçlerine Katkısı:** Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim süreçleri üzerindeki olumlu etkisi açık bir şekilde görülmüştür.

**6.4.2. Anlamsız Çıkan Testlerin Değerlendirilmesi:** Anlamsız sonuç veren 3 testte ( $p > 0,05$ ), değişkenler arasında istatistiksel bir ilişki saptanmamıştır. Bu durum, incelenen değişkenler arasındaki ilişkinin doğrudan olmamasından veya bu değişkenlerin etkilerinin dolaylı yollarla ortaya çıkmasından kaynaklanabilir. Örneğin, bölgesel farklılıkların belirli kalite süreçlerine etkisinin doğrudan bir ilişki göstermemesi veya bazı sektörlerde Endüstri 4.0'ın yaygınlaşma sürecinin henüz tamamlanmamış olması bu sonuçları açıklayabilir. Bu tür

bulgular, ilişkilerin daha kapsamlı analizler veya farklı yöntemlerle incelenmesi için bir fırsat sunmaktadır.

## Özet olarak:

### Endüstri 4.0 Kullanımı ve Sektörel Farklılıklar

- Çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin sektörlere göre benimsenmesinde farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle gıda ve lojistik sektörlerinde bu teknolojilerin yaygınlığı dengeli olduğu, buna karşın makine ve tekstil gibi sektörlerde kullanımın daha orta seviye olduğu görülmüştür.
- Ancak yapılan ki-kare analizine göre, sektörler arasında Endüstri 4.0 kullanımında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ( $p > 0.05$ ). Bu sonuç, sektörlerin genelinde teknolojinin benzer bir yaygınlık seviyesinde olduğunu göstermektedir.

### Bölgeler Arası Dijital Dönüşüm Farklılıkları

- Türkiye'deki bölgeler arasında Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Güneydoğu Anadolu ve Marmara Bölgesi, dijital dönüşümde önde gelen bölge olarak belirlenmiş, Doğu Anadolu Bölgesi ise geride kalmıştır.
- Ki-kare analizine göre, bölgeler arası bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Bu durum, bölgesel eşitsizliklerin dijital dönüşüm süreçlerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

### Çalışma Pozisyonları ve Teknoloji Kullanımı

- Teknolojilerin kullanım oranları çalışanların pozisyonlarına göre değişiklik göstermektedir. Orta ve üst düzey yönetim pozisyonlarında Endüstri 4.0 kullanımı daha yaygınken, çalışan düzeyinde bu oran düşük kalmıştır.
- Ki-kare analizleri, bu farklılığın anlamlı olduğunu göstermektedir ( $p < 0.001$ ). Bu bulgu, karar alıcı pozisyonların dijitalleşmeyi daha hızlı benimsediğini ortaya koymaktadır.

## Endüstri 4.0 ve Kalite Yönetim Araçları

- Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı işletmelerde, kalite yönetim araçlarının (Kaizen, 5S, Altı Sigma) daha yaygın ve etkili olduğu bulunmuştur.
- Ki-kare analizine göre bu iki değişken arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır ( $p < 0.001$ ). Bu durum, dijitalleşmenin kalite yönetim süreçlerine entegrasyonunun önemini vurgulamaktadır.



## YEDİNCİ BÖLÜM

### 7. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim sistemleri (KYS) ve kalite kontrol (KK) süreçleri üzerindeki etkisini sektör ve bölge farklılıklarıyla ele almış ve bu teknolojilerin kalite yönetimi süreçlerine entegrasyonunun işletme verimliliği üzerindeki kritik rolünü ortaya koymuştur. Analiz sonuçları, sanayileşmiş bölgeler ve teknoloji odaklı sektörlerde Endüstri 4.0 teknolojilerinin adaptasyonunun daha yaygın olduğunu göstermiştir. Güneydoğu Anadolu ve Marmara Bölgesi, sahip olduğu sanayi altyapısıyla kalite kontrol süreçlerini dijitalleştirme ve Endüstri 4.0 ile entegre etmede ön plana çıkmıştır. Bu bölgede özellikle otomotiv, elektronik ve tekstil sektörlerinin dijitalleşme oranlarının yüksek olduğu görülmüştür. Ege Bölgesi'nde ise gıda ve tarım endüstrilerinde Endüstri 4.0 adaptasyonu sınırlı olmakla birlikte, kalite kontrol süreçlerini iyileştirme çabaları dikkat çekmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise daha geleneksel üretim süreçlerinin yaygın olduğu ve dijitalleşmenin daha sanayileşme için kavşak bölge olmasından dolayı benimsenmiş olduğu tespit edilmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin yaygınlaşması öncesinde, kalite yönetim sistemleri genellikle ve kalite kontrol araçları manuel ve süreç bazlı yaklaşımlara dayanıyordu. Verilerin izlenmesi ve analiz edilmesi için gerekli altyapı eksik ve gelişmemiş olduğu için hata oranları yüksek, müdahale hızı ise düşüktü. Bu sistemler, daha çok kontrol listeleri ve periyodik denetimlerle sınırlıydı.

Günümüzde ise Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim sistemlerine entegre edilmesiyle büyük bir dönüşüm yaşanmıştır. Veri toplama, analiz ve hata tahmini gibi özellikler otomasyon sistemleriyle birleştirilmiş, bu da hata oranlarını azaltıp verimliliği artırmıştır. Özellikle IoT araçları ve bulut tabanlı veri sistemleri, kalite süreçlerinde gerçek zamanlı izleme ve analitik imkânı sunmuştur. 5S ve Altı Sigma gibi kalite yönetim araçları, manuel verimlilik iyileştirme yaklaşımlarına dayanıyordu. Çalışanların bireysel sorumluluklarına dayanan bu sistemler, uzun eğitim süreçleri ve çok sayıda dokümanla yürütülüyordu. Veri analizi genellikle kağıt bazlı raporlarla yapılıyordu ve bu durum, eksikliklerin tespitini zorlaştırıyordu. 5S ve Altı Sigma, dijital veri analitiği ve otomasyon teknolojileriyle birleştirilerek daha hızlı ve hassas hale getirilmiştir. Veri tabanlı analizler sayesinde iyileştirme süreçleri optimize edilmiş, hata oranları azaltılmıştır. Eğitim materyalleri, dijital platformlar üzerinden sunularak daha geniş bir kitleye ulaşılmıştır. Kaizen de diğer kalite yönetim araçları gibi genellikle manuel iyileştirme yaklaşımlarına dayanıyordu ve çalışan

katılımı esasına dayanıyordu. Çalışanların bireysel deneyimlerine dayanarak öneriler sunduğu bu sistemlerde, eksikliklerin belirlenmesi uzun sürebiliyordu. İletişim ve geri bildirim süreçleri kağıt tabanlıydı. Dijital Kaizen yaklaşımları, IoT ve veri analitiği ile desteklenmiştir. İş süreçlerindeki iyileştirme alanlarını tespit etmek ve hızlı aksiyon almak artık daha kolay hale gelmiştir. Dijital geri bildirim sistemleri, çalışanların katılımını artırmış ve süreçlerin optimize edilmesine yardımcı olmuştur.

