

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ALTI SİGMA METODOLOJİSİ İLE  
YENİDEN İŞLENEN ÜRÜN MİKTARININ AZALTILMASI**

**MERVE TURGUT**

**KOCAELİ 2022**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ALTI SİGMA METODOLOJİSİ İLE  
YENİDEN İŞLENEN ÜRÜN MİKTARININ AZALTILMASI**

**MERVE TURGUT**

**Dr. Öğr. Üyesi Hatice ESEN**

**Danışman, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof.Dr. Alpaslan FIĞLALI**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Doç.Dr. Berrin DENİZHAN**

**Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 20.06.2022**

## ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Merve TURGUT

## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Merve TURGUT

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Rekabetin süregeldiği piyasalarda müşteri talep ve isteklerini karşılayarak doğru zamanda, kaliteli ürün ve hizmet sunmak işletmelerin temel hedefleridir. Rekabet seviyesinin yüksek olduğu otomotiv sektöründe süreç maliyetlerini en az indirmek ve işletme verimliliklerinin arttırmak için birçok yöntemden yararlanılmıştır.

Bu tez çalışmasında ise süreç maliyetlerinin azaltılması kapsamında hurda ve yeniden işlenen ürün miktarının azaltılmasını sağlamak amacıyla Altı Sigma metodolojisi kullanılmıştır. Altı Sigma metodolojisi ışığında gerçek işletme problemlerinin çözülmesi için sistematik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim süresince desteklerini ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hatice ESEN'e, çalışma süresince yardım ve desteklerinden dolayı Altı Sigma Lideri Efe BUDAK'a, güven ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2022

Merve TURGUT

## İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
1.GİRİŞ.....	1
2. ALTI SİGMA .....	4
2.1. Altı Sigma'nın Gelişimi .....	5
2.2. Altı Sigma'nın Yararları.....	7
2.3. Altı Sigma'nın Temel İlkeleri .....	9
2.3.1. Müşteri Odaklılık.....	9
2.3.2. Mükemmele Yöneliş, Başarısızlığa Karşı Hoşgörü.....	9
2.3.3.Verilere ve Gerçeklere Dayalı Yönetim .....	10
2.3.4. Sınırsız İşbirliği .....	10
2.3.5. Sürece Odaklanma, Yönetim ve İyileştirme .....	10
2.4. Altı Sigma Organizasyonunda Roller.....	10
2.4.1. Altı Sigma Yönetim Komitesi (Liderlik Ekibi) .....	11
2.4.2. Altı Sigma Koordinatörü .....	11
2.4.3. Altı Sigma Rehberi (Danışman) .....	11
2.4.4. Sponsor .....	12
2.4.5. Şampiyon .....	12
2.4.6. Ekip Lideri ya da Proje Lideri .....	12
2.4.7. Ekip Üyesi .....	12
2.4.8. Uzman Kara Kuşak.....	13
2.4.9. Kara Kuşak .....	13
2.4.10. Yeşil Kuşak.....	13
2.5. Sigma Seviyesi .....	13
2.6. Altı Sigma Aşamaları .....	15
2.6.1. Tanımlama Aşaması .....	16
2.6.2. Ölçme Aşaması.....	17
2.6.3. Analiz Aşaması.....	17
2.6.4. İyileştirme Aşaması .....	18
2.6.5. Kontrol Aşaması .....	19
2.7. DMAIC Yöntemi'nde Kullanılan Araçlar.....	19
2.7.1. CTQ (Critical-to Quality) .....	20
2.7.2. Histogram .....	20
2.7.3. Akış Şeması .....	20
2.7.4. Pareto Grafiği.....	21
2.7.5. Balık Kılçığı (Ishikawa)Diyagramı .....	21
3. LİTERATÜRDE ALTI SİGMA.....	23
4. YENİDEN İŞLENEN ÜRÜN MİKTARLARININ AZALTILMASI .....	29
4.1. İşletme Tanıtımı .....	29

4.2. Altı Sigma Çalışmasının DMAIC Modeli Adımları ile İncelenmesi .....	30
4.2.1. Tanımlama Aşaması .....	30
4.2.2. Ölçme Aşaması.....	32
4.2.3. Analiz Aşaması.....	36
4.2.4. İyileştirme Aşaması .....	43
4.2.5. Kontrol Aşaması .....	50
5. SÜREÇ AKIŞ DİYAGRAMI.....	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	59
KAYNAKLAR.....	61
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	65



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Altı Sigma Gelişimi.....	5
Şekil 2.2.	Süreç Aktiviteleri.....	8
Şekil 2.3.	Altı Sigma'da Yer Alan Roller ve Sorumluluklar.....	11
Şekil 2.4.	PUKÖ Döngüsü.....	15
Şekil 2.5.	Altı Sigma DMAIC Yöntemi.....	16
Şekil 2.6.	Histogram.....	20
Şekil 2.7.	Pareto Grafiği.....	21
Şekil 2.8.	Balık-Kılıçığı Diyagramı.....	22
Şekil 4.1.	HEX Hattı İş Akış Şeması.....	31
Şekil 4.2.	2021 Yılı HEX Hattında Çıkan Hata Türleri ve Miktarları.....	32
Şekil 4.3.	Radyatör Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri Pareto Grafiği.....	36
Şekil 4.4.	Kondenser Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri Pareto Grafiği.....	37
Şekil 4.5.	2021 Yılı Hurda ve Rework Adetleri Histogram Grafiği.....	37
Şekil 4.6.	HEX Hattı Balık Kılıçığı Diyagramı.....	38
Şekil 4.7.	Petek Montaj Problem Görseli.....	39
Şekil 4.8.	Mastar Kontrol Görseli.....	40
Şekil 4.9.	Alt Parça Teknik Resmi.....	40
Şekil 4.10.	Alt Parça Ölçüm Görseli-1.....	41
Şekil 4.11.	Alt Parça Ölçüm Görseli-2.....	41
Şekil 4.12.	Petek Z Core Ölçüm Görseli.....	42
Şekil 4.13.	Kondenser Tüp Problemi Kök Neden Analizi.....	44
Şekil 4.14.	İyileştirme Öncesi ve Sonrası Karşılaştırması.....	44
Şekil 4.15.	İyileştirme Sonrası Sabitleyici Blok.....	44
Şekil 4.16.	İyileştirme Sonrası Alt Parça Ölçüm Görseli.....	45
Şekil 4.17.	Fırın İyileştirme Çalışmaları.....	49
Şekil 4.18.	Fırın Ünitesi Sıcaklık Tablosu.....	50
Şekil 4.19.	Hurda-Rework Adetleri Karşılaştırma Histogram Grafiği.....	52
Şekil 5.1.	Süreç Akış Diyagramı.....	54

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Altı Sigma Çalışmaları Özet Tablosu .....	6
Tablo 2.2.	Sigma Seviyeleri .....	14
Tablo 4.1.	Çalışma Tüzüğü .....	30
Tablo 4.2.	Radyatör Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri ve Oranları .....	33
Tablo 4.3.	Kondenser Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri ve Oranları .....	33
Tablo 4.4.	2021 Yılı Aylık Üretim ve Hurda Miktarları .....	34
Tablo 4.5.	2021 Yılı Aylık Üretim ve Rework Miktarları .....	35
Tablo 4.6.	Alt Parça Tüp Boşluk Ölçüm Sonuçları .....	40
Tablo 4.7.	Petek Z Core Ölçüm Sonuçları .....	42
Tablo 4.8.	İyileştirme Sonrası Alt Parça Ölçüm Sonuçları .....	45
Tablo 4.9.	İyileştirme Sonrası Petek Z Core Ölçüm Sonuçları .....	46
Tablo 4.10.	İlave Kurutma İşlemi Yapılmayan Kondenser Test Sonuçları .....	48
Tablo 4.11.	İlave Kurutma İşlemi Yapılan Kondenser Test Sonuçları .....	48
Tablo 4.12.	2021 Yılı Son Çeyrek Üretim ve Hurda Miktarları .....	50
Tablo 4.13.	2021 Yılı Son Çeyrek Üretim ve Rework Miktarları .....	51
Tablo 4.14.	2022 Yılı Üç Aylık Üretim ve Hurda Miktarları .....	51
Tablo 4.15.	2022 Yılı Üç Aylık Üretim ve Rework Miktarları .....	51

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$C_p$	: Proses yeterlilik katsayısı
$C_{pk}$	: Proses yeterlilik katsayısı
mm	: Milimetre
max	: Maksimum
C°	: Santigrat derece
°	: Derece

### Kısaltmalar

COPQ	:Cost of Poor Quality (Kalitesizlik Maliyeti)
CTQ	:Critical to Quality (Kalite için Kritik Nokta)
DMAIC	:Define, Measure, Analyze, Improve, Control (Tanımlama, Ölçme, İyileştirme, Analiz, Kontrol)
DPMO	:Defect per Million Oppurtunitues (Bir Milyonda Hata Sayısı)
DPO	:Defects per Oppurtunities (Fırsat Başına Düşen Hata Miktarı)
HVAC	:Heating, Ventilation, Air Conditioning(Isıtma, Havalandırma ve Soğutma)
ISO	:International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
KOBİ	:Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
LSS	:Lean Six Sigma (Yalın Altı Sigma)
LSSB	:Lean Six Sigma Barrier (Yalın Altı Sigma Bariyeri)
PDCA	:Plan-Do-Check-Act (Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem al)
PLC	:Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
PPM	:Part per Million (Milyonda Hata Sayısı)
PUKÖ	:Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem al
RCA	:Root Cause Analysis (Kök Neden Analizi)
SIPOC	:Supplier, Input, Process, Output, Customer (Tedarikçi, Girdi, Proses, Çıktı ve Müşteri)
SPC	:Statistical Process Control (İstatistiksel Proses Kontrol)
TÖİAK	:Tanımlama, Ölçme, İyileştirme, Analiz, Kontrol
VOC	:Voice of Customer (Müşterinin Sesi)
8D	:8 Disiplin Problem Çözme Tekniği

# OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ALTI SİGMA METODOLOJİSİ İLE YENİDEN İŞLENEN ÜRÜN MİKTARININ AZALTILMASI

## ÖZET

Rekabet üstünlüğünün giderek önem kazandığı dünya ekonomisinde, müşterinin etkin olduğu piyasalarda işletmeler rekabet üstünlüğünü sağlamak amacıyla müşteri talep ve isteklerini zamanında karşılayarak doğru zamanda, doğru ve kaliteli ürün ve hizmet sunmayı ilke haline getirmişlerdir. Bu ilkeyi yerine getirmek için ise süreç maliyetlerini en az indirmeyi hedefleyerek ilk defada doğru üretimin gerçekleşmesi için hurda ve yeniden işlenen ürünlerin oluşturduğu maliyetleri azaltarak işletme verimliliklerinin artırılması hedeflenmiştir. Rekabet seviyesinin yüksek olduğu otomotiv sektöründe süreç maliyetlerinin ve verimliliklerinin artırılması için geçmişten günümüze birçok yöntem kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerden biri de Altı Sigma yöntemidir, sistem çıktısından çok sürece odaklanan yöntem, birçok problem çözme tekniğinin kullanılmasına olanak sağlayarak, iyileştirme çalışmalarını aşamalara ayırarak, sistematik bir şekilde çalışmanın hedeflerine ulaşmasını amaçlamaktadır. Literatürde otomotiv sektörü alanında çevrim sürelerinin, satış miktarlarının artırılması, süreç maliyetlerinin azaltılması, katma değeri olmayan proseslerin kaldırılması gibi birçok noktada iyileştirmelerin yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise hurda ve yeniden işlenen ürün miktarının azaltılmasını sağlamak amacıyla Altı Sigma metodolojisi kullanılmıştır. Balık kılıcı diyagramı, pareto analizi, histogram gibi problem çözme tekniklerinden yararlanılarak elde edilen veriler analiz edilerek hurda ve yeniden ürün işleme sebep olan hata türleri belirlenerek, sistemin bütünsel olarak iyileştirilmesi açısından üretim hattı ve tedarikçide uygulanan iyileştirmeler yapılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda 2021 yılında hesaplanan toplam hurda oranının 0,15%’den 2022’nin üç aylık sürecinde 0,10%’a; yeniden işlenen ürün oranının ise 2,23%’den 1,82%’ye düştüğü belirlenmiştir. Toplam hurda ve yeniden işlenen ürün oranında 0,05%’erlik bir iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. Sürecin sigma seviyesinin ise 3.76 seviyesinden 3.84 seviyesine çıktığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile firmanın üretim sürecinde hurda ve yeniden işlenen ürün miktarının azaltılması konusunda etkinliğinin görülmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Altı Sigma, Otomotiv Sektörü, Yeniden İşleme Prosesi.

# **REDUCING THE QUANTITY OF REPROCESSING BY SIX SIGMA METHODOLOGY IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY**

## **ABSTRACT**

In the world economy, where competitive advantage is gaining importance, businesses have made it a principle to provide the right and quality products and services at the right time by meeting customer demands and requests in order to ensure competitive advantage in markets where customers are active. In order to fulfill this principle, it is aimed to minimize the process costs and to increase the operating efficiency by reducing the costs of the products that are scrap and rework in order to realize the right production at the first time. In the automotive industry, where the level of competition is high, many methods have been used from past to present to increase process costs and efficiency. One of the methods used is the Six Sigma method, which focuses on the process rather than the system output, allowing the use of many problem solving techniques, dividing the improvement studies into stages and aiming to reach the goals of the study in a systematic way. In the literature, it has been seen that improvements have been made in many areas such as increasing cycle times and sales volumes, reducing process costs, removing processes that non value added activities in the automotive sector. In this study, Six Sigma methodology was used to reduce the quantity of scrap and rework products. By analyzing the data obtained by using problem solving techniques such as fishbone diagram, pareto analysis, histogram; the types of errors that cause scrap and re-product processing were determined, and the improvements applied in the production line and supplier were made in order to improve the system as a whole. As a result of the improvements, comparing the total scrap and total rework in 2021 and three-month period of 2022; scrap rate decreased from 0.15% to 0.10%; in the same way the rework rate decreased from 2.23% to 1.82%. 0.05% improvement each of total scrap and rework rate were achieved. Sigma level of the process was observed increasing from 3.76 to 3.84. According to obtained results, it was ensured that the company's effectiveness in reducing the amount of scrap and rework products was observed.

**Keywords:** Six Sigma, Automotive Industry, Rework Process.

## 1.GİRİŞ

Son zamanlarda gelişmekte olan dünya ekonomisinde verimlilik, ülkelerin ekonomik kalkınmalarının devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte hem bir tehdit hem de fırsat olanağı sunan rekabet kavramı da işletmeler açısından önemli bir hale gelmektedir. Müşterinin etkin olduğu piyasada işletmeler rekabet üstünlüğünü sağlamak için müşterilerinin taleplerini zamanında karşılamaya çalışmaktadırlar. Bundan dolayı işletmeler, mevcut hatlarında iyileştirmeler yaparak her türlü süreçlerini daha verimli hale getirmeyi amaçlarlar. Yüksek rekabet ortamında yer alan otomotiv sektöründe, ilk defada doğru üretim yapmayı ilke kabul eden, kalite seviyesi yüksek ürünlerin üretiminde hurdaya ve yeniden işlemeye ayrılan ürünlerin maliyetlerini, fazla mesai ve zaman kaybını azaltarak, üretim verimliliğinin artmasını sağlamak amaçlanmaktadır.

Süreç iyileştirme araçlarından biri olan Altı Sigma, hataları tamamen ortadan kaldırmak için istatistiksel analizlere dayanan kalite iyileştirme yöntemidir. Süreçlerdeki israf ve kalitesizlik maliyetlerini azaltarak, süreçlerin verimliliğini ve etkinliğini arttırmaktadır. Çıktı değerlerin girdi değerlerine oranlanmasıyla elde edilen verimlilik değerinin yükseltilmesi için maliyetlerin azaltılması esas alır.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde Altı Sigma yöntemi, gelişimi, yararları, temel ilkeleri, Altı Sigma organizasyonundaki roller hakkında bilgiler verilmiş, Altı Sigma'nın her bir aşaması ve bu yöntemde kullanılan araçlar detaylı olarak anlatılmıştır. Üçüncü bölümünde literatürde Altı Sigma alanında yapılan çalışmalar özellikle otomotiv sektöründe yapılan iyileştirmeler incelenmiştir. Dördüncü bölümünde günümüzde Altı Sigma çalışmalarının etkin olarak kullanıldığı sektörlerden biri olan otomotiv sektöründe yer alan bir işletmenin üretim hattında Altı Sigma metodolojisi ışığında hurda ve yeniden işlenen ürün miktarlarının azaltılması hedeflenerek uygulama çalışması yapılmıştır son olarak beşinci bölümünde ise uygulama sonuçları ve iyileştirme oranları açık ve net bir şekilde belirtilmiştir.