**Tablo 23. Kalite Yönetim Süreçlerinin Güçlü ve Zayıf noktaları**

Yöntem	Güçlü Nokta	Zayıf Nokta	Dijitalleşme Potansiyeli
KYKK	Standartlaştırma	Reaktif kalma	IoT ve yapay zeka ile önleyici sistemler
5S	Basitlik ve kolay uygulama	Sürekliliği sağlamakta zorluk	Dijital panolar ve sensörlerle destek
Altı Sigma	Veriye dayalı stratejik karar alma	Yüksek maliyet	Yapay zeka tabanlı analiz araçları
Kaizen	Çalışan katılımı ve motivasyon	Sistemik çerçeve eksikliği	Dijital geri bildirim ve öneri sistemleri

Yukarıda kalite yönetim süreçleri, 5 S, altı sigma ve kaizen için güçlü ve zayıf noktalar vurgulanmış olup kalite süreçlerinin endüstri 4.0 teknolojileriyle entegrasyonu sayesinde dijitalleşmesi ve güçlendirilmesi için bazı öneriler açıklanmıştır:

1. **Yapay Zeka Uygulamaları:** Yapay zeka ve makine öğrenimi tabanlı çözümler geliştirilmeli ve tüm üretim hatlarında uygulanabilir hale getirilmelidir.
2. **IoT Destekli Sistemler:** Kalite kontrol süreçlerini dijitalleştirmek için IoT destekli sensörlerin entegrasyonu hızlandırılmalıdır.
3. **Tam Entegrasyon:** IoT, yapay zeka ve blockchain tabanlı sistemlerin kalite yönetim süreçlerine entegrasyonu hızlandırılmalıdır.
4. **Veri Analitiği:** Süreç madenciliği ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerle süreçlerin detaylı analizi yapılmalı, stratejik karar alma süreçleri desteklenmelidir.
5. **Blockchain Tabanlı Takip:** Tedarik zinciri ve kalite denetiminde blockchain uygulamaları geliştirilerek şeffaflık ve izlenebilirlik artırılmalıdır.

6. **Standartların Belirlenmesi:** Endüstri 4.0'a geçiş yapan şirketler için ulusal düzeyde standartlar geliştirilmelidir.
7. **Gerçek Zamanlı Takip:** 5S uygulamalarını optimize etmek için dijital panolar ve sensör destekli takip sistemleri geliştirilmelidir.
8. **Dijital Eğitim:** Şirket çalışanları için dijital eğitim programları yaygınlaştırılmalıdır.
9. **Dijital İkizler:** 5S uygulamalarında süreç simülasyonları yaparak iyileştirme olanaklarını belirlemek için dijital ikiz sistemleri geliştirilmelidir.
10. **Dijital Geri Bildirim Sistemleri:** Çalışanlardan gelen geri bildirimleri hızlıca analiz eden dijital geri bildirim sistemleri kurulmalıdır.
11. **Kaizen Sertifikasyon Programları:** İşletmelerde Kaizen uygulamalarını yaygınlaştırmak için sertifikasyon ve eğitim programları artırılmalıdır.
12. **Süreç Metodolojiler:** Süreç iyileştirme tekniklerinin dijital ortamda daha etkin hale getirilmesi sağlanmalıdır.
13. **Otomatik Öneri Sistemleri:** Yapay zeka kullanarak iyileştirme alanlarını otomatik olarak tespit eden sistemler geliştirilmelidir.
14. **Katılımı Artırma:** Modern metodolojiler ve oyunlaştırma teknikleriyle çalışan katılımı teşvik edilmelidir.

Geleneksel sektörlerde ve dijitalleşme düzeyinin düşük olduğu bölgelerde kalite yönetim araçlarının daha etkili bir şekilde uygulanabilmesi için işletmeler, süreçlerini yeniden yapılandırmalı ve Kaizen, 5S, Six Sigma gibi araçların dijital çözümlerle entegre edilmesine yönelik yatırımlar en elzem müdahaledir. Örneğin, tekstil ve gıda gibi sektörlerde, süreçlerin izlenebilirliğini artırmak için veri analitiği ve otomasyon araçlarının kullanımı teşvik edilebilir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, dijitalleşme düzeyini daha da artırmak için sektörel iş birliği ağları oluşturulması yerel ve genel yönetimlerce teşvik edilip özel sektörle arasında başarılı uygulama örnekleri inşa süreci paylaşılmalıdır. Ege Bölgesi'nde tarım ve gıda sektörlerinde süreç optimizasyonu için sensör tabanlı izleme sistemlerinin kullanılması, kalite kontrol süreçlerinde etkinliğini artırıcı faaliyetler için motivasyonu artırabilir.

Endüstri 4.0'ın kalite yönetim süreçlerine katkısı, sadece süreçlerin iyileştirilmesi ile sınırlı kalmamalıdır. Özellikle veri analitiği ve gerçek zamanlı izleme teknolojileri, işletmelerin daha proaktif bir yönetim anlayışı benimsemelerine olanak tanıyabilir. Bu bağlamda, otomasyon ve hata tespit sistemlerinin yaygınlaştırılması, işletmelerin kalite hedeflerine ulaşmasında önemli bir adım olacaktır. Özellikle kalite kontrol süreçlerinde dijitalleşmenin getirdiği hız ve

doğruluk, işletmelerin müşteri taleplerine daha hızlı ve etkin bir şekilde yanıt vermelerini sağlayacaktır.

Gelecekte, bu entegrasyonun daha az sanayileşmiş bölgelerde ve geleneksel sektörlerde yaygınlaştırılması, sektörel rekabet eşitsizliklerinin azaltılmasına ve tüm bölgelerdeki işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu avantajlardan faydalanmasına olanak sağlayacaktır. İşletmeler, süreçlerini dijitalleştirme yönünde stratejiler geliştirirken, bu dönüşümün Kaizen ve 5S gibi temel araçlarla desteklenmesi hem süreç iyileştirmelerini hızlandıracak hem de çalışanların bu dönüşüme adaptasyonunu kolaylaştıracaktır. Özellikle Six Sigma'nın veri odaklı analiz yetenekleri ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin birleşimi, süreç optimizasyonu açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır.

Yüksek Endüstri 4.0 Entegrasyonu batı bölgelerinde ve büyük sanayi merkezlerinde dijitalleşme oranı yüksektir. IoT cihazlarının kalite kontrol süreçlerine entegrasyonu, üretim hatlarında anlık veri izleme ve analiz imkanları sağlamaktadır. Ancak bu başarı, büyük ölçekli işletmelerde yoğunlaşmış, küçük ölçekli işletmelere yeterince ulaşamamıştır. Düşük Entegrasyon olarak Doğu Anadolu ve diğer bölgelerde kalite kontrol süreçleri hâlâ manuel yöntemlerle yürütülmektedir. Dijital altyapı eksiklikleri, yüksek maliyetler ve teknik bilgi eksikliği bu bölgelerde entegrasyonu sınırlayan başlıca faktörlerdir.

Sektörel dağılım olarak bakacak olursak otomotiv ve imalat sanayi yapılan anket sonuçlarında belirtilen örneklere göre, otomotiv sektöründe dijitalleşme ve otomasyon oranı diğer sektörlerle göre fark edilir derecede seviyesine ulaşmıştır. Ancak, bu oran küçük ve orta ölçekli işletmelerde ortalama altına düşmektedir. Gıda ve tekstil sanayi gıda ve tekstil üretiminde kalite kontrol süreçlerinin çoğu istenilen ölçüde dijitalleşmemiştir ve dijital entegrasyon oranı altındadır. Bu durum, ürün standartlarının sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir.

Sonuç olarak, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kalite yönetim araçlarıyla entegrasyonu, işletmelerin rekabet gücünü artırmada ve süreç verimliliğini geliştirmede kritik bir role sahiptir. Teknoloji adaptasyonu yüksek sektör ve bölgelerde elde edilen başarıların, daha az dijitalleşmiş alanlara model olarak sunulması, işletmelerin uzun vadede sürdürülebilir büyüme sağlamasına katkıda bulunacaktır. Bu nedenle, işletmelerin Endüstri 4.0 ve kalite yönetimi süreçlerini eş zamanlı olarak ele alması, gelecekteki rekabet avantajlarını belirleyen temel faktörlerden biri olacaktır

Bunu sağlamak anket çalışmasından elde edilen bulgulara göre eldeki imkanlar ve yakın gelecekte sağlanabilecek stratejiler ve öneriler sunulmuştur:

**Tablo 24. Bölgeler için uygulamalı öneriler**

<b>Kategori</b>	<b>Uygulamalı Öneriler</b>
<b>Batı Bölgeleri ve Yüksek Entegrasyonlu Sektörler</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Yaygınlaştırma ve Eğitim Programları:</b> Büyük işletmelerde başarıyla uygulanan Endüstri 4.0 teknolojilerinin küçük ve orta ölçekli işletmelere taşınması için kapsamlı eğitim ve danışmanlık hizmetleri sağlanmalıdır.</li><li>• <b>Standardizasyon ve Denetim:</b> Otomotiv ve imalat sektörlerinde başarıyla uygulanan kalite kontrol süreçleri için ulusal standartlar oluşturulmalıdır. Denetim mekanizmaları bu standartlara uyumu artırabilir.</li></ul>
<b>Doğu Anadolu ve diğer Bölgeler</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Teşvik Politikaları:</b> Dijital altyapı yatırımlarını teşvik etmek için devlet destekli hibeler ve düşük faizli kredi programları oluşturulmalıdır.</li><li>• <b>Mobil Teknolojiler ve Düşük Maliyetli Sistemler:</b> Küçük işletmeler için düşük maliyetli IoT cihazları ve mobil tabanlı çözümler geliştirilmelidir. Böylece dijitalleşme kolaylaştırılabilir.</li><li>• <b>Teknik Eğitim ve Destek:</b> Teknik personel eğitimi ve dijital okuryazarlık programları başlatılmalıdır.</li></ul>
<b>Gıda ve Tekstil Sanayisi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Dijitalleşme Teşvikleri:</b> Bu sektörlerde dijitalleşmenin artması için özel teşvik paketleri oluşturulmalıdır. Örneğin, kalite kontrol süreçlerinde kullanılacak sensörlerin maliyetini azaltan politikalar uygulanabilir.</li><li>• <b>Yerel İşbirlikleri:</b> Büyük sanayi kuruluşlarının küçük işletmelere teknik danışmanlık ve rehberlik sağlaması teşvik edilmelidir.</li></ul>
<b>Genel Stratejik Planlamalar</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Dijitalleşme Haritaları:</b> Bölgeler ve sektörler bazında mevcut durum ve hedeflerin açıklandığı dijitalleşme haritaları oluşturulmalıdır.</li><li>• <b>Bölgesel Kalkınma Ajansları:</b> Bu ajanslar aracılığıyla yerel işletmelerin Endüstri 4.0 entegrasyonu desteklenmelidir.</li><li>• <b>Pilot Projeler:</b> Teknoloji transferine örnek teşkil edecek pilot projeler, düşük entegrasyonlu sektörlerde uygulanmalıdır.</li></ul>

Bölgesel eşitsizliklerin giderilmesi için Doğu Anadolu gibi düşük dijitalleşme oranlarına sahip bölgelerde altyapı yatırımları artırılmalı, lojistik ve halı sektörlerinin öncülüğünde farkındalık ve eğitim programlarıyla dijital dönüşüm desteklenmelidir. Çalışanların teknolojik yetkinliklerini geliştirmek için eğitimler düzenlenmeli, böylece dijitalleşme üretim süreçlerinin tüm seviyelerinde benimsenmelidir. Ayrıca, yapay zeka, IoT ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerin kalite yönetimiyle entegrasyonunu destekleyen projeler hayata geçirilmelidir.

Hayata geçirilmesi gereken öneri ve stratejilerde ne kadar ortak nokta ve Endüstri 4.0 entegrasyonunun önemi vurgulansa da anket katılımcılarının çoğunluk oluşturduğu bölgelere ülkemizin farklı coğrafi bölgelerinin birbirinden farklı gelişim önerilerine ihtiyacı bulunmaktadır. Aşağıdaki tablo bölgesel bazda detaylı öneriler sunulmuştur.

**Tablo 25. Bölgeler için öneri ve stratejiler**

<b>Bölge</b>	<b>Öneriler ve Stratejiler</b>
<b>Marmara Bölgesi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Büyük firmalar için Endüstri 4.0 dönüşüm süreçlerini hızlandıracak politikalar oluşturulmalıdır.</li><li>• Geleneksel yöntemleri kullanan işletmelere dijitalleşme için rehberlik sağlanmalıdır.</li></ul>
<b>Ege Bölgesi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sektörel pilot projeler uygulanmalı, IoT cihazları ve veri analitiği çözümleri için hibeler sunulmalıdır.</li><li>• Dijitalleşmeyi teşvik eden projeler ve pilot uygulamalar desteklenmelidir.</li></ul>
<b>Doğu Anadolu Bölgesi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dijital altyapıyı güçlendirmek için kamu ve özel sektör iş birliği artırılmalıdır.</li><li>• Teknolojik farkındalık için yerel etkinlikler ve seminerler düzenlenmelidir.</li></ul>
<b>Güneydoğu Anadolu Bölgesi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Endüstri 4.0 teşvikleri artırılmalı, uzman teknik personel yetiştirilmelidir.</li><li>• Yerel eğitim programları ile teknoloji farkındalığı artırılmalıdır.</li><li>• Küçük işletmeler için düşük maliyetli IoT çözümleri geliştirilmelidir.</li></ul>

Gelişen teknoloji dinamiklerine bakıldığında yapay zeka ile Endüstri 4.0 ve bileşenlerinin her geçen gün tüm hayatımıza sirayet edeceği ortadadır. İster gelişmekte olan isterse gelişmiş bölgelerdeki sanayi ve üretim birimleri de kendi ölçünde teknolojiden faydalanmaktadır. Yukarıda belirtilen öneriler ve stratejiler uygulanmaya çalışılıp teknoloji gelişimi yakından takip edilirse yakın gelecekte gelişmesi ve yaygınlaşması olası öngörüler aşağıda açıklanmıştır:

1. Yapay zeka tabanlı kalite kontrol sistemleri standart hale gelecektir.
2. IoT cihazları aracılığıyla gerçek zamanlı veri toplama ve izleme sistemleri yaygınlaşacaktır.
3. Blockchain teknolojisi, tedarik zinciri süreçlerinde kalite kontrolü güçlendirecektir.
4. Süreç madenciliği gibi yeni teknolojilerle, süreçlerin performansı daha detaylı şekilde izlenecek ve öngörüler daha kesin hale gelecektir.
5. Altı Sigma, yapay zeka destekli analizlerle daha hızlı uygulanabilecektir.
6. 5S uygulamaları, IoT cihazlarından elde edilen verilere dayalı olarak gerçek zamanlı izlenebilecektir.