Çalışmada, Altı Sigma yöntemi ile rekabet düzeyi yüksek olan üretim alanlarında iyileştirilecek noktalara sistematik olarak yaklaşarak kök nedenleri belirleyip işletmelerin sorunlarına çözümler sunmakta, yöntemin aşamaları ile karmaşık yapıda birden çok girdi

ve çıktının yer aldığı sistemlerde analitik araçlar kullanarak sürekli iyileştirmeye katkı sağlaması ve yapılan uygulamayla somut örneklerle sonuçların ortaya konması amaçlanmıştır.

Uygulama aşamasında; geçmişe yönelik verilerden yola çıkılarak, istatistiksel proses kontrol teknikleriyle mevcut durum analizi yapılması ve iyileştirilecek noktaların belirlenmesi istenmektedir. Bir iyileştirmeden bahsedebilmek için öncelikli olarak var olan mevcut durumun net olarak belirlenmesi gerekmektedir, mevcut durum analizi bizi iyileştirme yapılması gereken darboğaz, zaman kaybı yaratan, maliyet artışına sebep olan, ilk defada doğru üretimin engellendiği, yeniden işlemlere sebep olan noktalara götürecektir. Mevcut durum analizinin belirlenmesiyle iyileştirme yapılacak noktanın belirlenmesinde problem çözme tekniklerinden, balık kılçığı istatistiksel proses kontrol tekniklerinden pareto gibi yöntemlerin kullanılması hedeflenmektedir.

Altı Sigma metodolojisinde özellikle iyileştirme yapılacak noktaların belirlenmesinde metodolojinin aşamalarının diğer yöntemler ile güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Birinci aşama olan tanımlama bölümü geliştirme faaliyetinin amaçlarının tanımlanması ile ilgilidir. Buradaki amaç geliştirilecek sürecin bir haritasını oluşturulacaktır. Tanımlama aşamasından sonra ikinci aşama olan ölçme ise, mevcut durum ile ilgili tüm verilerin toplandığı aşamadır, Altı Sigma ekibi çeşitli araçları kullanarak potansiyel problem sebepleri bu aşamada tanımlanmıştır. Ölçüm sonuçları bir sonraki aşama olan analiz aşamasına veri sağlayarak, çalışmanın gidişatı için önemli bir yere sahip olan bu aşamada ölçülen değerler ve belirlenen mevcut durum analizi çalışmanın nasıl şekil alacağını belirlemiştir.

Analiz aşamasında; ölçme aşaması sonucunda elde edilen çıktıları, kendi prosesinde girdiler olarak kullanarak çalışmaya yön verecek aşamadır ve bu aşamada prosesin analizinde temel kalite kontrol araçları ve çeşitli istatistiksel teknikler kullanılmaktadır. İyileştirilmeye ihtiyaç duyulan süreçlerdeki problemlerin nedenleri tespit edilecek ve süreçlerde değişim ortaya çıkaran hatalar belirlenmiştir. Analiz aşamasında toplanan veriler süreç analiziyle doğru kök nedenlere ulaşılması sağlanmıştır.

İyileştirme aşamasında, analiz aşaması sonucu belirlenen problemler için iyileştirme fikirleri ortaya konulmaktadır. İyileştirilmiş durum belirlenerek, yeni durum

ile mevcut durumun farkı ortaya konulması planlanmaktadır. Ayrıca ilerleme kaydedilemeyeceği düşünölen durumlarda ne yapılması gerektiğine yine bu aşamada karar verilmektedir.

Kontrol aşamasında, iyileştirmelerin devamlılığın sağlanması amacıyla süreçlerin kontrolünün yapıldığı aşamadır. Yapılan çalışmanın başarısının ortaya konması ile iyileştirilmiş durumun yeni ölçümleri ve takibinin bu aşamada yapılması amaçlanmıştır. Altı sigmanın her bir aşaması yapılacak olan çalışmaya uyarlanarak işletmeye kar sağlanması düşünölen süreç iyileştirmesinde yöntemin adımları mevcut durum ve iyileştirilmiş durum arasındaki farkın belirgin olarak ortaya konması hedeflenmiştir.



## 2. ALTI SİGMA

Altı Sigma, süreçlerin ölçüm ve analizinin yapılmasına dayanan bir yöntemdir; milyon olasılıkta 3,4 hata ile temsil edilen mükemmele yakın bir hedefdir (Pande ve diğ., 2003). Birçok kalite araçlarını ve problem çözme tekniklerini bünyesinde birleştiren sürekli iyileştirme teorilerinden yararlanan bilimsel bir yöntemdir.

Altı Sigma'nın ana fikri Deming'in "üretim süreçlerinde değişkenliklerin analiz edilerek minimize edilmesi" yaklaşımı ile oluşmaktadır. İstatistiksel analizlerin yardımıyla süreç içerisindeki değişkenlikleri azaltarak sapmaları ve hataları ortadan kaldırmayı hedefleyen iyileştirme yöntemi Altı Sigma olarak tanımlanır. Üründen ziyade ürünün ortaya çıktığı süreci iyileştirmeyi, süreçlerdeki kalitesizlik maliyetlerini azaltarak, sürecin girdi değerlerinin düşürülmesiyle verimliliği ve etkinliği arttırmayı hedeflemektedir.

Birçok kaynakta Yalın Altı Sigma olarak görebileceğimiz, katma değeri olmayan süreçlerin, süreç maliyetlerinin, fazla stokların, müşteri memnuniyetsizliklerinin, hurda ve yeniden işlenen ürün miktarlarının azaltılması ile yalın üretim hedeflerini temel alan güçlü iyileştirme araçlarının da kullanılmasıyla verimlilik yönetiminde yer alan en etkili yaklaşımlardan biridir.

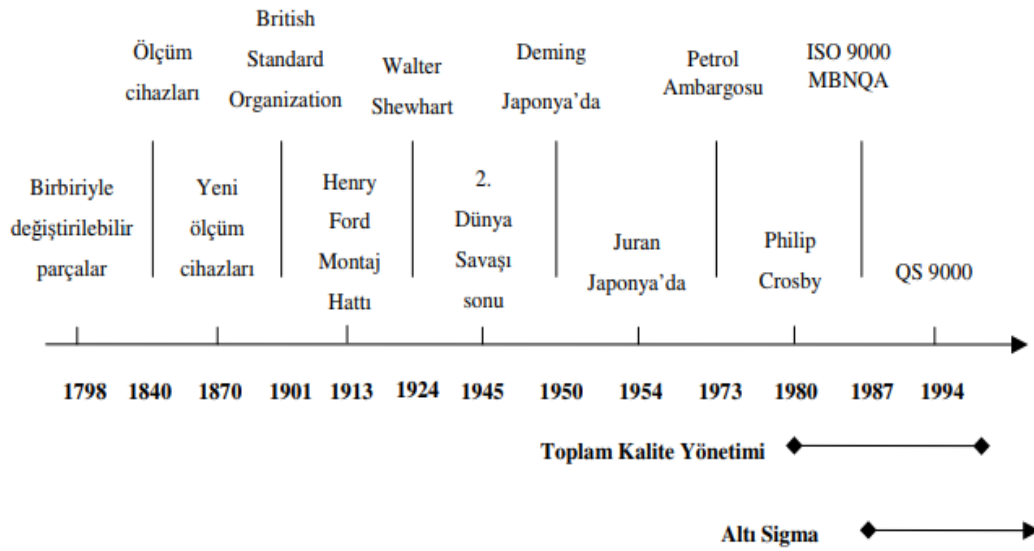
Metodoloji Shewhart, Deming, Juran, Ishikawa, Taguchi ve diğer öncü kalite çalışmalarına dayanan, belirli bir sürecin çıktısı olan; ürün, hizmet veya herhangi bir özelliğin %99,73'ünün istenilen değerle içinde olmasının kaliteli anlamına geldiği, yardımcı birçok kalite aracıyla desteklenmiştir. Altı Sigma, içerisinde birçok yöntemi barındıran, istenen hedeflere ulaşma aşamasında yöntemlerin birbirlerini tamamlaması uyumundan dolayı güçlü bir araçtır.

Bir işletme terimi olarak ise Altı Sigma; gereksiz adımların ortadan kaldırılması ve ilk defada doğru üretimin yapılması ile işletmeler için karlılığı arttıran, düşük kalitenin yol açtığı maliyetleri azaltan ve müşterinin ihtiyaç ve beklentilerini karşılayarak müşteri memnuniyetsizliğini en aza indirmeyi hedefleyen bu doğrultuda işlemlerin verimliliğini yükselten bir gelişme stratejisi olarak tanımlanmaktadır. Altı Sigma; işte performans, başarı ve pazarda liderliği yakalamayı ve kalıcı hale getirmeyi hedefleyen, geniş ve kapsamlı bir sistem olarak tanımlanmalıdır (Pande ve diğ., 2003).

Altı Sigma, en iyi uygulamalar ile sistem tasarlama, sürekli iyileştirme, bilgi yönetimi, köklü değişim ve etkinlik esaslı yönetim gibi kavramları bir araya getirebilmeyi sağlayan bir ortamdır.

Altı Sigma, hizmet ve üretim sektörlerinde yer alan her türlü süreçteki hataları azaltmayı hedefleyen disiplinli, veri analizine dayanan bir metodolojidir. Müşteri odaklı bir yöntem olduğu için müşterinin talep ve istekleri doğrultusunda iyileştirme önerileri sunar; çözümler geliştirir.

## 2.1. Altı Sigma'nın Gelişimi



Şekil 2.1 Altı Sigma Gelişimi (Polat, 2005)

Kapsamlı bir yönetim sistemi olarak tanımlayabileceğimiz Altı Sigma'yı icat eden Motorola şirkettir. 1980'lerde ve 1990'ların başlarında Motorola da pek çok Amerikalı ve Avrupalı kuruluş gibi piyasayı Japon rakiplerine kaptırmıştı. O dönemdeki pek çok şirket gibi Motorola da yalnızca bir tek değil, birden fazla "kalite" programı yürütüyordu. Ancak 1987'de George Fisher tarafından yönetilen Motorola İletişim Grubu, "Altı Sigma" adı verilen yeni bir düşünceyle, iyileştirme kavramı uygulamaya başladı (Pande ve diğ., 2003).

Şekil 2.1'de Altı Sigma'nın yıllar içerisindeki gelişimi ve önceki yıllarda yaşanan önemli gelişmeler ifade edilmiştir.

Motorola'nın yöneticileri, süreç kapasitesi ve ürün spesifikasyonları kavramlarını birleştirdiler. Süreç performansını bu spesifikasyonlarla karşılaştırmak için istatistiksel proses kontrol araçlarından  $C_p$  ve  $C_{pk}$  adı verilen proses yeterliliğinin ölçülmesini sağlayan araçlar kullanıldı. Kapasite hesaplamaları ise bir milyon durum (fırsat) başına hata sayısı "DPMO" (Defect per Million Opportunities) cinsinden ifade ediliyordu (Evren, 2006).

Altı Sigma'yı uygulamaya koymasından yalnızca iki yıl sonra Motorola, Malcolm Balridge Ulusal Kalite Ödülü'ne layık görüldü. Motorola, Altı Sigma'yı bir dizi araç olmanın ötesinde şirket kültürü olarak iletişim, eğitim, liderlik, ekip çalışması, ölçüm ve müşteriye odaklanma üzerine kurulu, süreçleri yeniden tanımlama ve sınıflandırma yöntemi olarak uygulamıştır. Motorola'daki ilk Altı Sigma danışmanlarından olan Alan Larson'un dediği gibi; "Altı Sigma gerçekten de kültürel bir olgudur; bir davranış biçimidir." (Pande ve diğ., 2003).

Altı Sigma, 1980'li yıllarda Motorola tarafından ortaya atılarak geliştirilmiş ve sonrasında birçok sektörde ve büyük firmalarda kullanıla ve alınan başarılı sonuçlar ile hızla tüm dünyada yaygın hale gelen bir yöntem olmuştur. Tablo 2.1'de yapılan çalışmaların hangi sektörlerde gerçekleştiği ve çalışma konuları belirtilmiştir.

Tablo 2.1. Altı Sigma Çalışmalarının Özet Tablosu (Atmaca ve Girenes, 2009)

Yazarı ve Yayın Yılı	Sektörü	Konusu
Hahn ve ark., 1999	Genel	Altı Sigma çalışmalarının personele katkısı
Deshpande ve ark., 1999	Kimya Sanayi	Kimya sektörde yapılan Altı Sigma uygulamaların değerlendirilmesi
Blakeslee, 1999	Genel	Altı Sigma çalışmalarının etkinliği
Chen ve ark., 1999	Döküm Sanayi	Uygulama-Ürün ve tasarım kalitesinin iyileştirilmesi
Nevalainen ve ark., 2000	Laboratuvar	Uygulama-Kalite göstergelerini etkileyen faktörlerin en azlanması
Pande ve ark., 2000	Genel	Altı Sigmanın nasıl uygulanacağı
De Mast ve ark., 2000	Genel	Kalite tekniklerinin karşılaştırılması
Wyper ve Harrison, 2000	İnsan Kaynakları	Uygulama-İnsan Kaynakları sürecinin iyileştirilmesi
Chan ve Spedding, 2001	İmalat Sektörü	Uygulama-Kalite düzeyinin on-line olarak

Tablo 2.1. (Devam) Altı Sigma Çalışmalarının Özet Tablosu (Atmaca ve Girenes, 2009)

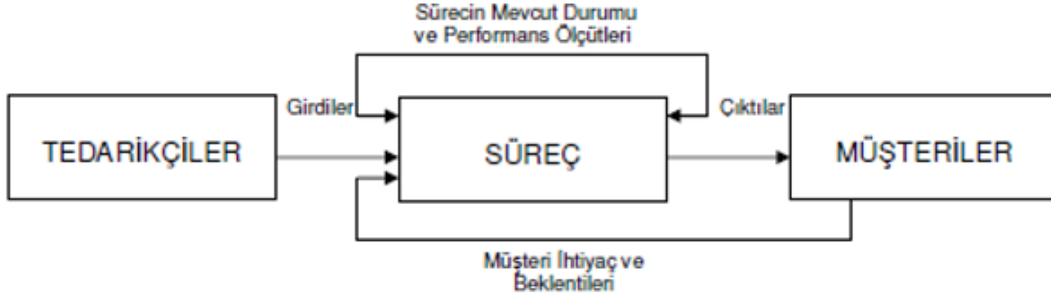
Goh, 2001	Genel	Deney Tasarımı, Taguchi Metodu ve Altı Sigma karşılaştırması
Calcutt, 2001	Genel	Altı Sigma stratejisinin ne olduğunu ve nasıl uygulanacağı
Hoerl, 2001	Genel	Kuşak eğitim programlarının içeriği
Pearson ve ark., 2001	Genel	Altı Sigma uygulamalarının ölçüm bilimi teknikleri ile birleştirilmesi
Neuscheler ve Norris, 2001	Genel	Altı sigma çalışmalarından finansal getiri elde edilmesi
Gross, 2001	Genel	Başarılı Altı Sigma çalışmaları için gerekenler ve KOBİ( Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler)'lere uygulanabilirliği
Breyfogle ve ark., 2001	Genel	Motorola ve General Electric'in örnek Altı Sigma uygulamaları
Chowdhury, 2001	Genel	TÖAİK(Tanımlama-Ölçme-Analiz-İyileştirme-Kontrol) modelinin incelenmesi
Chonghun ve Young-Hak, 2002	İmalat Sektörü	Uygulama-Tesis bilgi sistemi kurulumu
Linderman ve ark., 2003	Genel	Altı Sigma'nın hedef teorisi ile birlikte kullanımı
Baczewski, 2005	Sağlık Sektörü	Benchmarking, ISO( International Organization for Standardization), Altı Sigma, Yalın Yönetim karşılaştırılması
Gijo ve Rao, 2005	Genel	Altı Sigma uygulama çalışmaları sırasında karşılaşılan zorluklar
Banuelas ve ark., 2005	İmalat Sektörü	Uygulama-Film kaplama sürecindeki israfların azaltılması
Aslan ve Demir, 2005	Laboratuvar	Altı Sigma'nın klinik laboratuvarlarda uygulanabilirliği
D'Angelo ve ark., 2007	Hizmet Sektörü	Altı Sigma, Kalite Geliştirme
Antony ve ark., 2008	Genel	Yalın Altı Sigma Uygulamaları

## 2.2. Altı Sigma'nın Yararları

Girdilerin çıktılara dönüşmesini sağlayan faaliyetlerin tamamını süreç olarak adlandırılır. Bir sürecin verimliliği ise; genel olarak Çıktı/Girdi formülüyle hesaplanır. Çıktıları oluşturan değerlerin artışıyla ya da girdileri oluşturan değerlerin azalmasıyla birlikte sürecin verimliliğinde artış gözlenir.