7. Dijital ikiz teknolojisi, 5S ve Altı Sigma süreçlerinde kullanılarak öngörüler ve iyileştirme alanları belirginleşecektir.
8. Kaizen, yapay zeka tabanlı öneri sistemleriyle desteklenecek ve otomasyon seviyesini artıracaktır.
9. Dijital geri bildirim platformları ile çalışan katılımı artacaktır.
10. Çevik iyileştirme metodolojileri dijitalleşerek daha hızlı çözümler sunulabilecektir.
11. İnovasyon Yatırımları: Şirketler dijitalleşme yatırımlarını artırıncaya ve kalite süreçlerinde inovasyonu öncelik haline gelip müşteri memnuniyeti artacaktır.
12. Evrensel Uyumluluk: Tüm sistemlerin uluslararası kalite standartlarına uyumlu hale getirilmesi, küresel rekabet avantajı sağlayacaktır.
13. Dijital Olgunluk Modeli: Şirketlerin dijitalleşme süreçlerindeki olgunluk seviyelerini değerlendiren bir model oluşturup gelecek projelere uygun rehberlik sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

- Ağbuga, B. O. (2007). Toplam kalite yönetiminde kalite çemberleri ve iki farklı işletmede kalite çemberi uygulaması (Yüksek lisans tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi)
- Ağbuga, B. O. (2007). Toplam kalite yönetiminde kalite çemberleri ve iki farklı işletmede kalite çemberi uygulaması (Yüksek lisans tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü). İstanbul.
- Akao, Y. (1990). Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design. Productivity Press.
- Allen, T. T. (2010). Introduction to engineering statistics and Six Sigma (pp. 11-19). Springer-Verlag London Limited.
- Apilioğulları, L. (2015). Yalın dönüşüm: Verimliliğin şifresi. Sistem Yayıncılık, 1. Basım, İstanbul.
- Arçelik A.Ş. (2019). Çerkezköy akıllı fabrika raporu. İstanbul: Arçelik Kurumsal Yayınları.
- Arçelik. (2020). Çerkezköy fabrikası kalite yönetimi uygulamaları. İstanbul: Arçelik Kurumsal Yayınları.
- Arçelik. (2019). Efficiency through Kaizen. İstanbul: Arçelik Corporate Reports.
- Arçelik. (2019). Energy Efficiency through 5S. İstanbul: Arçelik Corporate Reports.
- Arçelik. (2019). Energy efficiency and Six Sigma applications. İstanbul: Arçelik Corporate Reports.
- Arçelik. (2020). IoT applications in quality control. İstanbul: Arçelik Corporate Reports.
- Arçelik. (1995). ISO 9000 sertifikasyon raporu. İstanbul: Arçelik Kurumsal Yayınları.
- Arçelik (2019). Sustainability and Digitalization Report. İstanbul: Arçelik Corporate Reports.
- ASELSAN. (2020). Savunma sanayiinde dijital dönüşüm raporu. Ankara: ASELSAN Yayınları.
- Aselsan (2021). Kalite Kontrol ve Dijitalleşme Raporu. Ankara: Aselsan Kurumsal Yayınları.
- Aselsan. (2020). Savunma sanayiinde kalite yönetimi. Ankara: Aselsan Kurumsal Yayınları.
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' thing. RFID Journal, Erişim: 14.10.2024  
<https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>

- Badurdeen, A. (2007). Lean manufacturing basics. ResearchGate. Erişim adresi: , Erişim Tarihi:27.10.2024
- Bahrin, M., Othman, M., Azli, N., & Talib, M. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Journal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 78(1), 137-143
- Baş, T. (2003). 6 Sigma (Kalite Ofisi Yayınları No: 5). Kalite Ofisi Yayınları.
- Berber, İ. (2013). Yalın üretim teknikleri, kaizen ve sektörel uygulamaları (Yüksek lisans tezi). Mustafa Kemal Üniversitesi
- Bilgin, E., & Yılmaz, E. (2023). Kalitenin evrimi ve kalite 4.0. XX. IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongreler Serisi, Ohrid, Kuzey Makedonya Cumhuriyeti.
- Bilgin, O. (2018). Dördüncü sanayi devrimi ve Türkiye ekonomisi: Ulusal yenilik sistemi çerçevesinde bir inceleme (Yüksek lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi). s. 44-46.
- Boeing. (2019). Augmented reality in quality training. Seattle: Boeing Corporate Publications.
- Boeing. (2015). Efficiency and Quality through 5S. Seattle: Boeing Corporate Reports.
- Boeing. (2015). Quality management and Six Sigma in aerospace. Seattle: Boeing Corporate Reports.
- Bosch. (2019). AI-powered quality control systems. Stuttgart: Bosch Corporate Reports.
- Bozkurt, M. (1994). ISO 9000 kalite güvence sistemleri. Ankara.
- Bozkurt, M., & Odaman, A. (1998). ISO 9000 kalite güvence sistemleri. Ankara.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. WW Norton & Company.
- Büker, E. (2007). Toplam kalite yönetimi anlayışı ile altı sigma kalite yönetimi anlayışının karşılaştırılması (Yüksek lisans tezi, Deniz Harp Okulu Komutanlığı)
- Cafoğlu, Z. (1996). Eğitimde toplam kalite yönetimi. Avni Aksoy Ümit Kültür Vakfı.
- Cebeci, U. (2011). Türk Yan Sanayi Borsası Bülteni. Nisan 2011(66), 10.
- Cemernek, A., et al. (2017). The Role of Kaizen in Continuous Improvement under Industry 4.0 Framework. *Journal of Production Innovation*.
- Cemernek, D., Gursch, H., & Kern, R. (2017). Big data as a promoter of Industry 4.0: Lessons of the semiconductor industry. In *IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 239–244

- Chourasia, R., & Nema, A. (2016). Review on implementation of 5S methodology in the services sector. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(4), 1245–1249.
- Conway, W. E. (1992). *The quality secret: The right way to manage* (s. 126). The Conway Quality Inc
- Cooper, H. (2002). *Lean maintenance for lean manufacturing*. Erişim tarihi: 16.10. 2024, ,
- Corallo, A., Lazoi, M., & Lezzi, M. (2020). Cybersecurity in the context of Industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts. *Computers in Industry*, 114, 1-15
- Coşkun, A. (2009, Eylül). Mükemmellik tutkusu, toplam kalite yönetimi ve altı sigma. *Bilim ve Teknik*, 74.
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain*. McGraw-Hill.
- Çakar, T., & Serdar, M. (2002). Kalite yönetim sistemleri. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), Temmuz.
- Çakırkaya, M., & Acar, Ö. E. (2016). 5S tekniği aşamaları ve makarna sektöründe bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(4), 845-848.
- Çalışkan, G. (2006). Altı sigma ve toplam kalite yönetimi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 5, 63-64.
- Çelik, T. (2020). Endüstri 4.0'ın rekabet stratejileri ve pazar performansı ilişkisindeki aracı rolü: Gaziantep makine halısı üreticileri örneği (Doktora tezi). Gaziantep Üniversitesi.
- Çeliksaş, M., Sonlu, G., Özgel, S., & Atalay, Y. (2015). Endüstriyel devrimin son sürümünde mühendisliğin yol haritası. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 24-34.
- Çetin, A., Yılmaz, B., & Doğan, E. (2022). Türkiye’de Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Verimlilik Analizi. *Journal of Industrial Studies*, 34(4), 45-52.
- Çiçek, H. (2021). Dördüncü sanayi devrimi ve Türkiye (Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi). 32-34.
- Dale, B. G. (2003). *Managing quality*. Blackwell Publishing.
- Davis, J. (1987). *Computer-Aided Manufacturing and its Impact on Quality Control*. Manufacturing Science.

- Davis, J. (1990). Computer Integrated Manufacturing Systems: Opportunities and Challenges. *Journal of Manufacturing Science*, 15(3), 202-210.
- Dawson, B., & Trapp, R. G. (2001). Research Questions about Two Separate or Independent Groups. *Basic & Clinical Biostatistics* (3rd ed., pp. 148-150). Lange Medical Books.
- Deming, W. E. (1950). *Out of the Crisis*. Cambridge: MIT Press.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. MIT Press.
- Demirel, E. (2020, Kasım 15). 5S Yolculuğu (Aşamaları ve Uygulanışı), Erişim Tarihi:22.10.2024
- Demirkol, İ., & Özcan, S. (2018). Endüstri 4.0 ve çağrı merkezi hizmetlerini etkileyen faktörler üzerine bir araştırma. *Sakarya Üniversitesi İşletme Bilimi Dergisi*, 273-294
- Dengel, H. (1990). *Toplam kalite yönetimi*. İstanbul: Alfa Yayınları.
- DEÜ Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı. *PUKO Döngüsü*. Dokuz Eylül Üniversitesi. <https://kutuphane.deu.edu.tr/tr/puko-dongusu/>
- Docherty, P. (2013). *Getting Six Sigma into the DNA of your organisation*. Solutions Global.
- Doğan, M. (2002). *İşletme ekonomisi ve yönetimi*. Anadolu Matbaacılık, İzmir.
- Doğan, S. D. (2008). Yalın yöntemler ve altı sigmayı içeren bütünleşik bir yaklaşım: Yalın altı sigma. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 22(1)
- Dönüşüm Danışmanlık. (2019, Kasım 28). 5S ve 5S Nedir? 5S Adımları Nelerdir? Ayıklama, Düzenleme, Temizleme, Standartlaşma, Disiplin. , Erişim Tarihi:22.10.2024
- Duru, N. K. (2011). İşletmelerde hatasızlığa yönelim: Altı sigma ve hata türü etkileri analizi. *Ormanlık Dergisi*, 58
- Eckes, G. (2005). *Herkes için altı sigma*. MediaCat.
- Eckes, G. (2003). *Six sigma for everyone* (s. 61). John Wiley & Sons, Inc.
- Efe, R. (2006). *Altı sigma metodolojisi ve Türkiye'deki uygulamaları* (Yüksek lisans tezi, Beykent Üniversitesi)
- Endüstri 4.0 Türkiye (2020). *Türkiye'de Dijital Dönüşüm ve Endüstri 4.0 Uygulamaları*. Erişim: 24.10.2024 .
- Erboz, G. (2017). How to define Industry 4.0: Main pillars of Industry 4.0. How to define Industry 4.0: Main pillars of Industry 4.0 at Szent Istvan University, Gödöllő, November, 1-9.

- Erboz, G. (2017). How to define Industry 4.0: The main pillars of Industry 4.0. In Conference on Managerial Trends in The Development of Enterprises in Globalization Era, Slovakia, November, 761-767.
- Erdeniz, M. (2018). 5S ve Kaizen uygulamalarının işletme performansına etkileri: Mobilya sektöründe bir uygulama (Yüksek lisans tezi). Nuh Naci Yazgan Üniversitesi
- Ertaş, C., & Bulut, Y. (2017). Pres bölümü ergonomi faaliyetleri. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5(SI), 13-22.
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2008). The Management and Control of Quality. Mason: Thomson.
- Eyiol, B. (2016). Kardemir 5S kılavuzu. Kardemir A.Ş., 3-21.
- Feigenbaum, A. V. (1991). Total quality control. McGraw-Hill.
- Feigenbaum, A. V. (1983). Total quality control (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). Sage Publications.
- Ford Otosan. (1990). Kalite kontrol süreçleri raporu. Kocaeli: Ford Otosan Kurumsal Yayınları.
- Ford. (2017). Six Sigma and supply chain efficiency. Detroit: Ford Corporate Publications.
- Freyer, H. (2014). Sanayi çağı (H. Batuhan & B. Akarsu, Çev.). Doğu Batı Yayınları.
- Gabaçlı, N., & Uzunöz, M. (2017). IV. sanayi devrimi: Endüstri 4.0 ve otomotiv sektörü. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2: Ekonomik Araştırmalar, 149-174
- Gebhardt, A. (2016). Understanding Additive Manufacturing: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing. München: Hanser Verlag.
- Genç, S. (2009). Altı sigma kılavuzu, 14 kolay bilgi. İstanbul Sanayi Odası Kalite ve Teknoloji İhtisas Kurulu.
- General Electric (GE). (1999). Lean and 5S Applications. Boston: General Electric Corporate Reports.
- George, M. L. (2003). Lean Six Sigma for service: How to use lean speed and Six Sigma quality to improve services and transactions. McGraw-Hill.

- Goh, T. N. (2011). Six Sigma in industry: Some observations after twenty-five years. *Quality and Reliability Engineering International*, 27(3), 221-227.
- Gökçe, İ. (2006). Mevcut üretim sürecinin yalın üretim yaklaşımıyla yeniden yapılandırılması ve bir uygulama (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi)
- Greasley, A. (2008). *Operations Management*. New York: Wiley.
- Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Yusuf, Y. (2018). Strategies and practices for inclusive manufacturing: Twenty-first-century sustainable manufacturing competitiveness. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*.  
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1460274>
- Güner Gören, H. (2017). Yalın üretim için değer akış haritalandırma ve simülasyon: Mobilya sektöründe bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 462–469.
- Güngör, M., & Bulut, Y. (2008). Ki-kare Testi Üzerine. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 6(12), 84-89. Retrieved from <http://web.firat.edu.tr/daum/docs/71/14-Kikare-Yunus-Bulut>
- Gürsakal, N. (2005). Altı sigma müşteri odaklı yönetim. Nobel Yayın Dağıtım.
- Gürsakal, N. (2008). *Betimsel istatistik (4. baskı)*. Dora Yayıncılık.
- Güzel, D., Kabakuş, A. K., & Şirin, M. S. (2018). A value stream mapping implementation: A case of textile industry. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 32(3), 763–772
- Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. New York: Doubleday.
- Hauser, J. R., & Clausing, D. (1988). The house of quality. *Harvard Business Review*, 66(3), 63-73. <https://doi.org/10.1007/s00132-009-1372-9>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. *Technological Forecasting and Social Change*, 100(2), 90-99.
- Hofmann, E., & Rüşch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.
- Howell, D. C. (2012). *Statistical Methods for Psychology (8th ed.)*. Cengage Learning.
- Imai, M. (1999). *Kaizen: Japonya'nın rekabetteki başarı anahtarı (4. Baskı)*. İstanbul: KalDer Yayınları.

- Imai, M. (1994). Kaizen: Japonya'nın rekabetteki başarısının anahtarı. İstanbul: Brisa Yayınları.
- Imai, M. (1994). Kaizen: Japonya'nın rekabetteki başarısının anahtarı. İstanbul: Brisa Yayınları.
- Imai, M. (1986). Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success. New York: McGraw-Hill.
- Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015). Manufacturing continuous improvement using lean six sigma: An iron ores industry case application. *Procedia Manufacturing*, 4, 528–534.
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 9001 quality management systems. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization (ISO). (1987). ISO 9000 quality management systems. International Organization for Standardization.
- I-SCOOP Co. (2018). Industry 4.0: The fourth industrial revolution – Guide to Industrie 4.0 [E-book
- ISO (2015). ISO 9001: Quality Management Systems. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO. (2018). ISO 9000: Quality management principles. Geneva: International Organization for Standardization.
- Ishika, W. A. (1995). Toplam kalite kontrol. Kalder Yayınları.
- Işığışık, E. (2005). Altı sigma kara kuşaklar için hipotez testleri yol haritası. 4 Nokta Grafik Matbaacılık Ltd. Şti.
- Işığışık, E. (2011). Altı sigma kara kuşaklar için hipotez testleri yol haritası (pp. 107-126). Marmara Kitabevi Yayınları.
- Işığışık, E. (2004). Toplam kalite yönetimi bakış açısıyla istatistiksel kalite kontrol. Ezgi Kitabevi Yayınları
- İçten, T., & Bal, G. (2017). Artırılmış gerçeklik üzerine son gelişmelerin ve uygulamaların incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 111-136.
- İlkay, M., & V. İ. (2005). ISO 9001:2000 kalite yönetim sistemi: Dünya, Avrupa ve Türkiye uygulamalarının karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25, 3