Şekil 2.2'de bir sürecin girdi ve çıktıları, ayrıca girdi ve çıktıların bir süreci nasıl etkilediği ve bu etkenlerin geri bildirimleri süreç aktiviteleri olarak ifade edilmiştir. Süreci

doğru bir şekilde tanımlamak, girdi ve çıktıları doğru tespit etmek Altı Sigma çalışmalarının başlangıcını ve temelini oluşturur.



Şekil 2.2. Süreç Aktiviteleri (URL-1, 2022)

Bu anlamda Altı Sigma bir süreci oluşturan girdilerin (maliyetlerde, hurda ve yeniden işlenen ürün miktarlarında, üretim çevrim sürelerinde gibi birçok alanda) azalmanın, süreci oluşturan çıktıların (ilk defada doğru üretim miktarında, müşteri tatminini gibi alanlarda) artışları sağlayan istatistiksel analiz ve problem çözme tekniklerinin kullanılmasıyla süreçlerde iyileşme ve gelişmeyi sağlayan bütünsel bir yaklaşımdır.

- Pazar payında artış
- Müşteri tatmininde artış
- Hata oranında azalma
- Döngü-süresinde azalma
- Olumlu kültürel değişim
- Üretkenlikte artış
- Ürün/hizmet geliştirme
- Maliyetlerde azalma (URL-7, 2022)

Yukarıda belirtilen yararlar dışında Altı Sigma'nın işletmeler tarafından çok kullanılmasını sağlayan sebepleri aşağıdaki şekilde belirtebiliriz.

- Kalıcı başarıya götürür: Altı Sigma aşamalarından biri olan Kontrol aşamasında yapılan iyileştirmelerin sürekliliğinin sağlanması hedeflenir ve sürekli iyileştirme zihniyetiyle değişen müşteri isteklerinin karşılanması ve sürekli yeniliklerle pazardaki payın korunması hedeflenir. Sürekli iyileştirme ve maliyetleri azaltma hedefleri için bir şirket kültürü sağlar.

- Öğrenmeyi ve bilginin yayılımını destekler: Altı Sigma, gelişmeyi süreçlerde karşılaşılan problem çözümlerin ve hataların iyileştirilmesi için bütün kuruluş tarafından süreçle ilgili bilgilerin paylaşılmasını arttırabilen ve hızlandırabilen bir yaklaşımdır. Süreçlerin nasıl geliştirilebileceği konusunda departmanlar arası bilgi akışının sağlanmasını ve departmanlar arası farklı tekniklerin kullanılarak hedeflere ulaşılmasını sağlar.

- Müşteriye sunulan değeri arttırır: Gelişmekte olan dünya ekonomisinde ve piyasalarda güçleşen rekabet koşulları dolayısıyla sadece iyi ya da hatasız ürün ya da hizmet sağlamak yeterli olmayacaktır. Altı Sigma kültürüyle müşteri talep ve istekleri doğru ve net bir şekilde analiz edilerek müşteri memnuniyeti ve müşteri beklentisinin üzerinde süreç çıktılarının oluşması sağlanır (Evren, 2006).

### **2.3. Altı Sigma'nın Temel İlkeleri**

Altı Sigma metodolojisini oluşturan beş temel yaklaşım vardır, bu yaklaşımlar üründen ziyade sürece odaklanmayı, müşteri istek ve taleplerini temel almayı, ekip çalışması olarak iyileştirme adımlarını gerçekleştirirken her bir adımı verilere dayandırmayı destekler.

#### **2.3.1. Müşteri Odaklılık**

Dinamik yapıya sahip olan müşteri istekleri zaman içerisinde değişebilir. Altı Sigma çalışmalarında iyileşmelerin sağladığı faydalar müşteri memnuniyeti ve çıktılar üzerinde yaptığı etkiyle tanımlandığı için en büyük önem müşteri odaklılığıdır.

#### **2.3.2. Mükemmele Yöneliş, Başarısızlığa Karşı Hoşgörü**

Bu iki düşünce birbirini tamamlamaktadır. Daha iyi bir hizmete, daha düşük maliyetlere ulaşmak isteyen şirketler farklı denemelerden ve başarısızlıktan korkuyorlarsa, yeni bir yolu denemeye kalkışmazlar. Süreç iyileştirme çalışmalarında alınan tüm kararlar iyileştirme ile sonuçlanmayabilir, alınan kararlar süreçte herhangi bir değişikliğe sebep olmayabilir ya da istenenin aksine bir sonuç verebilir. Altı Sigma'yı hedefleyen bir şirket, başarıya ve kara ulaşmak için başarısızlığa ve farkı düşünce ve denemelere karşı hoşgörü ile yaklaşan bir kültüre sahiptirler (Pande ve diğ., 2003).

### **2.3.3.Verilere ve Gerçeklere Dayalı Yönetim**

Altı Sigma, “gerçeğe dayalı yönetim” kavramını yeni ve daha güçlü bir konuma taşımaktadır. Mevcut durumu sayısal veriler ile ölçüp ve sonrasında analiz ederek iyileştirme yapılması gereken noktaların belirlenmesi gerektiği düşüncesini temel alır. Sonuçları optimize edecek şekilde veri ve analizleri uygular. Dikkate alınması gereksinim duyulan bilgiler ve bu bilgilerden maksimum faydanın nasıl sağlanacağı belirlenir.

### **2.3.4. Sınırsız İşbirliği**

Altı Sigma Organizasyonundaki Roller bölümünde de belirtileceği üzere süreç iyileştirme çalışması bir takım çalışmasıdır ve farklı rollerde ve pozisyonlarda yer alan kişilerin ortak bir hedef etrafında iş birliği içerisinde çalışmayı yürütmelerini gerektirir. Altı Sigma sistemi gerçek bir ekip çalışmasını destekleyecek ortamı ve yönetim yapısını oluşturabilir.

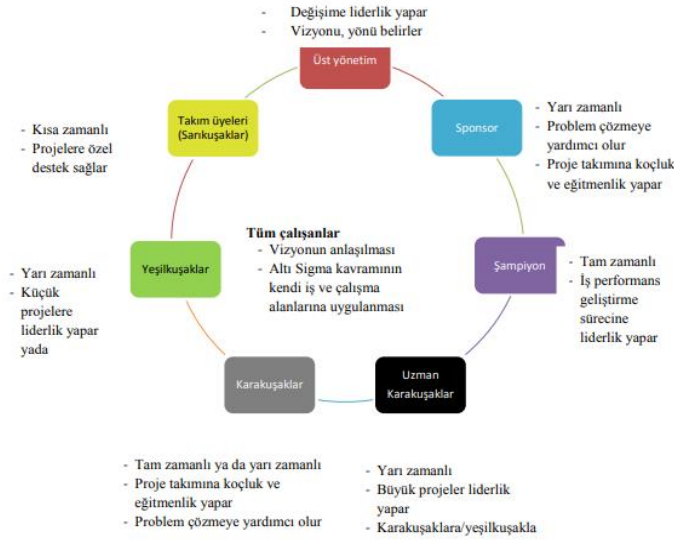
### **2.3.5. Sürece Odaklanma, Yönetim ve İyileştirme**

Altı Sigma’da süreçler, eylemin olduğu yerlerdedir. Ürün ya da hizmete değil, ürün ya da hizmetin ortaya çıktığı sürece odaklanarak sürecin yönetimini ve iyileştirilmesini asıl hedef olarak belirler, iyileştirilen ve geliştirilen sürecin sonucunda ortaya çıkan çıktılar da başarıya ulaşıldığının bir göstergesi olacaktır (Evren, 2006).

## **2.4. Altı Sigma Organizasyonunda Roller**

Altı Sigma çalışmalarında amaç bir ekip oluşturularak kuruluştaki bireylerin değişimin ve gelişimin bir parçası olarak hissetmelerini sağlamaktır. Ekip üyeleri her bir çalışma için uzmanlık alanlarına göre seçilmektedir. Altı Sigma uygulanan organizasyonlarda ekip üyelerine bilgi ve deneyimlerine göre çeşitli unvan, yetki ve sorumluluklar verilmiştir (Firuzan ve diğ., 2012).

Şekil 2.3’de Altı Sigma organizasyonunda yer alan roller ve sorumluluklar detaylı olarak ifade edilmiş, belirlenen rollere ait temel görevler aynı şekilde belirtilmiştir. Altı Sigma çalışmaları kapsamında belirlenen Yeşil Kuşak, Kara Kuşak ve Uzman Kara Kuşak’lara ait bilgiler de aynı şekil içerisinde belirtilmiştir.



Şekil 2.3. Altı Sigma'da Yer Alan Roller ve Sorumluluklar (George, 2002)

#### 2.4.1. Altı Sigma Yönetim Komitesi (Liderlik Ekibi)

Şirket içerisinde yürütülen Altı Sigma iyileştirme çalışmalarının etkinliğini sağlamak amacıyla üst yönetim tarafından oluşturulan komitedir. Belirli periyotlarla toplanan komite Altı Sigma çalışmaları kapsamında süreçlerdeki uygulamaları, uygulama hatalarının, sapmalarının belirlenmesini ve düzeltilmesini sağlamaktadır (Evren, 2006).

#### 2.4.2. Altı Sigma Koordinatörü

Şirket içerisinde Altı Sigma planlamalarını yürüten, takip eden üst yönetime ve Sponsor'a çalışma ile ilgili raporlama yapan kişidir. Altı Sigma danışmanı ve Altı Sigma ekip üyeleri, destek departmanlar ile iletişim sağlaması ve birleştirici bir rol izlemesi beklenir (Evren, 2006).

#### 2.4.3. Altı Sigma Rehberi (Danışman)

Proje danışmanın; ekip üyelerine, Altı Sigma çalışmaları ile ilgili yönetsel stratejik ve istatistiksel bilgiler dahil olmak üzere birçok alanda uzmanlığa dayalı tavsiyelerde bulunarak ekip üyelerine yardımcı olması beklenir. Ekip üyelerinden ise danışmanlardan alınan tavsiyeler ile birlikte stratejik olarak alınacak kararların daha doğru bir şekilde gerçekleştirmeleri beklenir.

#### **2.4.4. Sponsor**

Bir iyileştirme çalışmasını izleyen üst düzey yöneticidir. İyileştirme çalışmaları kapsamında ekipler, özgür olarak düşüncelerini ve fikirlerini sunmalıdırlar, bunun yanı sıra alınacak kararlar konusunda yönlendirilmeye ve liderlerinin rehberliğine ihtiyaç duyarlar bu noktada Sponsor üyelerden destek beklerler.

#### **2.4.5. Şampiyon**

Çalışmanın yapılacağı iyileştirme sürecinin yöneticiliğini yapmak için atanan kişilerdir. İyileştirme çalışmasının ekip üyelerine destek olması, çalışmanın başarılı olması ve beklentilerin karşılanması için gerekli çalışmaları yönetmesi beklenen kişilerdir.

#### **2.4.6. Ekip Lideri ya da Proje Lideri**

Altı Sigma kapsamında yapılan çalışmalardan ve çalışma sonuçlarından birinci derecede sorumlu olan kişidir. Ekip liderleri süreç iyileştirme çalışmalarında nasıl yol alınması gerektiği konusunda ekip üyelerine destek olarak tasarım, ölçüm aşamaları, süreç yönetimi gibi birçok alanda liderlik yapabilirler. Çalışmanın planlandığı gibi yürütülmesini ve iyileştirme aşamalarında sürekliliği sağlama açısından önem taşırlar.

#### **2.4.7. Ekip Üyesi**

Ekip üyeleri sürecin ölçümü, analizi, iyileştirilmesi ve iyileştirme sonuçlarının gözle görülebilir şekilde ortaya konmasını sağlayan kişilerdir. Ekip üyeleri bir çalışmanın devreye alınması için aktif olarak çalışan temel kişilerdir.

Altı Sigma hareketinin en belirgin yönlerinden biri; Uzman Kara Kuşak, Kara Kuşak ve Yeşil Kuşak gibi farklı isimlerle bilinen, süreç iyileştirme çalışması gerçekleştirecek uzmanlardan oluşan ekiplerin oluşturulmasıdır.

Uzakdoğu savaş sanatlarından esinlenerek zirveye ulaşılan beceri bilgi ve disiplini ifade etmek için kullanılan “Kara Kuşak” ünvanı 1990’ların başında ilk defa Motorala’da ortaya çıkmıştır. İstatistik, ürün ve süreç iyileştirme alanlarında özel uzmanlığa sahip kişileri ifade etmek için kullanılır.

Altı Sigma’da bilgi ve deneyim derecelerine göre Yeşil, Kara, Uzman Kara olarak ifade edilen kuşak kademeleri bulunmaktadır (Pande ve diğ., 2003).

#### **2.4.8. Uzman Kara Kuşak**

Altı Sigma çalışmalarında eğitim ve danışmanlık verebilme yetkinliğine sahip kişilerdir. Şirketler, Altı Sigma çalışmalarında Uzman Kara Kuşak’a ihtiyaç duyulması halinde, bu ihtiyacı danışman firmalardan sağlamaktadırlar. Altı Sigma iyileştirmeleri açısından sürdürülebilir yaklaşıma sahip olan şirketler kendi Uzman Kara Kuşak’larını yetiştirerek dışarıya bağılılığı gerektiren bu durumu ortadan kaldıracırlar. Uzman Kara Kuşak unvanına sahip olabilmek için Kara Kuşak sertifikasına sahip olunmalı, 34 başarılı Kara Kuşak projesini tamamlanmalı, Kara Kuşak eğitimi ve danışmanlıklarında görev alarak eğitim sürecinin tamamlanması gerekmektedir.

#### **2.4.9. Kara Kuşak**

Altı Sigma iyileştirme sürecinin liderliğini üstlenen, çalışma ekibi ile birlikte belirlenen hedefin gerçekleşmesi için çalışan kişilerdir. Genellikle Altı Sigma çalışmalarını tam zamanlı olarak yönetmeleri beklenir.

#### **2.4.10. Yeşil Kuşak**

Kara Kusak projeleri ile karşılaştırıldığı zaman daha küçük ölçekli Altı Sigma çalışmalarında, iyileştirme sürecinin liderliğini üstlenen, ekip ile birlikte belirlenen hedefinin gerçekleşmesi için çalışan kişilerdir. Genellikle yarı zamanlı olarak Altı Sigma çalışmalarına katılarak, içinde buldukları proseslerle ilgili olarak iyileştirme çalışmaları yapmaları önerilir (Evren, 2006).

### **2.5. Sigma Seviyesi**

Standart Sapmanın istatistiksel temsili olan Yunan harfi Sigma ( $\sigma$ ), belirli bir sürecin mükemmellikten ne kadar saptığını ölçer. Altı Sigma’nın arkasındaki ana fikir, bir süreçteki “kusur” sayısı ölçülebiliyorsa, “sıfır hataya” mümkün olduğunca nasıl yaklaşılacağını sistematik olarak bulmak bunların ortadan kaldırılmasını sağlamaktır (Pande ve diğ., 2003).

İstatistiksel olarak, Altı Sigma, bir süreç kalite ölçümünün ortalaması ile en yakın spesifikasyon sınırı arasındaki aralığın, sürecin standart sapmasının en az altı katı olduğu bir süreci ifade eder; burada sigma, süreç ortalamasındaki çeşitliliği temsil etmek için kullanılan bir terimdir. Altı Sigma'nın amacı, süreci hedefe odaklamak ve süreç içerisindeki çeşitliliği azaltmaktır.

Altı Sigma'da bilinmesi gereken bir diğer önemli gerçek ise 1,5 sigma kaymasıdır. Süreç kısa vadede doğru çözümler sağlayabilir, ancak sürece daha fazla verinin girildiği uzun vadede, kısa vadeli bir süreçle karşılaştırıldığında, ortalama ve spesifikasyon limiti arasında sığacak sigma sayısı zamanla düşecektir. Bu nedenle, süreç varyasyonundaki bu artışın üstesinden gelmek için, hesaplama bir 1,5 sigma kayması eklenir. Süreç ortalamasının 1.5 sigma kadar kaydırılması düşüncesi bir çeşit düzeltme faktörü olarak kullanılmaktadır. Altı Sigma yaklaşımının getirdiği en büyük yeniliklerden biri süreçlerin hata oranının 1.5 sigma kayma varsayımıdır.

Tablo 2.2.'de Sigma Seviyeleri, her bir sigma seviyesine ait bir milyondaki hata sayısı ve başarı oranı belirtilmiştir.