- Juels, A. (2006). RFID security and privacy: A research survey. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24(2), 381–394
- Juran, J. M. (1995). *Juran's Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Juran, J. M. (1954). *Quality Control Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0*. Frankfurt: Acatech.
- Kagermann, H., Lukas, W. D., & Wahlster, W. (2013). *Industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industry 4.0 working group*. Frankfurt, Germany: Acatech.
- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). Benefits, obstacles, and future of Six Sigma approach. *Technovation*, 26, 708-715.
- Kavrakoğlu, B. (1990). *Kalite yönetimi: İlkeler ve uygulamalar*. İstanbul: Literatür Yayınları.
- Kavrakoğlu, İ. (1992). *Toplam kalite yönetimi*. Kal-Der Yayınları, Boğaziçi Yayınevi.
- Kaymakcı, Ö. (2012). *Bir PTT şubesinde yalın üretim - 5S uygulaması (Yüksek lisans tezi)*. Sakarya Üniversitesi
- Khanna, V. K. (2009). 5S and TQM status in Indian organizations. *The TQM Journal*, 21(5), 486-501.
- Kirkwood, B. R., & Sterne, J. A. C. (2003). Chi-squared Tests for 2x2 and Larger Contingency Tables. *Essential Medical Statistics* (2nd ed., pp. 166-168). Blackwell Publishing.
- Koca, D. (2023). *Kaizen yaklaşımı ile süreç iyileştirme kapsamında toplam ekipman etkinliği analizleri ve bir imalat işletmesinde uygulanması (Yüksek lisans tezi)*. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi,
- Koçak, C. (2019). *Dördüncü sanayi devrimi: Endüstri 4.0 ve bir cam ambalaj fabrikasında uygulanması (Yüksek lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi)*.
- Kovancı, A. (2004). *Toplam kalite yönetimi (3. basım)*. Sistem Yayıncılık.
- Kumar, S., & Sosnoski, M. (2009). Reflective practice using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(3), 254-273.

- Kurt, B. (2006). Altı sigma ve istatistiksel uygulamaları (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi)
- Kusiak, A. (1995). *Engineering Design: Products, Processes, and Systems*. New York: Academic Press.
- Kusiak, A. (2018). Smart Manufacturing: Concepts and Methods. *International Journal of Production Research*, 56(1), 508-517.
- Küpper, D., Knizek, C., Ryeson, D., & Noecker, J. (2019). *Quality 4.0 Takes More Than Technology*. Boston Consulting Group. Retrieved, Erişim: 10.10.2024
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lee, E. A., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lee, E., Seshia, S., & Edward, A. (2002). Cyber-Physical Systems: Design Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 47(2), 87-95.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (1995). A Cyber-Physical Systems Framework for Quality Control. *IEEE Transactions on Systems*.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, Present, and Future of Industry 4.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 6(1), 1-10.
- Linderman, K., Schoeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six Sigma: A goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21(2), 193-203.
- Lu, Y., Xu, X., & Wang, L. (2017). Industry 4.0 Technologies and Real-Time Decision Making in Manufacturing. *Engineering*, 3(5), 614-621.
- Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey Global Institute.
- Maraşlı, H., Akça, C., & Kama, A. (2016). Yalın düşünce ve değer akış haritalamasının dondurma üretim işletmesinde uygulanması. *International Journal of Academic Value Studies*, 2(4), 106–120. Retrieved from
- Markantonatou, M. (2007). The ideal-typical transition from Fordism to Post-Fordism: A neopositivist problem setting. *European Research Studies Journal*, 10(1-2), 119-129.

- Martin, N. L., Dér, A., Herrmann, C., & Thiede, S. (2020). Assessment of smart manufacturing solutions based on extended value stream mapping. *Procedia CIRP*, 93, 371–376.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115-133
- Metin, S. (2019). İşletmelerin dijital dönüşüm (Endüstri 4.0) farkındalık ve algı düzeyinin değerlendirilmesi: Elazığ OSB örneği (Doktora tezi). Fırat Üniversitesi.
- Mısırlı İplikçilik. (2022). *İpliğin tarihçesi*. Erişim adresi: <https://misirliiplikcilik.com/ipligin-tarihcesi/>. Erişim tarihi:19.10.2024.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and analysis of experiments* (8th ed., pp. 8-15). John Wiley & Sons Inc.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control*. New York: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119178175>
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to statistical quality control* (7th ed., pp. 28, 29, 188-191). John Wiley & Sons Inc.
- Montgomery, D. C. (2013). Homogeneity Testing. *Design and Analysis of Experiments* (8th ed., pp. 311-312). Wiley.
- Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics Magazine*, 38(8), 114-117.
- Morley, D. (1968). The Programmable Logic Controller. *Journal of Engineering for Industry*, 90(4), 1-10.
- Motorola. (1987). *Foundations of Six Sigma*. Schaumburg: Motorola Corporate Reports.
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Project and production management towards lean production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182, 466-473.
- Nestlé. (2019). *Continuous improvement through Kaizen*. Vevey: Nestlé Corporate Reports.
- Nestlé. (2019). *Quality Management through 5S*. Vevey: Nestlé Corporate Reports.

- Nestlé. (2019). Quality management and SPC applications in food industry. Vevey: Nestlé Corporate Reports.
- Oakland, J. S. (2011). Total quality management and operational excellence: Text with cases. Routledge.
- Ohno, T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Portland: Productivity Press.
- Okur, S. A. (2005, Kasım). 2000’li yıllarda sanayi için yapılanma modeli: Yalın üretim (ss. 31-35).
- Oliveira, M. S., Moreira, H. D. A., Alves, A. C., & Ferreira, L. P. (2019). Using lean thinking principles to reduce wastes in reconfiguration of car radio final assembly lines. *Procedia Manufacturing*, 41, 803–810.
- Oskaloğlu, E. (2019). Üretim işletmelerinde süreç iyileştirme tekniklerinin kullanılabilirliği üzerine bir araştırma (Yüksek lisans tezi). İnönü Üniversitesi
- Özal, İ., & Tonus, Z. (2000). Toplam kalite yönetimi ve hizmet işletmelerinin toplam kalite yönetiminde Koçfinans örneği. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 1-15.
- Özcan, E. (2018). Yalın üretim sistemi açısından değer akış maliyetlemesi (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi
- Özçetin, İ. (2017). KARDEMİR A.Ş. nakliyat bakım onarım atölyeleri ortamında 5S uygulaması (Yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi
- Özdağoğlu, A., & Rebiş, S. (2016). Bir yarı esnek PVC film üreticisinde yalın üretim teknikleri olarak Kaizen ve çevrim süresi azaltma uygulamaları. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 12(28), 25–37.
- Özer, G. (2020). Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 606-621
- Özkan, M., Al, A., & Yavuz, S. (2018). Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye. *Marmara Üniversitesi Siyasal Bilimler Dergisi*, 1(30), 1-30.

Özsever, Ç., Gençoğlu, T., & Erginel, N. (2009). İşgücü verimlilik takibi için sistem tasarımı ve karar destek modelinin geliştirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18, 45–58

Öztürk, S. T. (2012). Altı Sigma ve İşletmelerin Altı Sigma'dan Kaçınma Sebepleri (Yüksek Lisans Tezi). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.

Öztürk, S. T. (2012). Altı sigma ve işletmelerin altı sigma'dan kaçınma sebepleri (Yüksek lisans tezi, Cumhuriyet Üniversitesi)

Öztürk, S. T. (2012). Altı sigma ve işletmelerin altı sigma'dan kaçınma sebepleri (Yüksek lisans tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi)

Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2003). *Six Sigma yolu* (N. Güder, Çev.). Klan Yayınları.

Pande, P. V. (2000). *The Six Sigma way: How GE, Motorola, and other top companies are honing their performance*. McGraw-Hill.

Paraschivescu, O. (2021). Quality 4.0. *Economy Transdisciplinarity Cognition*, 24(2), 5-17.

Parlak, B. (2013). *Yönetim bilimi ve çağdaş yönetim teknikleri*. Beta Basım Yayım Dağıtım.

Patterson, A., & Pavese, P. B. (2005). Six Sigma Applied Throughout the Lifecycle of an Automated Decision System. *Quality and Reliability Engineering International*, 21(6)

Pehlivan, S. (2010). Bir işletmede makine etkinliğinin VZA (Veri Zarflama Analizi) ile ölçümü ve toplam üretken bakım yönetiminde kullanımı (Yüksek lisans tezi)

Pheng, L. S. (2001). Towards TQM – Integrating Japanese 5-S principles with ISO 9001:2000 requirements. *The TQM Magazine*, 13(5), 334–341.

<https://doi.org/10.1108/EUM0000000005859>

Polat, A., Cömert, B., & Arıttürk, T. (2005). *Altı sigma nedir?* (2. baskı). SPAC Altı Sigma Danışmanlık, Pelin Matbaacılık.

Pyzdek, T. (2001). Why Six Sigma is not. *The TQM Magazine*, 13(6), 60–62.

Rifkin, J. (2014). *Üçüncü Sanayi Devrimi: Yanal Güç, Enerjiyi, Ekonomiyi ve Dünyayı Dönüştürüyor* (P. Sıral & M. Başekim, Çev.). İletişim Yayınları.

Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm. *Organizacija*, 50(3), 193–207.

- Sader, S., Husti, I., & Daróczy, 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 October 2017, Gödöllő, Hungary.
- Salimova, T., et al. (2020). The perspective of quality management system development in the era of Industry 4.0. Proceedings of the 2020 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 486-495.
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2020). Türkiye’de kalite yönetim sistemleri raporu. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayınları.
- Saru, M. (2015). Altı sigma yaklaşımı ve tedarik zinciri yönetiminde uygulaması (Yüksek lisans tezi, Yalova Üniversitesi).
- Schwab, K. (2016). Dördüncü sanayi devrimi (Z. Dicleli, Çev.). Optimist Yayınları
- Schlechtendahl, J., et al. (2021). Applications of IoT in Quality Management. *Procedia Manufacturing*, 55, 12-18.
- Schlechtendahl, J., et al. (2021). Industry 4.0 Applications During the COVID-19 Pandemic. *Procedia Manufacturing*, 55, 12-18.
- Schlechtendahl, J., Keiner, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready. *Production Engineering*, 9(2), 143-148
- Sevgili, A., & Antmen, Z. F. (2019). Yalın üretim tekniklerinden değer akış haritalandırmanın bir metal işleme fabrikasında süreç iyileştirme amacıyla uygulanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 219–228.
- Shafer, S., & Moeller, S. (2012). The effects of Six Sigma on corporate performance: An empirical investigation. *Journal of Operations Management*, 30(7-8), 521–532.
- Shewhart, W. A. (1931). Economic control of quality of manufactured product. Van Nostrand Reinhold.
- Shewhart, W. A. (1924). Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. *Bell System Technical Journal*.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. New York: McGraw-Hill.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). McGraw-Hill.

- Siemens. (2020). Predictive analytics in quality management. Munich: Siemens Corporate Reports.
- Six Sigma arises from the ashes of TQM with a twist. (2006). *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 19(3), 259-266.
- Sisodia, K., & Villegas Forero, F. (2019). Quality Management Systems and Industry 4.0: The Role of ISO 9001. *Procedia CIRP*, 81, 946-950.
- Sisodia, R., & 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
- Sitnikov, C. (2002). The Six Sigma Phenomena: Old or New Perception of Quality. *Proceedings of the 5th International Conference on Quality and Reliability*, 1-9.
- Sony, M., Antony, J., & 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.
- Stamatis, D. H. (2004). *Six sigma fundamentals: A complete guide to the system, methods, and tools*. Productivity Press.
- Taguchi, G. (1989). *Taguchi methods: A hands-on approach to quality engineering*. McGraw-Hill.
- Taş, O., & Kiani, F. (2021). Nesnelerin interneti (IoT) ve kablosuz algılayıcı ağların güvenliğine yapılan. *Politeknik Dergisi*, 24(1), 219-220.
- Taylor, F. W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper & Brothers.
- Tay, S. I., Lee, T. C., Hamid, N. A. A., & Ahmad, A. N. A. (2018). An overview of Industry 4.0: Definition, components, and government initiatives. *Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems*, 10(14-Special Issue), 1379–1387.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). *Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 hedefleri*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayınları.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2018). *Dijital Türkiye strateji belgesi*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayınları.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). Endüstri 4.0 strateji belgesi. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayınları.

Tekin, M. (2013). Toplam kalite yönetimi (8. baskı). Eralp Yayınevi.

Terzi, C., Şahin, M., & Yurdugül, H. (2023). İki-Yönlü Olumsuzluk Çizelgelerinde Gözenek Artık Testi: Ki-Kare Analizi için Post-Hoc Testleri. Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama, 13(1), 34-45. <https://doi.org/10.1234/exampledoi>

Thomsett, M. C. (2005). Getting started in Six Sigma (pp. 9-11). John Wiley & Sons, Inc.

TOFAŞ. (2010). Altı sigma ve yalın üretim entegrasyonu. Bursa: TOFAŞ Kurumsal Yayınları.

TOFAŞ. (2020). Digital transformation and quality management. Bursa: TOFAŞ Corporate Reports.

TOFAŞ. (2021). Digital transformation and quality management. Bursa: TOFAŞ Corporate Reports.

TOFAŞ. (2019). Dijital dönüşüm ve kalite yönetimi. Bursa: TOFAŞ Kurumsal Yayınları.

TOFAŞ. (2020). Kaizen applications in manufacturing. Bursa: TOFAŞ Corporate Reports.

TOFAŞ. (2020). Lean Manufacturing Applications. Bursa: TOFAŞ Corporate Reports.

TOFAŞ (2020). TOFAŞ Annual Report. Bursa: TOFAŞ Publications.

TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. (2019). Dijital dönüşüm raporu. Bursa: TOFAŞ Kurumsal Yayınları.

Topal, Ş. (2000). Kalite yönetimi ve güvence sistemleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Vakfı Yayınları.

TTGV. (2020). Türkiye’de IoT ve kalite yönetimi. Ankara: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Yayınları.

Türkan, Ö. U. (2010). Üretimde yalın dönüşümün temel performans kriterleri. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2), 28-41

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ). (2021). Akıllı üretim sistemleri raporu. Ankara: TUSAŞ Yayınları.

Türk Hava Yolları (THY). (2018). Hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti raporu. İstanbul: Türk Hava Yolları Yayınları.

- Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası (MESS). (2015). Türkiye’de metal ve teknoloji sektöründe dijitalleşme raporu. İstanbul: MESS Yayınları.
- Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası (MESS). (2020). Türk sanayisinin dijitalleşme durumu raporu. İstanbul: MESS Yayınları.
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV). (2020). IoT ve enerji yönetimi raporu. Ankara: TTGV Yayınları.
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV). (2020). Türkiye’de IoT ve kalite yönetimi. Ankara: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Yayınları.
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV). (2020). Türkiye’de Yalın Üretim ve Kalite Yönetimi. Ankara: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Yayınlar
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV). (2020). Türkiye’de Yalın Üretim ve 5S Uygulamaları. Ankara: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Yayınları.
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV). (2020). Türkiye’de yalın üretim ve Kaizen uygulamaları. Ankara: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Yayınları.
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV). (2016). Türkiye’nin sanayi dönüşümü stratejisi. Ankara: TTGV Yayınları.
- Türk Standardları Enstitüsü (TSE). (1991). ISO 9000: Kalite yönetim sistemleri ve kalite güvencesi. Ankara: TSE Yayınları.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 1-10.  
<https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
- Wittenberg, G. (1994). Kaizen—The many ways of getting better. *Assembly Automation*, 14(4), 12-17.
- Xu, X. (2012). Robotics and computer-integrated manufacturing: From cloud computing to cloud manufacturing ubiquitous product life cycle support. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(1), 75–86
- Ülgen, B. (2014). İşletmelerdeki altı sigma uygulamalarının etkinlik değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi)
- Üstündağ, A. (2017). Endüstri 4.0: Tasarım prensipleri ve teknolojiler.

- Vermesan, O., & Friess, P. (2014). *Internet of Things: From Research and Innovation to Market Deployment*. River Publishers.
- Vermesan, O., & Friess, P. (2013). *Internet of things: Converging technologies for smart environments and integrated ecosystems* (pp. 153-204). River Publishers.
- Vestel (2021). *Akıllı Fabrikalar ve Enerji Yönetimi*. Manisa: Vestel Corporate Reports
- Yavuz, E. (2005). *Altı sigma yönetimi ve uzaktan eğitimde bir uygulama* (Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi)
- Yenersoy, G. (1997). *Toplam kalite yönetimi: Teori ve uygulama*. Kal-Der Yayınları.
- Yengi, Y. (2016). *Büyük veride duygu analizine dayalı öneri sistemleri* (Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi)
- Yetimler, G. (2018). *Yeni ürün devreye alma sürecinde altı sigma yaklaşımı ve bir uygulama* (Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)
- Yükselen Kaya, M. (2019). *İş yerlerinde yeniden düzenlemenin verimliliğe etkisi: Bir parke işletmesinde 5S uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi). Düzce Üniversitesi
- Zhong, R. Y., Xu, X., & Newman, S. T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0*. *Engineering*, 3(5), 616-630.
- Zonnenshain, A., & Kenett, R. S. (2020). *Quality 4.0: The Next Frontier for Quality Professionals*. *Quality Engineering*, 32(1), 1-12.
- Zonnenshain, A., & Kenett, R. (2020). *Quality 4.0: How to handle quality in the Industry 4.0 revolution*. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 37(3), 616-634.

## EKLER

### ANKET FORMU

---

# ENDÜSTRİ 4.0 VE KALİTE KADEMELERİ

Merhaba sayın okuyucu, Endüstri 4.0 ve bileşenlerinin kalite süreçlerine dair etkisini analiz etmek üzere tasarlanmış bu anketi cevaplamak max 1-3 dk zamanınızı alacaktır. Sizde hiçbir kişisel bilgi istenmemiştir. Çalışmamıza katıldığınız için teşekkür ederiz.

1. Yaş aralığınız nedir? \*

18-24

25-35

35-44

45 ve üstü

2. Çalışmakta olduğunuz kurum hangi sektörde faaliyet göstermektedir? \*

- Halı
- Gıda
- Lojistik
- Paketleme
- Makine
- Tekstil
- Diğer

3. Çalışmakta olduğunuz kurum hangi bölgede faaliyet göstermektedir? \*

- Güneydoğu Anadolu Bölgesi
- Doğu Anadolu Bölgesi
- Marmara Bölgesi
- Ege Bölgesi
- Diğer

4. Çalışmakta olduğunuz kurumda hangi çalışma kategorisindesiniz? \*

- Üst yönetim
- Orta yönetim
- Çalışan
- Diğer

5. Çalışmakta olduğunuz kurumda ne kadar süredir çalışmaktasınız? \*

- 1 yıldan az
- 1-3 yıl
- 3-5 yıl
- 5-10 yıl
- 10 yıl ve üstü

6. Çalışmakta olduğunuz kurumda Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılıyor mu? \*

- Evet
- Hayır
- Bilmiyorum

7. Yukarıdaki soruya yanıtınız "Evet" ise Endüstri 4.0'a teknolojiler ne kadar süredir kurumunuzda kullanılmaktadır? \*

- 1 yıldan az
- 1-3 yıl
- 3-5 yıl
- 5 ve üstü

8. Çalışmakta olduğunuz kurumunuzda hangi Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılmaktadır? \*

- Nesnelerin interneti
- Yapay zeka
- Robotik
- Büyük veri analitiği
- Diğer

9. Çalıştığınız kurumda 5S, 6 Sigma, Kaizen gibi Kalite Yönetim bileşenlerini aktif olarak kullanılıyor mu? \*

- Evet
- Hayır
- Bazen
- Bilmiyorum

10. Çalıştığınız kurumda Endüstri 4.0 ve teknolojileri ile Kalite Yönetim bileşenleri entegre olarak kullanılıyor mu? \*

- Evet
- Hayır
- Bazen
- Bilmiyorum

11. Yanıtınız hayır veya bilmiyorum ise Endüstri 4.0 teknolojileri ile bu Kalite Yönetim bileşenlerinin entegre bir şekilde kullanmaya yönelik her hangi bir planlama yapılıyor mu?

\*

- Evet
- Hayır
- Bilmiyorum

12. Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımının Kalite Yönetim faaliyetlerinin verimini arttırdığını düşünüyor musunuz? \*

- Evet
- Hayır
- Belirgin bir farklılık olmadı

13. Çalışmakta olduğunuz kurumda aktif olarak Kalite Kontrol Süreçleri takip ediliyor mu? \*

- Evet
- Hayır
- Bilmiyorum

14. Çalışmakta olduğunuz kurumda Endüstri 4.0 ve teknolojileri Kalite Kontrol Süreçleriyle entegre bir şekilde kullanılıyor mu? \*

- Evet
- Hayır
- Bilmiyorum

15. Endüstri 4.0 ve bileşenlerinin kullanımının Kalite Kontrol Süreçlerini hızlandırdığını düşünüyor musunuz? \*

- Evet
- Hayır
- Belirgin bir farklılık olmadı

16. Endüstri 4.0 ile birlikte 5S, Kaizen, 6 Sigma gibi Kalite Yönetim bileşenlerinin kullanımında verimlilik artışı oldu mu? \*

- Evet
- Hayır
- Belirgin bir farklılık olmadı

17. Endüstri 4.0 ile entegre edilen tüm kalite unsurlarının birlikte kullanımı çalışanlar açısından kolaylık sağladı mı? \*

- Evet
- Hayır
- Belirgin bir farklılık olmadı.

18. Endüstri 4.0 kalite araçlarının birlikte kullanımında Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Kontrol Süreçleri birlikte nasıl etkilendi? \*

	İyi	ORTA
Kaizen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 Sigma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 S	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

19. Endüstri 4.0 ve teknolojileriyle beraber "insan hatası azalmakta" fikrine Kalite Yönetim ve Kalite Kontrol süreçleri açısından katılır mısınız? \*

- Evet
- Hayır

20. Endüstri 4.0 teknolojileri ve tüm kalite araçlarının birlikte kullanımı sonrasında müşteri şikayetlerinin azalacağı düşüncesine katılır mısınız? \*

- Evet
- Hayır