Tablo 2.2. Sigma Seviyeleri (Alper, 2009)

Sigma Seviyesi ( $\sigma$ )	Bir Milyonda Hata Sayısı (DPMO)	Başarı Oranı
2 $\sigma$	308.537	62,90%
3 $\sigma$	66.807	93,30%
4 $\sigma$	6210	99,40%
5 $\sigma$	233	99,98%
6 $\sigma$	3,4	99,9997%

Ürün Miktarı: Bir dönem içinde üretilen mal ve hizmet miktarının toplamıdır.

Hatalı Ürün Miktarı: Üretilen mal ve hizmetten veya reddedilen ihtiyacı karşılamayan veya reddedilen hatalı ürün miktarıdır;

$$\text{Ürün Başına Düşen Hata Miktarı} = \text{Hatalı Ürün Miktarı} / \text{Ürün Miktarı} \quad (2.1)$$

Birimdeki Hata Fırsatları: Müşteri tarafından bir birim mal veya hizmetin hatalı olduğu sonucuna varmasına neden olacak özelliklerin toplamıdır.

Fırsat Başına Düşen Hata Miktarı :(Defects per Oppurtunities (DPO));

$$DPO = (\text{Hatalı Ürün Miktarı}) / (\text{Ürün Miktarı} \times \text{Fırsat Sayısı}) \quad (2.2)$$

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \quad (2.3)$$

Başarı Yüzdesi: Müşterinin ihtiyaçlarını karşılayan başarılı üretim yüzdesidir;

$$\text{Başarı Yüzdesi} = 1 - DPO \quad (2.4)$$

Sigma Seviyesi: Başarı Yüzdesi değerinin birikimli standart normal dağılımındaki alanına karşılık gelen “Z” değeridir;

$$\text{Sigma Seviyesi} = \text{Norm. S. Inverse} \times (\text{Başarı Yüzdesi}) + 1.5 \quad (2.5)$$

## 2.6. Altı Sigma Aşamaları

Altı Sigma metodolojisi beş aşamadan oluşmaktadır. DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve,Control) modelini temel alan yöntem ürün ya da hizmetin ortaya çıkmasını sağlayan süreçlerin iyileştirilmesine ve yönetimine odaklanır.

Süreç etkinliğinin artırılması için kullanılan birçok iyileştirme döngüsü bulunmaktadır. Bu döngülerin çoğu Edwards W. Deming'in Şekil 2.4'de belirtilen PUKÖ; (Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem al) döngüsünü temel aldığı ifade edilebilir (Petek, 2020).

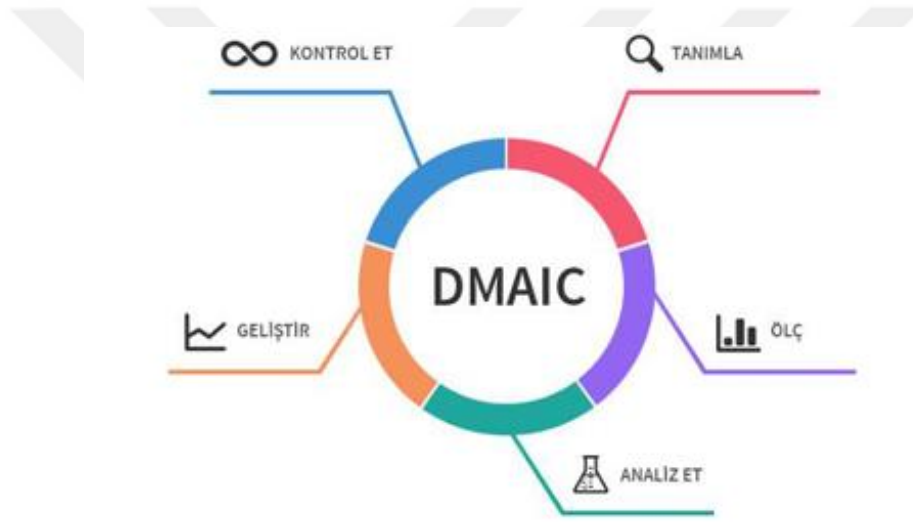


Şekil 2.4. PUKÖ Döngüsü (URL-2, 2022)

PUKÖ döngüsünden çok farklı olmayan DMAIC modeli, ölçme ve iyileştirme aşamaları vurgulanarak birer aşama olarak ifade edilmiştir (Erwin, 2002).

Altı Sigma'nın yapı taşı olarak belirtebileceğimiz yol haritası, DMAIC yaklaşımı, birbirini sırasıyla izleyen ve beş aşamadan oluşan süreç odaklı bir yaklaşımdır. DMAIC döngüsünün adımları sırasıyla takip edilerek Altı Sigma çalışması uygulanmaktadır (Kwak ve Anbari, 2006). Altı Sigma yaklaşımında amaç süreçleri matematiksel olarak tanımlamak ve yorumlamaktır.

Şekil 2.5'te belirtilen DMAIC yaklaşımının, (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol) aşamaları olarak ifade edilebilir.



Şekil 2.5. Altı Sigma DMAIC Yöntemi (Çallı ve Turan, 2018)

### 2.6.1. Tanımlama Aşaması

Tanımlama aşaması, Yalın Altı Sigma iyileştirme sürecinin ilk aşamasıdır. Bu aşamada iyileştirme ekibi tarafından bir "Çalışma Tüzüğü" oluşturularak problem tanımlanır. İyileştirme çalışması başlatma belgesi, sürecin bir haritasıdır ve asıl amaç, müşterinin iyileştirme çalışması kapsamında ihtiyaçlarını anlamaktır. Burada müşterilerden kasıt, bir kuruluş içindeki bazı ekipler veya departmanların yanı sıra bireysel kişilere de olabilir. Esas olarak, yapılan çalışmanın sonuçlarından yararlanan veya sonuçları kullanan kişiler olarak kabul edilebilirler (URL-6, 2022).

Yapılması gereken ilk şey, bir ekip oluşturmak ve ekibe liderlik etmek için siyah veya yeşil bir kuşak ve iyileştirme çalışmasının liderliğine ise sponsor ya da şampiyon atamak.

Daha sonra çalışmanın hedefi açıkça tanımlanmalıdır. Bu ifade, takımın ve çalışmanın nicel sonuçlar açısından ne zaman başarılı sayılacağını tanımlar (Alper, 2019).

De Koning ve De Mast, bu aşamada gerçekleştirilmesi gereken dört ana ifadeden bahseder (De Koning ve De Mast, 2006):

- D1. İlgili süreçleri tanımlamak ve haritalamak.
- D2. Paydaşları belirlemek.
- D3. Müşteri ihtiyaç ve gereksinimlerini belirlemek ve önceliklendirmek.
- D4. İyileştirme çalışması için bir vaka oluşturmak.

### **2.6.2. Ölçme Aşaması**

Ölçme aşaması, teslimat süresi veya kalite açısından sorunun büyüklüğünü ölçmeye odaklanır. Ekip, çalışma süresindeki gelişmeyi görmek amacıyla nicel ölçümler yapmak zorunda olduğundan dolayı ölçüm iyileştirme çalışmasının ömrü boyunca kritik öneme sahiptir. İlk olarak, sürecin başlangıçta nasıl bir performans gösterdiğini bilmek için ölçümler yapılmalıdır. Bu ölçümlere göre çalışmanın nasıl ilerlediği değerlendirilebilir. Bu aşamada, var olan sürecin nasıl ilerlediği belirlenir, verilerin toplanması için bir plan oluşturulur, verilerin güvenilirliği sağlanır, temel veriler toplanır ve son olarak çalışma tüzüğü güncellenir (URL-6, 2022).

De Koning & De Mast'a göre; “Bu aşamada asıl amaç, sorunu ölçülebilir bir forma dönüştürmek, mevcut durumu ölçmek ve hedeflerin tanımını güncellemektir. Bu aşamada gerçekleştirilmesi gereken beş ana ifade şunlardır (De Koning ve De Mast, 2006);

- M1. Bir veya daha fazla CTQ(Kalite için Kritik Nokta)’ları seçmek
- M2. CTQ'lar ve gereksinimler için operasyonel tanımları belirlemek
- M3. CTQ'ların ölçüm sistemlerini doğrulamak
- M4. Mevcut süreç kapasitesini değerlendirmek
- M5. Hedefleri tanımlamak

### **2.6.3. Analiz Aşaması**

Analiz aşaması, ekibin sorunun olası kök nedenlerine odaklanması gereken kısımdır. Bunu yapabilmek için bir ekip üyeleri arasında beyin fırtınası yapmak ve bu sorunların

neden var olduğu konusunda hipotezler geliştirmek analiz aşamasının başlangıç noktasıdır. Daha sonrasında ise; ekip, hipotezlerinin doğru veya yanlış olup olmadığını kontrol etmek için çalışmalıdır. Doğrulama, hem süreç analizini hem de veri analizini içerir ve veri analizi uygulamadan önce tamamlanmalıdır (URL-6, 2022).

Bu aşamada öncelikle süreç yakından incelenir ve veriler grafiksel olarak gösterilir. İkinci olarak, sorunun nedeni veya nedenleri doğrulandır ve çalışma tüzüğü güncellenir. Burada ağırlıklı olarak kullanılan araçlar;

- Histogramlar
- Pareto Grafikleri
- Box Plot Grafiği
- Kılçık Diyagramı (Ichikawa Diyagramı)
- 5 Neden

De Koning & De Mast, “analiz aşamasında, CTQ'ların davranışını belirleyen etki faktörleri ve nedenleri belirlenir. Bu aşamada gerçekleştirilecek iki ifade vardır (De Koning ve De Mast, 2006);

A1. Potansiyel etki faktörlerini tanımlamak

A2. nemli birkaç etki faktörünü seçmek

#### **2.6.4. İyileştirme Aşaması**

İyileştirme aşaması, ekibin kök neden veya nedenlere yönelik zmler geliştirdiği bölümdür. Burada, süreç değişikliklerini yönetirler ve iyileştirmeyi ölçmek için veri toplarlar. Bu aşamada ekipler genellikle zm belirlemek için bir teknik kullanır. Farklı üzümlere dayalı süreç haritaları geliştirirler. Bu aşamada en iyi zmn seçimi ve ardından seçilen zmn uygulanması gerçekleşir. Uygulama kısmında ise planlama çok önemlidir. Bu nedenle lojistik, eğitim, dokümantasyon ve iletişim planlarını göz önünde bulundurarak iyi bir “Uygulama Planı” oluşturmaları gerekmektedir. Burada ekip, PDCA (Planla-Uygula-Kontrol Et-nlem al) olarak bilinen döngüleri kullanabilir (URL-6, 2022).

De Koning & De Mast, bu aşamanın “CTQ'ların performansını iyileştirmek için süreçteki gelişmelerin tasarımı ve uygulanmasının” gerçekleştiği yer olduğunu belirtir (De Koning ve De Mast, 2006). Bu aşamada gerçekleştirilecek üç ifade vardır;

- I1. X'ler ve CTQ'lar arasındaki ilişkileri ölçmek.
- I2. Etki faktörlerinin sürecini CTQ'ları optimize edecek şekilde değiştirmek için eylemler tasarlamak.
- I3. İyileştirme eylemlerinin pilot uygulamalarını gerçekleştirmek

### **2.6.5. Kontrol Aşaması**

Kontrol aşaması, sorunun çözüldüğü veya bir iyileştirmenin sürdürüldüğü aşamadır ve ekibin, güncellenen sürecin başarısını ölçmeye devam etmek için bir “İzleme Planı” oluşturması ve olası bir performans düşüşü durumunda bir “Müdahale Planı” geliştirmesi gerekir. Burada iyileştirme ekibi, Kontrol Planı, Kontrol Şeması ve İzleme-Müdahale Planı kullanarak sürecin uygun şekilde yönetilmesini ve izlenmesini sağlamalıdır.

Bu noktada ekip dokümanlarını günceller. Başkalarının yeni süreci takip etmesini sağlamanın en güçlü yöntemlerinden biri görsel talimatlar oluşturmaktır. Bu, herkesin bir sürecin tam olarak nasıl aktığını ve ihtiyaç duyduklarını nerede bulacağını bir bakışta görebileceği anlamına gelir (URL-6, 2022).

De Koning & De Mast'a göre ; Kontrol aşamasında, iyileştirmelerin sürdürülebilir olması için çalışma sonuçlarının deneye dayalı olarak doğrulanması ve süreç yönetimine entegre edilmesi gereklidir. (De Koning ve De Mast, 2006). Bu aşamada aşağıdaki iki adım yer alır;

- C1. Yeni süreç kapasitesini belirlemek
- C2. Kontrol planlarını uygulamak

### **2.7. DMAIC Yöntemi'nde Kullanılan Araçlar**

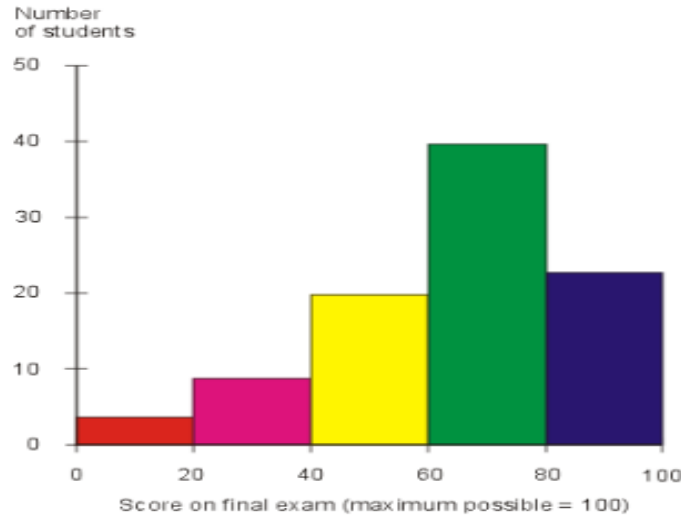
Altı Sigma aşamalarında birçok problem çözme tekniğinden yararlanılabilir, farklı tekniklerin bir arada kullanılmasına olanak sağlaması açısından etkin olan bu yöntemde en çok kullanılan araçlar bu bölümde açıklanmıştır.

### 2.7.1. CTQ (Critical-to Quality)

Kalite için kritik noktalar (CTQ), kalite üzerinde doğrudan etkisi olan genel süreç veya ürünün müşteri tarafından kabul edilebilir kalitede olup olmadığını ifade eden bir süreç özelliği veya bileşenidir. Spesifik, ölçülebilir kritik kalite (CTQ) özelliklerinin tanımlanması anlamlı ve ölçülebilir iş süreci iyileştirmesi için gereklidir. Veri kalitesi, tasarım çabasında önemli bir husustur. Ekibin, veri kalitesi için CTQ'ları tanımlayarak tasarımlarıyla ilişkili verilerin hem doğru hem de eksiksiz olduğundan emin olması gerekir (Alper, 2019).

### 2.7.2. Histogram

Histogramlar, süreç kapasitesini görselleştirmek için kullanılır. Bir histogramdaki her bir çubuğun yüksekliği, veri kümesinde belirli bir değer aralığının ne sıklıkla meydana geldiğini gösterir. Şekil 2.6'da örnek bir Histogram grafiği ifade edilmiştir. Histogramlar, manuel olarak veya istatistikçiler ve mühendisler arasında en yaygın kullanılan yazılımlardan biri olan Minitab gibi bir yazılım kullanılarak yapılabilir (Alper, 2019).



Şekil 2.6. Histogram (URL-3, 2022)

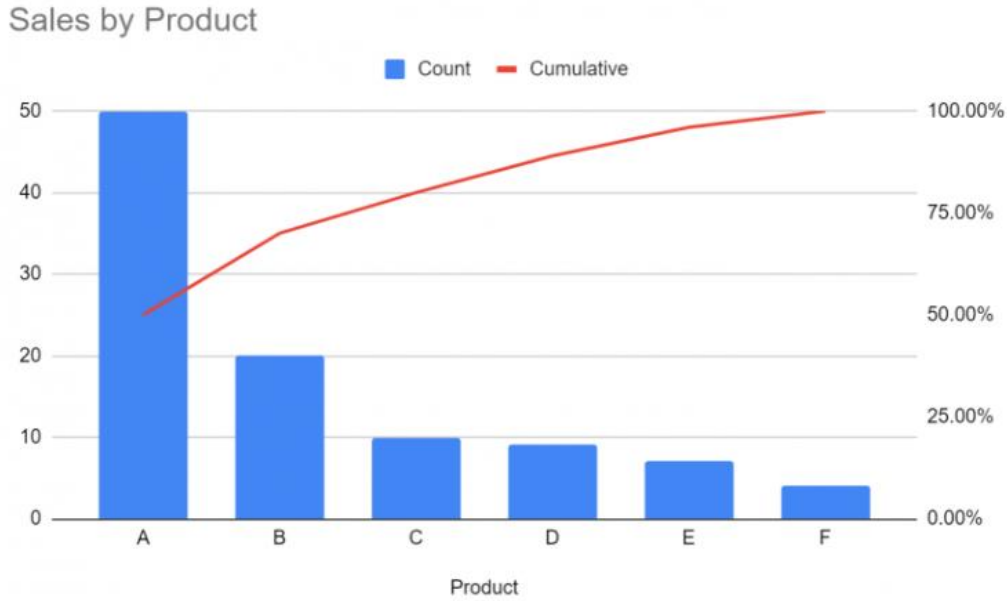
### 2.7.3. Akış Şeması

DMAIC sürecinde bir akış şeması geliştirmek önemlidir. Tüm ekip üyeleri iyileştirilecek süreçlere aşina olmayabileceğinden, süreci anlamak için bir akış şeması kullanmak

önemlidir. Akış şemaları sürece genel bir bakış açısı sağlaması noktasında yardımcı bir araçtır.

#### 2.7.4. Pareto Grafiği

Pareto grafiği, 80/20 kuralı veya "Pareto İlkesi" olarak bilinen ve ilişkilendirilen bir grafikdir. Bu kural, %80'lik etkinin faktörlerin %20'si tarafından yapıldığını ifade eder. Örneğin bir bankadaki paranın %80'i müşterilerin %20'sine aittir. Bu kuralın hayatın her anında geçerli olduğu düşünülür. Pareto Grafiği, hata oranı, hizmet düzeyi veya kalite gibi genel performans göstergeleri üzerinde en fazla etkiye sahip olan faktörleri belirlemek için kullanılır. Bu nedenle, Altı Sigma çalışmalarında, en önemli iyileştirmeyi elde etmek ve doğru göstergelere odaklanabilmek için Pareto Grafiği kullanılır. Çalışmaların çoğunda, sonuçları en çok etkileyen iki veya üç faktör vardır. Bu nedenle, bu faktörlere odaklanmak ve süreci iyileştirmek, genel olarak %80'lik bir iyileşme ile daha olasıdır. Şekil 2.7'de örnek bir Pareto grafiği ifade edilmiştir.

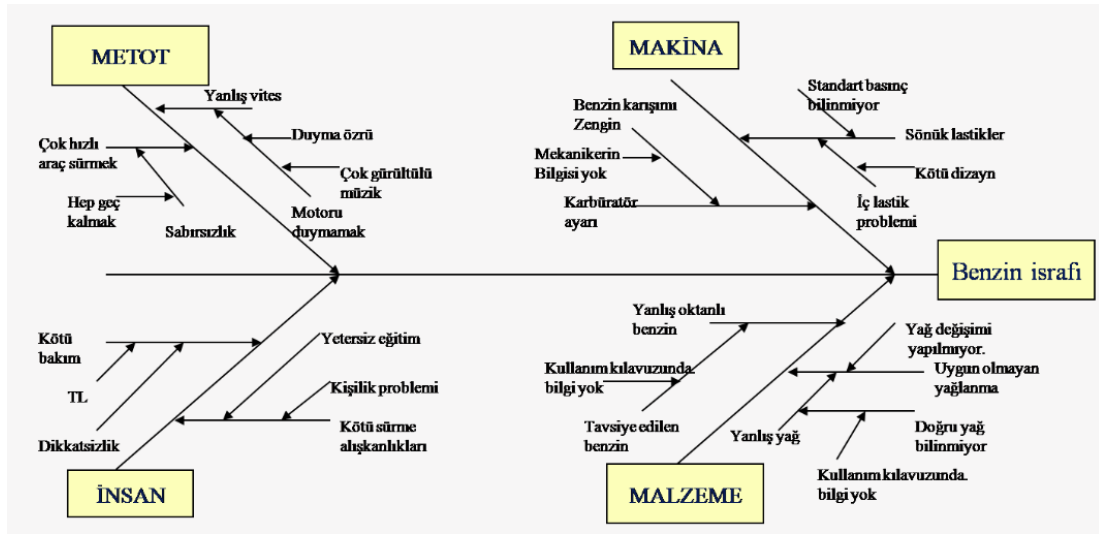


Şekil 2.7. Pareto Grafiği (URL-4, 2022)

#### 2.7.5. Balık Kılçığı (Ishikawa)Diyagramı

Kılçık diyagramı, diğer adıyla neden-sonuç diyagramı, belirli bir sorunun arkasındaki olası nedenleri düzenlemenin bir yoludur. Ekip üyeleri bir araya gelir ve kılçığa benzeyen bir şema çizer. İlk olarak, problem ifadesi balığın başına yerleştirilir. Daha sonra kılçığın

iskeletini doldurmadan önce nedenler gruplandırılır. Bu gruplar balığın her kemiğinin sonunda belirtilmiştir. Her üye sürece etki eden sebeplerin neler olduğu konusunda fikrini söyler ve bu sebepler başlangıçta tanımlanan ilgili grupların altına yazılır. Balık kılçığı diyagramı, sorun ve nedenlerin net bir şekilde görselleştirilmesine yardımcı olur. Diyagram tamamlandıktan sonra ekip belirtilen sorunlar ve nedenleri ile ilgili veri toplamaya başlar. Pareto Grafiği kullanılarak problem üzerinde en önemli etkiye sahip nedenler tanımlanır (Alper, 2019).



Şekil 2.8. Balık-Kılçığı Diyagramı (URL-5, 2022)

Böylece Altı Sigma çalışmalarında iyileştirme yapılması gereken noktaları belirlemek ve için çeşitli araçlar kullanılarak hızlı bir çözüme ulaşılabilir. Kullanım kolaylığı ve verimliliğine göre hangi araçların kullanılacağı ekibin seçimidir. Şekil 2.8’de örnek bir Balık-Kılçığı Diyagramı belirtilmiştir.

### 3. LİTERATÜRDE ALTI SİGMA

Firuzan ve diğerleri (2012), otomotiv sektöründe altı sigma yöntemi ile ikinci el otomobillerin satış miktarının artırılmasını sağlamışlardır, istatistiksel düşünce yapısının temel ilke olarak alındığı altı sigma üretim ve hizmet alanında birçok alanda uygulanmaktadır. Ülkelerin ekonomik yapısını büyük oranda etkileyen otomotiv sektörü dinamik bir yapıya sahiptir bundan dolayı otomotiv sektörü birçok bilimsel yöntemin ilk olarak uygulandığı sektördür. Bir firmanın İzmir şubesinde ikinci el satış miktarı 37 ortalamasından 47 ortalamaya çıkartılarak %28'lik bir artış oranı elde edilmiştir.

Durmuşoğlu ve Aydın Keskin (2015), imalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede Sue Rodgers yöntemi kullanarak proseslerinin ergonomik risk seviyelerini belirlemişlerdir. Sue Rodgers Analiz yöntemine göre yüksek risk seviyesinde belirlenen proseslerin altı sigma metodu ile orta ve düşük seviyelere indirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda yüksek riskli bölgelerin %75'inde iyileştirilme sağlanmıştır.

Şenkaya (2019), yüksek lisans tezinde otomotiv sektöründe altı sigma yöntemiyle müşteride önemli bir seviyede etki yaratan tedarikçi kaynaklı hata tanımı, analizi ve çözüm aşamalarını belirterek belirtilen yöntem hakkında bilgi vermeyi amaçlamıştır.

Deste ve Karabulut (2020), Malatya Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin altı sigma yöntemi ile süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik çalışma yapmışlardır. İşletmenin en önemli problemlerinden biri olan çevrim sürelerini temel alarak, müşteriye en çok sevk edilen 15 ürünün çevrim sürelerinde iki farklı iyileştirme yapılması ve müşteri taleplerinin daha kısa zamanda karşılanması sağlanmıştır.

Karabulut ve diğerleri (2020), çalışmalarında altı sigma literatür araştırması yaparak sonrasında kök neden analizi, SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer )diyagramı gibi problem çözme araçlarını kullanarak müşteriye sevk edilen ürünlerin üretim oranlarının istenen seviyeye ulaşmasını hedeflemişlerdir.

Uluskan (2019), Kaizen uygulaması ile otomotiv firmasında üretilen bir sac parçasının üretim süreci ile ilgili olarak mevcut durum analizi yapılarak sonrasında sebep-sonuç diyagramı oluşturulmuştur. Mevcut durum analizinde tespit edilen hatalar incelenerek, var olan hatalar azaltılarak süreç iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada daha

önce gerçekleştirilmemiş süreç yeterlilik analizinin Kaizen uygulamasına uyarlanmasını sağlayarak istatistiksel analizler ile sonuçların doğrulanması sağlanmıştır.

Yalçın ve Günday (2020), Yalın altı sigma kavramlarını açıklayarak bir bankada belirtilen metotları kullanarak iyileştirme çalışması yapmışlardır. Kök neden analizi ile süreci aksatan ana problemleri belirlemeyi amaç edinerek beyin fırtınası çalışmalarıyla problemlerin çözümlenmesi hedeflenmiştir. Yeni süreç için Hata modu ve etkileri analizi yapılarak olası hataların gerçekleşmemesi için önlemler alınarak yeni sürecin sürekliliğinin sağlanması adına çalışma takip tablosu oluşturulmuştur.

Ekleş (2020), kısıtlar teorisi ve altı sigma metodolojileri ile ilgili ayrı ayrı ve de her iki metodolojinin bütünleşme modeli ile ilgili literatür taraması yaparak gerçekleşen çalışmalar hakkında bilgi vermiştir. Enerji kablosu üretim tesisinde her iki yöntemin bütünleşme modelini kullanarak süreç iyileştirme çalışması gerçekleştirmiştir. Var olan sürece ilave ekipman yatırımı yapılarak alternatif hammadde kullanımı ile üretim maliyetinde ve kablo üretim hızında iyileştirmelerin yapılması sağlanmıştır.

Albayrak (2018), Toplam Kalite Yönetimi felsefesinin oluşumunda yer alan Kaizen ve Altı Sigma tekniklerini incelemiş ülkemizde gıda sektöründe önde gelen süreçlerinde bu teknikleri kullanan iki farklı firmanın uygulamalarını analiz etmiştir. Değerlendirmesinde Kaizen ve Altı Sigma tekniklerini firma kültürü haline getirildiği zaman verimliliğin artmasına ve kalite kayıplarının azalmasına yardımcı olduğunu tespit etmiştir. Margarin üretimi gerçekleştiren firmada yapılan iyileştirmeler sonucunda yıllık yaklaşık 34 bin Euro seviyesinde bir kazanç olduğu tespit edilmiştir.

Ağın (2020), çalışmasında Altı Sigma metodolojisini ve onu oluşturan (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol ) aşamalarını tanımlamış, Altı Sigma yöntemi ile işletmelerin verimliliklerini nasıl arttırabileceklerini ve yöntemin işletmelere olan olumlu etkilerinden bahsetmiştir.

Kaygusuz (2017), bir üretim işletmesinde Yalın Altı Sigma modelini kullanarak DMAIC döngüsünün işletme süreçlerinde kullanılmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmada maliyetlerde yaklaşık olarak %45 oranında bir tasarruf sağlanmıştır. Sürecin Sigma değeri de 2,644'den 2,916 seviyesine çıkarılmıştır.

Akın (2013), çalışmasında Altı Sigma yaklaşımı ile birlikte Faaliyet Tabanlı Maliyetleme sistemi ile birlikte kullanılabilirliğini belirtmiştir. Her iki yöntemin hedefleri, yöntemlerde kullanılan teknikler arasındaki benzerlikler ve ortak yönler belirtilerek işletmelerde maliyetlerin minimize edilmesini sağlama noktasında kesiştiklerini ifade etmiştir.

Deste ve Berber (2018), süreç iyileştirme çalışmalarının sistematik olarak sınıflandırılabilmesi ve daha iyi bir şekilde anlaşılması için literatür çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında İnönü Üniversitesi Kütüphanesi Veri Tabanı, ULAKBİM, DergiPark, Google Akademik, Ulusal Tez Merkezi kaynaklarından yararlanmışlardır. 2005-2018 yılları arasında yapılan 177 çalışmaya ulaşarak sınıflandırmaları sonucunda çalışmaların çoğunluğunun nicel araştırma türünde, en çok otomotiv ve sağlık sektörlerinde yapıldığını ve en çok tercih edilen yöntemlerin ise akış diyagramı, altı sigma, balık kılçığı diyagramı, pareto analizi, istatistiksel analiz yöntemleri ve histogram olarak belirlenmiştir.

Erbıyık ve Saru (2015), çalışmalarında Altı Sigma metodolojisinin genel yapısı hakkında bilgi vermişlerdir. İstatistiksel metodlardan balık kılçığı diyagramı, histogram ve dairesel grafik yardımıyla tedarik zincirinin analizi ve ölçümü yapılarak tedarik zincirinde karşılaşılan karmaşık problemlerin nasıl çözülebileceği hakkında değerlendirmeler yapmışlardır.

Pugna ve diğerleri (2016), çalışmalarında Romanya'daki bir otomotiv firmasında montaj prosesinde Altı Sigma metodolojinin (DMAIC) aşamalarını kullanarak ve istatistiksel düşünce yöntemiyle süreç iyileştirme çalışması yapmışlardır. Montaj aşamasında problem oluşturan proses tespit edilerek iyileştirme çalışmaları sonucunda  $C_{pk}$ 'nın (Proses yeterliliği) 0,96'dan 1,72'ye yükseldiği, proses iyileştirmesi yaklaşık olarak %40 hata oranının azalmasına sebep oldu.

Krishna Priya ve diğerleri (2019), otomotiv montaj hattında katma değeri olmayan proseslerin sayısını azaltmayı ve prosesleri elimine etmeyi hedeflemişlerdir. Altı Sigma yönteminin aşamaları (DMAIC) ve Kök Neden Analizi (RCA) ile montaj hattında 3 adet değer katmayan aktivite ve 12 adet önemli hata modu tespit edildi. Önerilen çözümlerin

uygulanması, katma değeri olmayan süreçlerin ve montaj hattındaki kusur oranının %37.2 azalmasıyla sonuçlanmıştır.

Swarnakar ve diğerleri (2020), Yalın Altı Sigma (LSS) adaptasyonunun firma performansları üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma, Hindistan'ın farklı bölgelerinde bulunan çeşitli otomotiv parçaları üretim organizasyonları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analiz verilerini değerlendirmek için faktör analizi ve çoklu regresyon analizi yaklaşımları yapılmıştır. Değerlendirme, otomotiv parçaları imalat organizasyonunda LSS adaptasyonunun finansal performansın diğer bölümlerden daha fazla etkilendiğini göstermiştir.

Singh ve diğerleri (2021), bir otomotiv alt parçası imalat şirketinin Yalın Altı Sigma tekniklerini uygulamaya çalışırken karşılaştığı çeşitli engel türlerini belirlemişlerdir. İlk olarak kapsamlı bir literatür taraması yoluyla 31 Yalın Altı Sigma Bariyeri (LSSB) belirlendi. Çalışmada e-postalar yardımıyla yöneticinin görüşleri toplanmıştır. Toplanan yanıtlar, Önem endeksli ve CIMTC gibi istatistiksel araçlar aracılığıyla analiz edildi. CIMTC analizinin sonuçları, Hintli imalat firmalarının çoğunun LSSB-4(Plan Yönetimi ve Hedefleri) ve LSSB-3 (Yalın Altı Sigma Bilgi Eksikliği)'ün zorluklarıyla karşı karşıya olduğunu göstermiştir.

Guleria ve diğerleri (2021), iyi bilinen bir otomobil şanzıman parçaları imalat endüstrisinin vaka çalışmasına dayanmaktadır. Bu endüstri, farklı araçlar için yaklaşık 33 tip aks üretmekte ve arka aks bileşenlerinden birinde müşteri tarafından reddedilme nedeniyle her ay 7,33,000 Hindistan Rupisi kaybetmekteydi. Üç aylık geçmiş veriler kullanılarak mevcut durum analizi sonucunda ürünün taşınmasını azaltmak ve alanı en iyi şekilde kullanmak için üretim alanının düzeni değiştirildi. LSS'nin başarılı bir şekilde uygulanmasından sonra, parçanın reddedilme oranı %10,4'ten %3,20'ye düşürüldüğü gibi, aksları işlemek için atölye alanı yerleşim düzeni değişikliğinden sonra 252 m<sup>2</sup>'den 90 m<sup>2</sup>'ye, malzemenin kat ettiği mesafe 4050 m'den 809 m'ye düşürüldü ve ciddi iyileştirmeler elde edildi.

Silva ve diğerleri (2017), çalışmalarında pazarın sürekli değişimleri, kuruluşlar tarafından sağlanan tedarikte sürekli esneklik ve adaptasyon gerektirmekte olduğunu ve bu anlamda otomotiv endüstrisinin maruz kaldığı yüksek rekabet seviyeleri nedeniyle en zorlu

sektörlerden birini temsil etmekte olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma, lastik ekstrüzyon sürecini iyileştirmek amacıyla bir lastik imalat şirketinde geliştirilmiştir. Altı Sigma yönteminin (DMAIC) aşamaları uygulanarak, uygun olmayan malzeme üretim miktarının %0,89 oranında düşüşünü ve yıllık olarak 165.000 €'dan fazla tasarruf edildiğini belirtmişlerdir.

Tanusha ve diğerleri (2021), Federal-Mogul Goetze India Limited'de bir iş geliştirme projesi kapsamında, Piston Makine Atölyesinde üretilen hatalı piston sayısını azaltmayı hedeflemişlerdir. Altı Sigma yaklaşımlarını takip ederek ve kök nedeni belirleyerek istenen çıktıya yol açan faktörleri kontrol eden parametre optimizasyonu ile süreç verimliliğini artırmaya yönelik bir öneri oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda bir vardiyada oluşan hurda miktarında %10 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Guleria ve diğerleri (2021), dişli imalat endüstrisindeki israfları ortadan kaldırmak için proses varyasyonunun ortadan kaldırılmasını ele almıştır. Altı Sigma'nın DMAIC yaklaşımı yöntemin bir parçası olan süreç değişkenliğini azaltmak için kullanıldı, böylece sürecin israfın azalmasını ve toplam iş verimliliğinin artması hedeflendi. Çalışmada müşteri tarafından en yüksek reddedilme oranına sahip olan dişli ürünü iyileştirme çalışması için seçilerek, Altı Sigma yaklaşımının yanında SIPOC (Tedarikçi, Girdi, Proses, Çıktı, Müşteri), Pareto analizi, İstatistiksel Proses Kontrol (SPC), kök neden analizi gibi birçok yöntem kullanıldı. Çalışma sonucunda PPM (part per million) seviyesinin 10641.08'den 3193.2'e düştüğü, Sigma seviyesinin ise 4.37'den 4.81'e yükseldiği gözlemlendi.

Lopes ve diğerleri (2019), bir otomotiv şirketinde otomatik bir süreç olan pim montajlama sürecinde üretilen hatalı birimleri azaltmayı amaçlayan bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Altı Sigma yaklaşımı ile en fazla red sayısına sahip iki üründen başlayarak problem tanımlandı, ölçüldü ve analiz edildi. Analiz sonucunda aşırı kuvvetin hata moduna sebep olduğunu ve iyileştirmeler ile uygulanan kuvvetlerin nominal değere daha yakın değerlere indirilerek, daha kararlı ve daha az değişkenlik ile sürecin kalite seviyelerini yükseltmesi sağlandı. Çalışma sonucunda PPM seviyesinin 3231'den 312'ye düştüğü, Sigma seviyesinin ise 4.22'den 4.92'ye yükseldiği, firmanın tahmini 122.000 Euro kazancının olduğu belirlendi.

İmalattan hizmet alanına, çeşitli sektörlerde uygulanan Altı Sigma yöntemi literatürde birçok iyileştirme çalışmasında kullanılan öncü bir yöntem olmuştur. Otomotiv sektörü alanında çevrim sürelerinin, satış miktarlarının artırılması, süreç maliyetlerinin azaltılması, katma değeri olmayan proseslerin kaldırılması gibi birçok noktada iyileştirmelerin yapıldığı görülmüştür. Fakat literatür çalışmaları incelendiğinde Altı Sigma metodolojisi kullanılmasına rağmen her çalışmada süreçlerin sigma seviyeleri belirlenmemiştir, mevcut durum ve iyileştirilmiş durum arasındaki farkın sayısal olarak ve yapılan iyileştirmelerin istatistiksel olarak anlamlılığını ortaya koymak için sigma seviyelerinin belirlenmemesi literatürde ortaya çıkan bir eksiklik olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ise hurda ve yeniden işlenen ürün miktarının azaltılmasını sağlamak amacıyla Altı Sigma metodolojisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın diğer çalışmalardan farkı; prosesteki sadece hurda ürünlerine değil aynı zamanda yeniden işlenen ürünlere de odaklanarak, uygulama yapılan hattın sadece bir işlem adımında değil farklı istasyonlarda ve sistematik yaklaşımın doğası gereği paydaşlardan biri olan tedarikçi proseslerinde de iyileştirme yapılmasına olanak sağlayarak, net olarak belirtilebilir.

#### **4. YENİDEN İŞLENEN ÜRÜN MİKTARLARININ AZALTILMASI**

Bu tez çalışmasının uygulama bölümünde, günümüzde Altı Sigma çalışmalarının etkin olarak kullanıldığı sektörlerden biri olan otomotiv sektöründe yer alan bir işletmenin üretim hattında Altı Sigma metodolojisi ışığında hurda ve yeniden işlenen ürün miktarlarının azaltılması hedeflenmiştir.

##### **4.1. İşletme Tanıtımı**

Altı sigma uygulaması yapılan şirket, motorlu kara taşıtları için parça imalatı sektöründe faaliyet göstermektedir. Araç klimaları; kondenser, radyatör, klima boruları üretmektedir. Dünya da 53 fabrikası, 3 araştırma-geliştirme merkezi ve 21.000'den fazla çalışanı olan küresel bir firmadır.

Bu çalışma firmanın Dilovası lokasyonunda gerçekleştirilmektedir. İşletmenin ürünleri; cooling module olarak adlandırılan kondenser, radyatör, fan&shroud'dan oluşan yapıdır. Kondenser klimayı soğutma işleminde radyatör ise motoru soğutma işleminde kullanılmaktadır. HVAC olarak adlandırılan (heating, ventilation, air conditioning) ısıtma soğutma ve havalandırma işlemini arabaya aktaran yapıdır. Bir diğer üretilen ürünler ise klima borularıdır. Bu borular HVAC'in içindeki; evaporatör ve heater ile kondenser ve radyatör arasındaki bağlantıyı sağlayan yapılardır.

Otomotiv sektöründe yer alan firma her yıl çeşitli Altı Sigma uygulamaları yapmaktadır. Altı Sigma metodolojisini firma kültürü haline getiren şirkette, üretim, kalite, fabrika inovasyon ve Geliştirme departmanlarının bir araya gelmesiyle her yıl yapılacak çalışmalar belirlenmektedir. Global'den destek alınan, Uzman Kara Kuşak liderliğinde yapılan Altı Sigma toplantılarının sonucunda iyileştirme yapılacak olan süreç, fabrikanın üç ana hattından biri olan kondenser radyatör ve fan&shroud parçalarından oluşan cooling module üretimi yapılan hat olarak seçilmiştir.

2021 yılında hurda ve rework adetlerinin diğer iki hattan yüksek olması, PPM (Parts per Million) müşteri tarafından reddedilen parça sayısının yüksek olması, Altı Sigma çalışması olarak bu hattın seçilmesinin asıl nedenleri olarak belirtilebilir.

## 4.2. Altı Sigma Çalışmasının DMAIC Modeli Adımları ile İncelenmesi

Çalışma metodolojisi beş farklı aşamadan oluşmaktadır, çalışma kapsamında her bir aşamada nelerle karşılaşıldığı ve nasıl bir yol izlendiği bu bölümde belirtilmiştir.

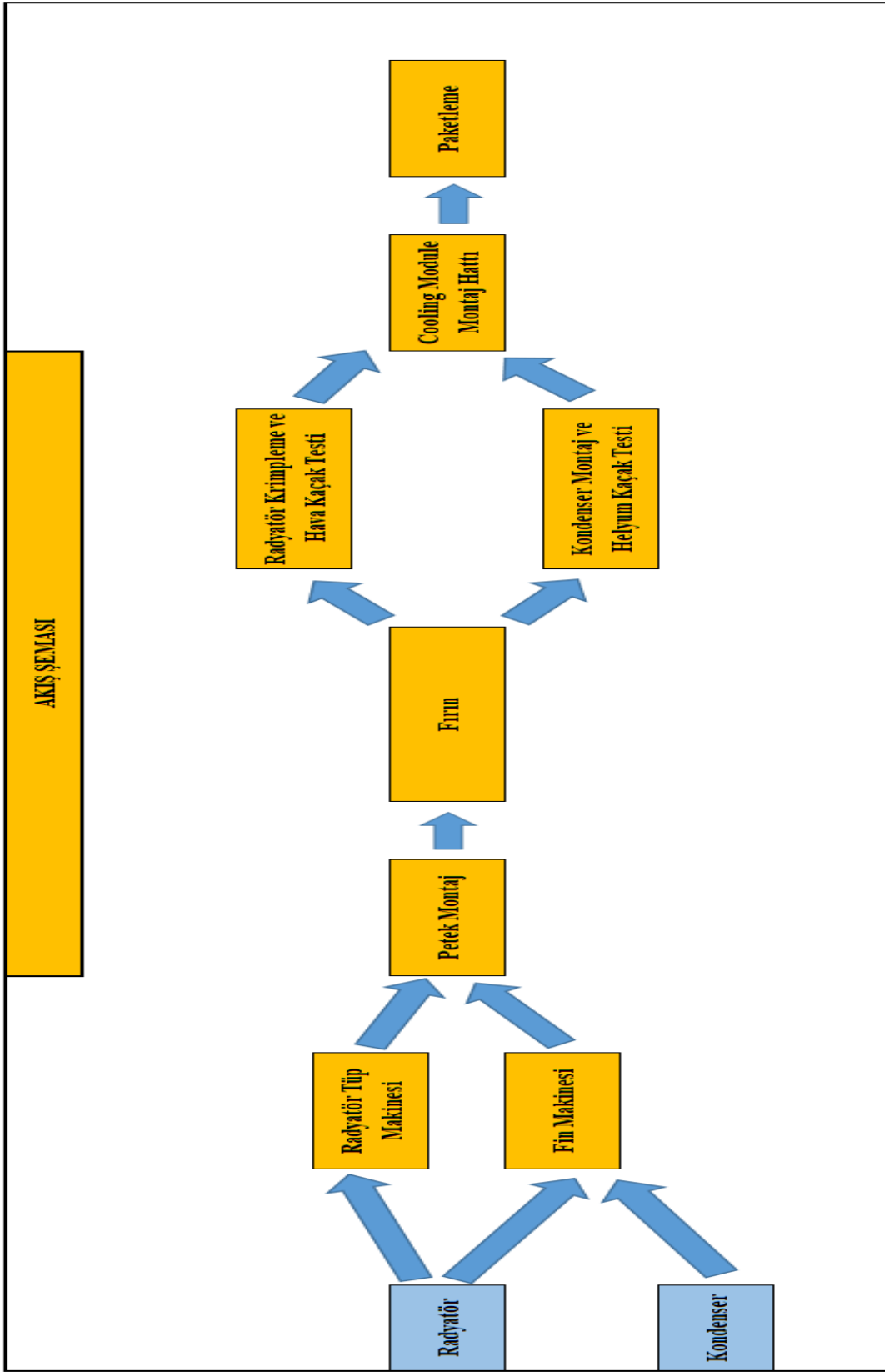
### 4.2.1. Tanımlama Aşaması

Altı Sigma çalışmasında DMAIC yaklaşımı temel alınarak, Tanımlama aşamasıyla iyileştirme sürecine başlanılmıştır. Bu aşamada ilk olarak Tablo 4.1’ de belirtilen çalışma tüzüğü oluşturulmuş, tüzük kapsamında ise iyileştirme ekibi, çalışmanın kapsamı, problem tanımı ve çalışmanın hedefi belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Çalışma Tüzüğü

ÇALIŞMA TÜZÜĞÜ	
İyileştirme Çalışmasının Adı	HEX Hattındaki Hurda ve Yeniden İşlenen Ürün Miktarlarının Azaltılması
Çalışmanın Kapsamı	Petek Montaj-Lehimleme Fırın Hattı
Problem Tanımı	HEX Hattındaki Yüksek Hurda ve Yeniden İşlenen Ürün Miktarları
Altı Sigma Liderleri	Merve Turgut - Efe Budak
Çalışma Sponsorları	Burak G. - Osman A.
Kara Kuşak	Coşkun A.
Uzman Kara Kuşak	Torsten B.
Ekip Üyeleri	Özkan B. - Aydın G. - Suat Y.
Çalışma Başlangıç Tarihi	10.01.2022
ÇALIŞMANIN HEDEFİ	
VOC/CTQ/COPQ Tanımı	Hurda ve Yeniden İşlenen Ürün Miktarı Oranlarının Azaltılması

Tanımlama aşamasında; Şekil 4.1’de belirtilen, iyileştirme çalışmasının yapılacağı hattın iş akış şeması oluşturulmuştur.



Şekil 4.1. HEX Hattı İş Akış Şeması

Belirlenen hedefler ve iş akış şemasının oluşturulmasıyla hurda ve yeniden işleme süreçlerine sebep olarak öngörülen petek dizme ve fırın hatlarında ölçüm çalışmalarının başlatılması amaçlanmıştır. Ölçüm sonuçlarına bağlı olarak hedefler ve çalışmanın kapsamı değiştirilebilir. Dinamik bir yapıya sahip olan Altı Sigma her bir aşamada güncellenerek değişkenlik gösterebilir.

#### 4.2.2. Ölçme Aşaması

Mevcut durum analizinin yapılabilmesi için gerekli olan veriler ölçüm aşamasında elde edilir. Hex hattında üretilen ürünler (kondenser ve radyatör) ve bu ürünlere ait hata türleri belirtilerek ölçüm çalışmaları yapılmıştır. 2021 yılında ortaya çıkan hata türleri, hataların hangi proseslerde meydana geldiği, 2021 yılı kondenser, radyatör; üretim, hurda ve yeniden işlenen ürün miktarları tespit edilerek bir sonraki aşama olan Analiz aşamasında değerlendirilmek adına birçok veri sağlanmıştır.

Tarih	Model	Ürün Tipi	Proje	Ürün	Test Sonucu	TEST EDİLEN	Filtür Nedenseli Top.Dr	ÇB Kaynaklı Hata	Over heating nedeni Top. erorç	Top deformasyon u	Fin hole/Tip (p/De)	Die line/Böyük deli	Fin dipmesi	Krimp hatası	Bombe	Header (Manifold- Top Arası Kağı	Delta Hızı Kağı	Fin Tipi Ayrılmaz	Manifold Braket Fiyansı	Cond. Buffer Bölgesi Kağı	Krimp Kaynaklı Deformasyon	MPBL Kaynaklı Deformasyon	Helyum Hattı Kaynaklı Deformasyon	Fin Hattı Kaynaklı Deformasyon	Manifold /Header/Tip/Lej. Problemleri	Kurucu Kağık Sığılması	Filtür Durumu	Manifold Blok Fiyansı	Manifold Side Support Açık Beşli
5.1.2021	PUMA	RADYATÖR	PUMA	PUMA	REWORK	216								5															
5.1.2021	PANTHER	RADYATÖR	PANTHER	PANTHER	REWORK	216	1	2						7													2		
5.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	REWORK	480									2						5								
5.1.2021	PUMA	RADYATÖR	PUMA	PUMA	HURDA																1								
6.1.2021	PUMA	RADYATÖR	PUMA	PUMA	REWORK	319								2		2													
6.1.2021	PANTHER	RADYATÖR	PANTHER	PANTHER	REWORK	981		3		3				6		5		4											
6.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	REWORK	1202								4	9	3			1	5				4		1	1		
6.1.2021	WCT680CJAA	KONDENSER	BC3	BC3 16T	REWORK	295										5													2
6.1.2021	F760CJBA	KONDENSER	AC3	AC3 12T	REWORK	66																		1					
6.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	HURDA						2																		
7.1.2021	PUMA	RADYATÖR	PUMA	PUMA	REWORK	345		2						2															
7.1.2021	PANTHER	RADYATÖR	PANTHER	PANTHER	REWORK	739		8						3		2		7											
7.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	REWORK	1238						2				7	2				3					1			
7.1.2021	WCT680CJAA	KONDENSER	BC3	BC3 16T	REWORK	346										38													
7.1.2021	R202ACFAA	RADYATÖR	AC3	AC3 10,8T	REWORK	72								1															
7.1.2021	R202CJGNA	RADYATÖR	AC3	AC3 14T	REWORK	84								1															
7.1.2021	R202CJUNA	RADYATÖR	BC3	BC3 14T	HURDA																								
7.1.2021	R202CJUNA	RADYATÖR	BC3	BC3 15,2T	HURDA			5																					
7.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	HURDA																								
7.1.2021	WCT680CJAA	KONDENSER	BC3	BC3 16T	REWORK											4													4
7.1.2021	R202CJUNA	RADYATÖR	BC3	BC3 15,2T	REWORK	464								5															
8.1.2021	PUMA	RADYATÖR	PUMA	PUMA	REWORK	367	1	2																		3			
8.1.2021	PANTHER	RADYATÖR	PANTHER	PANTHER	REWORK	997		6						3				2									4		
8.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	REWORK	501							2																
8.1.2021	WCT680CJAA	KONDENSER	BC3	BC3 16T	REWORK	487										11													3
8.1.2021	F760CJBA	KONDENSER	AC3	AC3 12T	REWORK	656										5													
8.1.2021	R202ACFAA	RADYATÖR	AC3	AC3 10,8T	REWORK	48								5															
8.1.2021	R202CJGNA	RADYATÖR	AC3	AC3 14T	REWORK	50								3															
8.1.2021	R202CJUNA	RADYATÖR	BC3	BC3 14T	REWORK	192	4							3															
8.1.2021	R202CJUNA	RADYATÖR	BC3	BC3 14T	HURDA	1																							
9.1.2021	PUMA	RADYATÖR	PUMA	PUMA	REWORK	440		1																					
9.1.2021	PANTHER	RADYATÖR	PANTHER	PANTHER	REWORK	864	2	5						6											30			3	
9.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	REWORK	1755							2											3				6	
9.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	HURDA						3																		
9.1.2021	PANTHER	RADYATÖR	PANTHER	PANTHER	HURDA																2								
11.1.2021	PUMA	RADYATÖR	PUMA	PUMA	REWORK	304		2	1																				
11.1.2021	PANTHER	RADYATÖR	PANTHER	PANTHER	REWORK	1008		9				3				1		4						4				8	
11.1.2021	V36X	KONDENSER	V36X	PUMA	REWORK	576							2													1			
11.1.2021	R202ACFAA	RADYATÖR	AC3	AC3 10,8T	REWORK	132								2															

Şekil 4.2. 2021 Yılı HEX Hattında Çıkan Hata Türleri ve Miktarları

Şekil 4.2’de belirtilen 2021 yılında HEX hattında çıkan hatalar hata türlerine göre günlük olarak kayıt altına alınmıştır.

Tablo 4.2. Radyatör Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri ve Oranları

Radyatör Ürünü Hata Türleri	Hata Miktarı	Hata Oranı	Kümülatif Oran
C/B Kaynaklı Montaj Hatası	2928	21%	21%
Header /Manifold -Tüp Arası Kaçak	2643	19%	41%
Krimp hatası	2154	16%	56%
Fin Tüp Ayrılması	1926	14%	70%
Fikstür Oturmama	1134	8%	79%
Delta Noktası Kaçak	918	7%	85%
Krimp Kaynaklı Deformasyon	668	5%	90%
Over heating nedenli Tüp erozyon	473	3%	94%
Fırın Hattı Kaynaklı Deformasyon	444	3%	97%
Fikstür Nedenli Tüp Delik	360	3%	99%
Fin düşmesi	30	0%	100%
Tüp deformasyonu	12	0%	100%
Manifold /Header/Tüp Yağ Problemi	11	0%	100%
Die line/Büyük delik	8	0%	100%
Cond. Buffel Bölgesi Kaçık	8	0%	100%
Pin hole/Tüp İçi Delik	7	0%	100%
Manifold Braket Pişmeme	4	0%	100%

Tablo 4.3. Kondenser Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri ve Oranları

Kondenser Ürünü Hata Türleri	Hata Miktarı	Hata Oranı	Kümülatif Oran
Header /Manifold -Tüp Arası Kaçak	2326	37%	37%
C/B Kaynaklı Montaj Hatası	1551	24%	61%
Bombe	521	8%	69%
Manifold Blok Pişmeme	448	7%	76%
Fırın Hattı Kaynaklı Deformasyon	435	7%	83%
Cond. Buffel Bölgesi Kaçık	248	4%	87%

Tablo 4.3. (Devam) Kondenser Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri ve Oranları

Fin Tüp Ayrılması	216	3%	90%
Helyum Hattı Kaynaklı Deformasyon	181	3%	93%
Manifold Braket Pişmeme	85	1%	94%
Fin Düşmesi	75	1%	96%
Pin hole/Tüp İçi Delik	69	1%	97%
Fikstür Oturmama	47	1%	97%
Manifold-Side Support Arası Boşluk	37	1%	98%
Krimp hatası	36	1%	99%
Kurutucu Kapak Bölgesi Patlama/Pişmeme	27	0%	99%
Die line/Büyük delik	21	0%	99%
Over heating nedenli Tüp erozyon	20	0%	100%
Krimp Kaynaklı Deformasyon	16	0%	100%
Fikstür Nedenli Tüp Delik	7	0%	100%
Manifold /Header/Tüp Yağ Problemi	4	0%	100%

Tablo 4.4. 2021 Yılı Aylık Üretim ve Hurda Miktarları

HURDA							
AYLAR	RADYATÖR			KONDENSER			Toplam Hurda Oranı
	Üretim Miktarı	Hurda Miktarı	Hurda Oranı	Üretim Miktarı	Hurda Miktarı	Hurda Oranı	
OCAK	41718	60	0,14%	35120	31	0,09%	0,12%
ŞUBAT	40650	32	0,08%	33223	11	0,03%	0,06%
MART	49789	85	0,17%	42104	9	0,02%	0,10%
NİSAN	41240	17	0,04%	33415	19	0,06%	0,05%
MAYIS	9199	0	0,00%	7848	0	0,00%	0,00%
HAZİRAN	33885	4	0,01%	34403	29	0,08%	0,05%
TEMMUZ	39239	62	0,16%	31476	103	0,33%	0,23%
AĞUSTOS	49745	66	0,13%	39644	65	0,16%	0,15%
EYLÜL	54453	227	0,42%	46013	48	0,10%	0,27%
EKİM	38501	250	0,65%	30497	60	0,20%	0,45%
KASIM	36267	44	0,12%	29221	17	0,06%	0,09%
ARALIK	50084	84	0,17%	38633	41	0,11%	0,14%
<b>TOPLAM</b>	<b>484770</b>	<b>931</b>	<b>0,19%</b>	<b>401597</b>	<b>433</b>	<b>0,11%</b>	<b>0,15%</b>

Tablo 4.5. 2021 Yılı Aylık Üretim ve Rework Miktarları

REWORK							
AYLAR	RADYATÖR			KONDENSER			Toplam Rework Oranı
	Üretim Miktarı	Rework Miktarı	Rework Oranı	Üretim Miktarı	Rework Miktarı	Rework Oranı	
OCAK	41718	602	1,44%	35120	503	1,43%	1,44%
ŞUBAT	40650	467	1,15%	33223	354	1,07%	1,11%
MART	49789	1055	2,12%	42104	639	1,52%	1,84%
NİSAN	41240	491	1,19%	33415	343	1,03%	1,12%
MAYIS	9199	70	0,76%	7848	101	1,29%	1,00%
HAZİRAN	33885	1613	4,76%	34403	611	1,78%	3,26%
TEMMUZ	39239	1160	2,96%	31476	1026	3,26%	3,09%
AĞUSTOS	49745	1907	3,83%	39644	802	2,02%	3,03%
EYLÜL	54453	1993	3,66%	46013	950	2,06%	2,93%
EKİM	38501	1947	5,06%	30497	671	2,20%	3,79%
KASIM	36267	363	1,00%	29221	451	1,54%	1,24%
ARALIK	50084	777	1,55%	38633	844	2,18%	1,83%
<b>TOPLAM</b>	<b>484770</b>	<b>12445</b>	<b>2,57%</b>	<b>401597</b>	<b>7295</b>	<b>1,82%</b>	<b>2,23%</b>

Tablo 4.4 ve Tablo 5.5’de 2021 yılına ait aylık üretim rework ve hurda miktarları belirtilmiştir. Belirlenen bu verilere bağlı olarak mevcut sürecin sigma seviyesi hesaplanmıştır.

$$\text{Ürün Miktarı} = \text{Üretilen radyatör miktarı} + \text{Üretilen kondenser miktarı}$$

$$\text{Ürün Miktarı} = 484.770 + 401.597 = 886.367$$

$$\text{Hatalı Ürün Miktarı} = \text{Hatalı radyatör miktarı} + \text{Hatalı kondenser miktarı}$$

$$\text{Hatalı Ürün Miktarı} = (931 + 12445) + (433 + 7295) = 21.104$$

$$\text{Ürün Başına Düşen Hata Miktarı} = \text{Hatalı Ürün Miktarı} / \text{Ürün Miktarı}$$

$$\text{Ürün Başına Düşen Hata Miktarı} = 21.104 / 886.367 = 0,0238$$

Birimdeki Hata Fırsatları: Üretilen ürünler kaçak ve hasarlı ürün olmak üzere iki tane hata fırsatına sahiptir.

Fırsat Başına Düşen Hata Miktarı :(Defects per Oppurtunities (DPO));

$$DPO = (Hatalı \text{ Ürün Miktarı }) / (\text{Ürün Miktarı} \times \text{Fırsat Sayısı})$$

$$DPO = \frac{21.104}{886.367 \times 2} = 0,0119$$

$$\text{Başarı Yüzdesi} = 1 - DPO$$

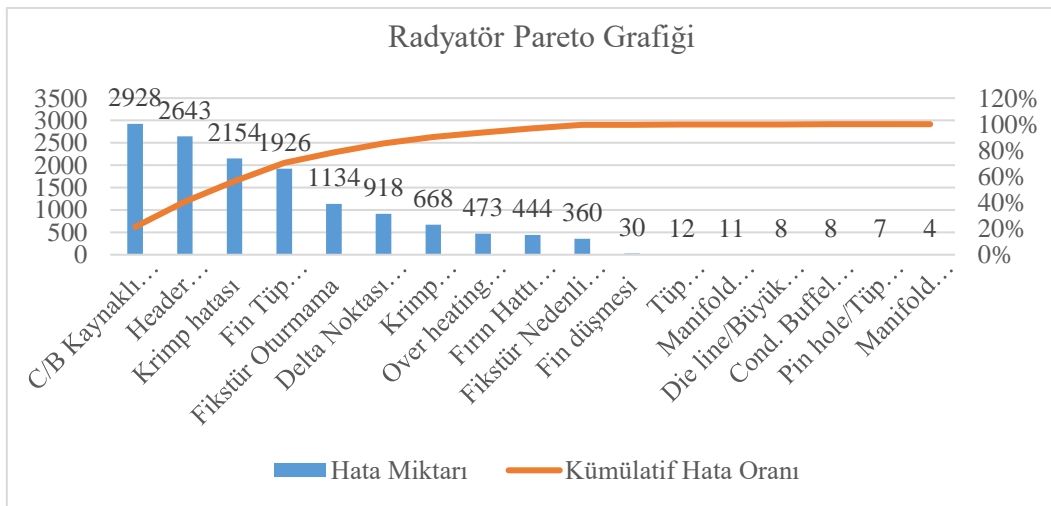
$$\text{Başarı Yüzdesi} = 1 - 0,0119 = 0,9881$$

$$\text{Sigma Seviyesi} = \text{Norm. S. Inverse} \times (0,9881) + 1.5 = 2.26 + 1.5 = 3.76$$

#### 4.2.3. Analiz Aşaması

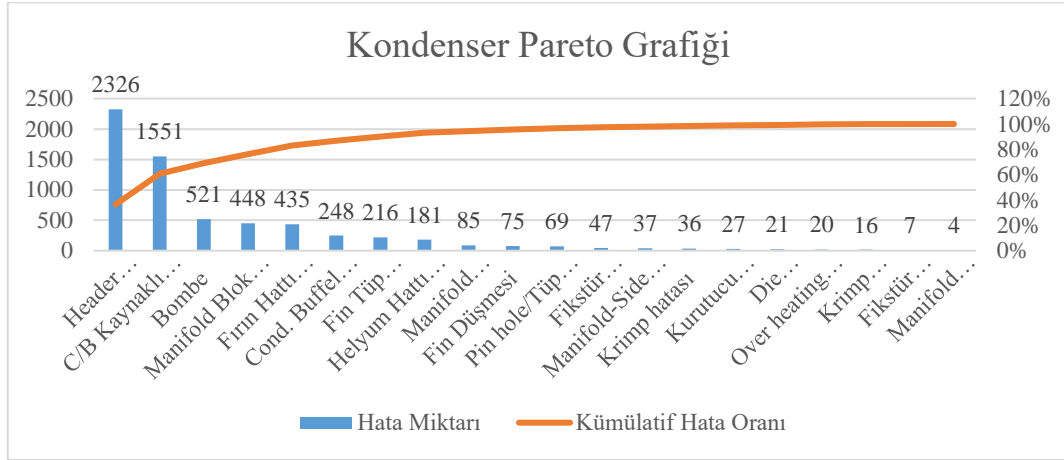
Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de ortaya çıkan hata türleri ürün (kondenser ve radyatör) bazlı olarak ayrılmıştır. Ürün bazlı hata miktarı ve oranlarının analiz edilmesi için Pareto Grafiği’nden yararlanılmıştır. Şekil 4.3’de radyatör ürünü için, Şekil 4.4’de ise kondenser ürünü için Pareto Grafikleri oluşturulmuştur.

Ürün bazlı Pareto Grafikleri yorumlandığı zaman; radyatör ürününde petek montaj, header tüp arası kaçak, krimpleme operasyonu, fin-tüp ayrılması ve petek montaj hatasından kaynaklı parçaların fikstüre yerleşmemesi problemleri çıkan tüm hata türlerinin %80’ini oluşturmaktadır.



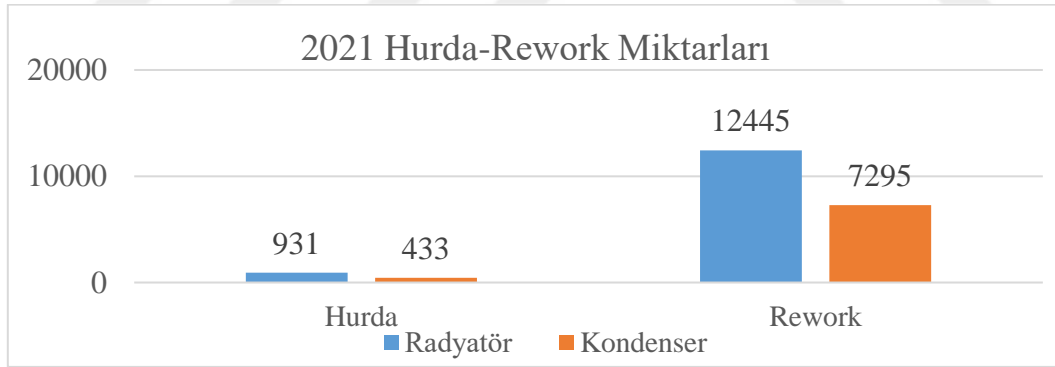
Şekil 4.3. Radyatör Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri Pareto Grafiği

Kondenser ürününde ise; manifold-tüp arası kaçak, petek montaj, bombe ve manifold-blok pişmeme problemlerinin çıkan tüm hata türlerinin %80'ini oluşturmaktadır.



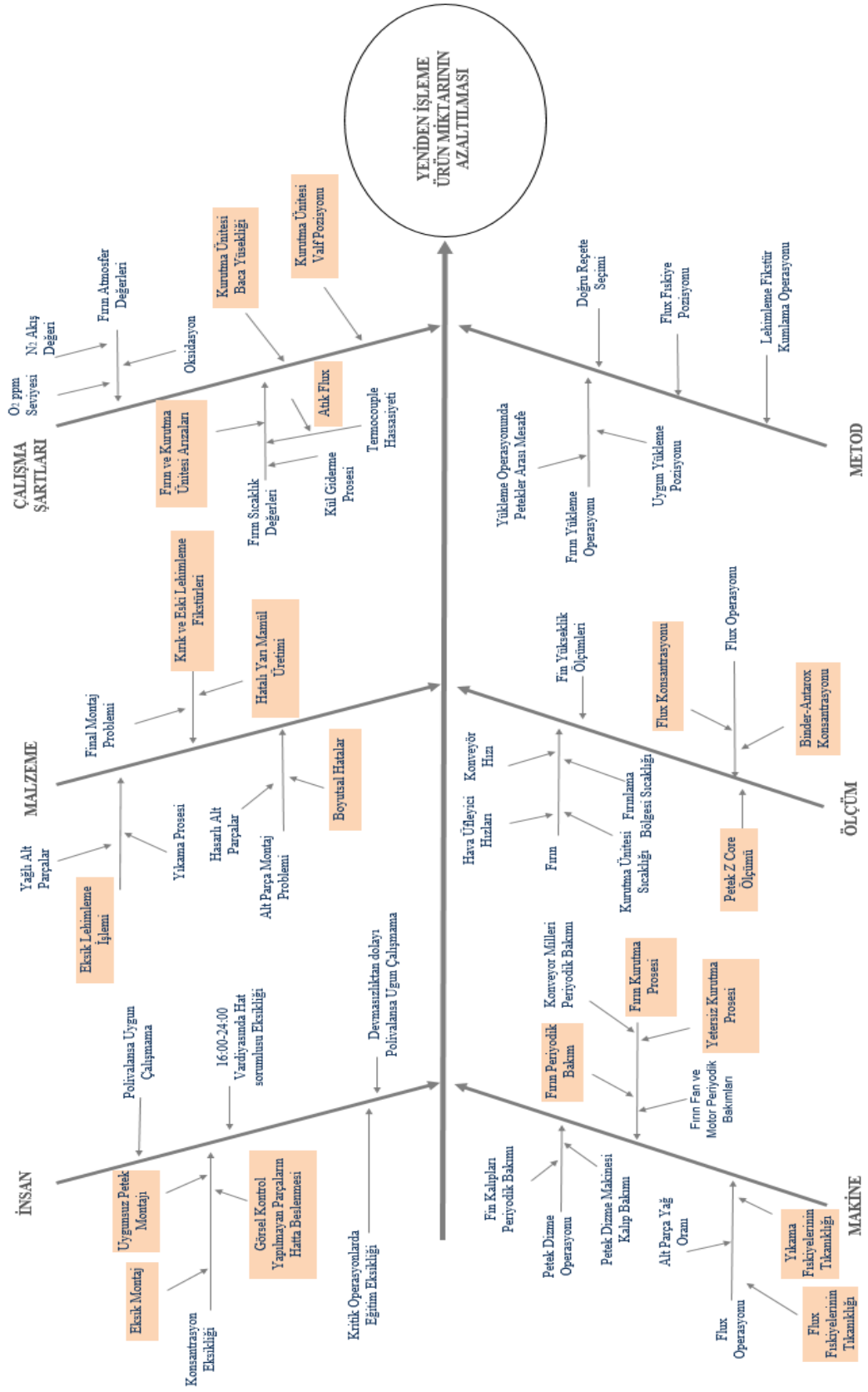
Şekil 4.4. Kondenser Ürünlerinde Çıkan Hata Türleri Pareto Grafiği

Şekil 4.5’de belirtilen; 2021 yılında aylık üretim, üretim sonucu çıkan hurda ve rework miktarları verilerinin Histogram grafiği yardımıyla analiz edilmesi sonucunda, 12445 adet radyatör, 7295 adet kondenser rework olarak; 931 adet radyatör, 433 adet kondenserin ise hurda olarak ayrıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. 2021 Yılı Hurda ve Rework Adetleri Histogram Grafiği

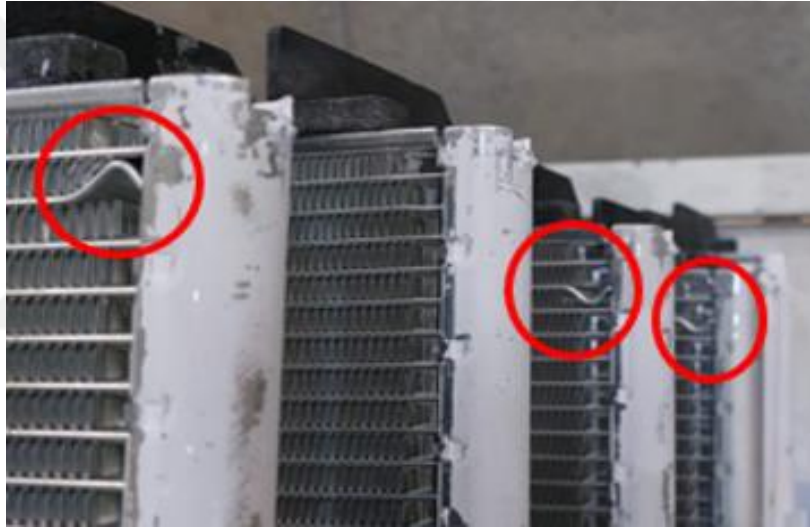
Hata türlerine ve toplam üretim ve hurda miktar oranlarına ek olarak müşteride çıkan hatalar ve iç hataların değerlendirilmeleri ve kök nedenlerinin analizi için Altı Sigma liderleri ve Kara Kuşak sorumlusu tarafından haftalık olarak yapılan toplantılar sonucu balık kılıçığı diyagramı oluşturulmuştur. Dinamik bir yapıya sahip olan iyileştirme çalışmasının sonucunda her hafta ortaya çıkan hatalar ve değerlendirmelerin eklenmesiyle balık kılıçığı diyagramında karşılaşılan problemin önem değerlerine göre sınıflandırma yapılmıştır.



Şekil 4.6. HEX Hattı Balık Kılıçığı Diyagramı

Şekil 4.6’da belirtilen Balık kılıçığı diyagramı ve Pareto analizleri sonucunda; kondenserlerde meydana gelen Manifold-tüp arası kaçak ve petek montaj hattında çıkan montaj hataları problemlerine; radyatörlerde ise petek montaj hattında çıkan montaj hataları ve header-tüp arası kaçak problemlerine odaklanma kararı alınmıştır.

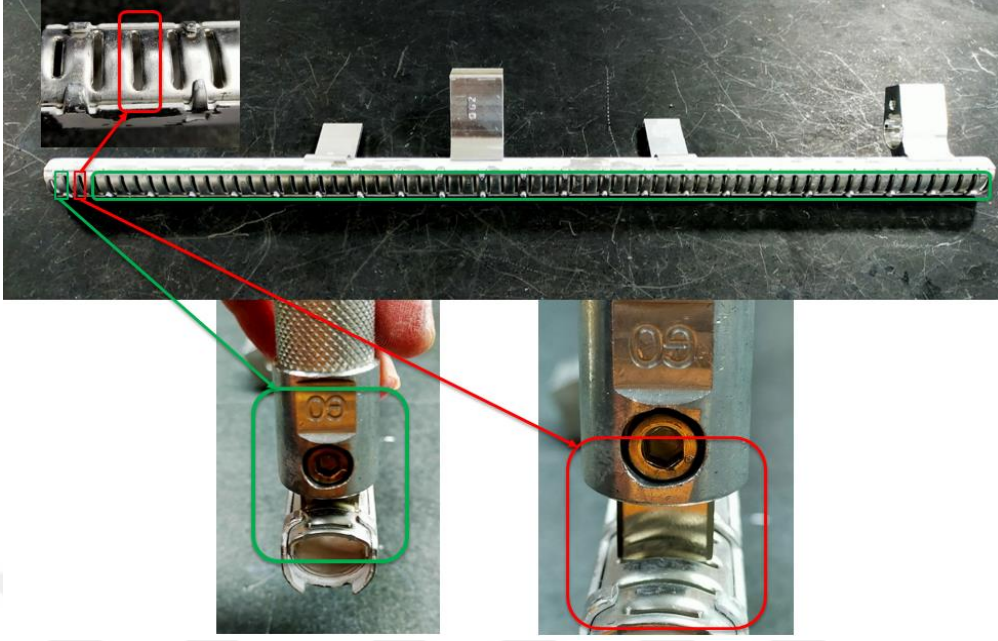
Kondenser hatalarında petek montaj hattında çıkan hatalar incelenirken öncelikli olarak, makine ayarları, operatör polivalansları ve alt parça kontrolleri başlatıldı. Yeniden işlenen ve hurdaya giden parçalar incelendiği zaman kondenser peteklerin manifold ve tüp montaj noktasında hep aynı bölgede sorunla karşılaşılması alt parça kontrollerine odaklanmaya sebep oldu. Alt parça kontrollerinde malzemenin teknik resimde belirtilen toleransların dışında olduğu tespit edildi.



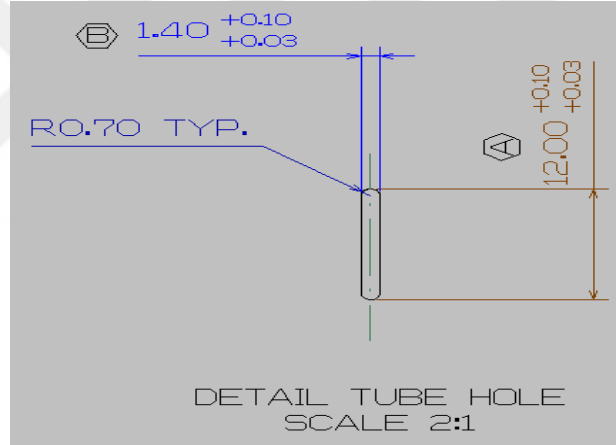
Şekil 4.7. Petek Montaj Problem Görseli

Alt parça kontrollerinde geçer geçmez mastarın parçanın 2.Tüp boşluğuna girmediği tespit edilmiştir. Sonrasında parçalar ilgili teknik resim referans alınarak ölçüm yapıp, tüp kalınlığının tolerans değerler dışında geldiği gözlemlendi. İlgili alt parçanın Şekil 4.7’de belirtilen 2.Tüp bölgesinde montaj problemine sebep olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.8’de ilgili alt parçanın mastar kontrolüne ait fotoğraflar belirtilmiştir. Mastarın geçer kısmının 1.tüp boşluğundan geçtiği 2.tüp boşluğundan ise geçmediği tespit edilmiştir. Sonrasında ise Şekil 4.9’da belirtilen teknik resim ölçüsü referans alınarak ölçümler yapılmış olup, alt parçaya ait 2.tüp boşluk kalınlık ölçüm sonuçları Tablo 4.6’da belirtilmiştir.



Şekil 4.8. Master Kontrol Görseli



Şekil 4.9. Alt Parça Teknik Resim

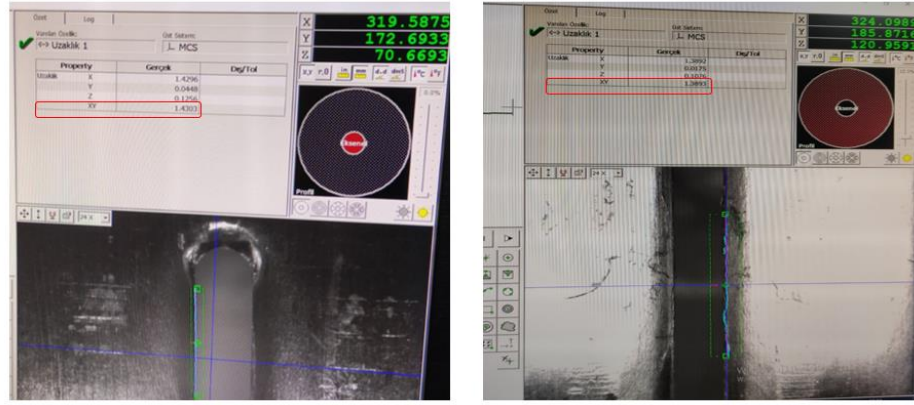
Tablo 4.6. Alt Parça Tüp Boşluk Ölçüm Sonuçları

Parça Adedi	B Noktası Ölçüm (mm)	Tolerans Aralığı (mm)
1	1,3222	1,43-1,50
2	1,3320	
3	1,4195	
4	1,4110	
5	1,3893	
6	1,3425	
7	1,4125	
8	1,3428	
9	1,3842	
10	1,3457	
11	1,3956	

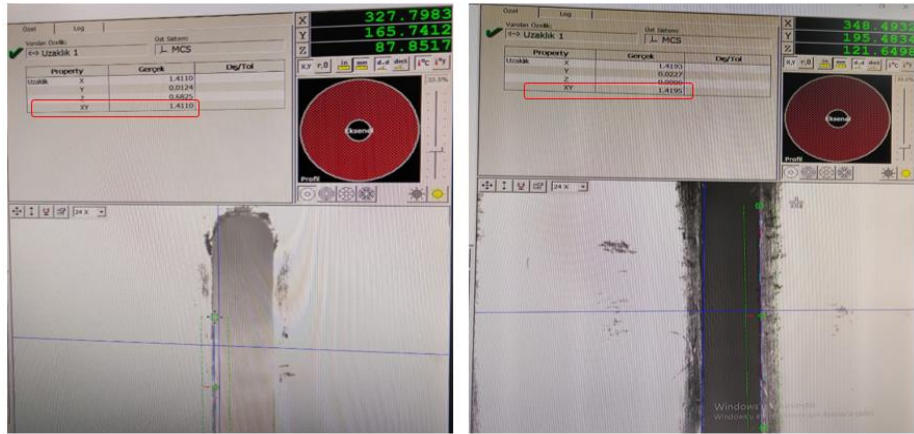
Tablo 4.6. (Devam) Alt Parça Tüp Boşluk Ölçüm Sonuçları

12	1,3875
13	1,3743
14	1,4224
15	1,4129
16	1,3957
17	1,3765
18	1,4053
19	1,4127
20	1,4038

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de alt parça ölçüm görselleri detaylı bir şekilde belirtilmiştir.



Şekil 4.10. Alt Parça Ölçüm Görseli-1



Şekil 4.11. Alt Parça Ölçüm Görseli-2

Radyatör hatalarında öncelikli olarak petek montaj hattında çıkan hatalara ve header-tüp bölgesi kaçak problemleri incelendi. Radyatör ürünlerinde çok fazla yeniden işlenen ürün

olduğu ve bu ürünlerin Şekil 4.12’de belirtilen Z Core ölçümüne göre tolerans dışı ölçüm sonuçlarına sahip oldukları tespit edildi.

Tablo 4.7’de ölçüm sonuçları belirtilmiştir, parçanın çapraz ölçüm sonuçları arasındaki farkın en fazla 2 mm olması gerekmekte, fakat ölçülen peteklerin %90’nın tolerans değerleri dışında geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Petek Z Core Ölçüm Görseli

Tablo 4.7. Petek Z Core Ölçüm Sonuçları

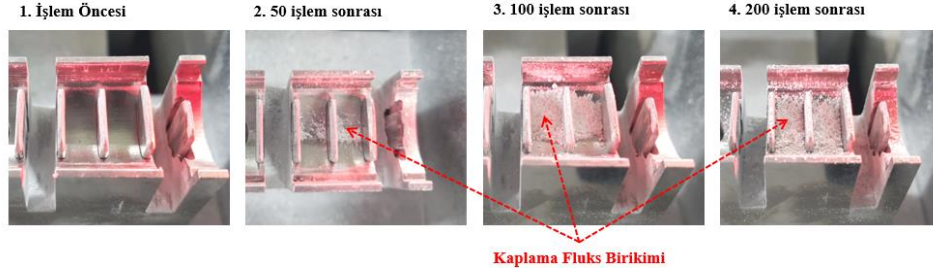
Petek Adedi	Z Core Ölçüm			Tolerans Aralığı (mm)
	1	2	Fark	
1	625,47	622,36	3,11	max. 2 mm fark olmalı
2	628,62	620,76	7,86	
3	623,11	619,42	3,69	
4	625,26	620,89	4,37	
5	624,27	620,18	4,09	
6	626,24	622,35	3,89	
7	624,38	622,01	2,37	
8	622,87	620,64	2,23	
9	624,39	621,58	2,81	
10	623,87	621,12	2,75	
11	625,54	621,54	4	
12	624,87	621,38	3,49	
13	626,27	622,42	3,85	
14	624,91	622,38	2,53	
15	625,34	621,47	3,87	
16	627,16	623,57	3,59	
17	624,47	622,63	1,84	
18	625,23	622,31	2,92	
19	623,86	621,4	2,46	
20	622,73	620,84	1,89	

Altı Sigma çalışması kapsamında incelenen ve kondenser, radyatör üretiminde en önemli noktalardan biri lehimleme prosesidir. Lehimleme prosesi fırın hattında gerçekleşmektedir. Fırın hattı dört ana üniteden oluşmaktadır. Yıkama, fluks, kurutma ve lehimleme işleminin gerçekleştiği dört ayrı operasyon gerçekleşmektedir. Petekler ilk olarak alt parçalarında var olan yağ ve kirin giderilmesi için yıkanmakta, sonrasında lehimleme operasyonunun verimli ve homojen olarak gerçekleşebilmesi için fluks püskürtme işlemi görmekte, kurutma ünitesinde kademeli bir sıcaklık artışıyla birlikte kurutulduktan sonra, ana fırının on farklı bölgesinde lehimleme operasyonu tamamlanmaktadır. Lehimleme işleminin homojen ve tam olarak gerçekleşmemesi var olan tüm parçalarda kaçak problemlerine sebep olacaktır. Müşteri de az miktarda fakat iç hatlarda helyum ve hava kaçak testlerinde yüksek miktarda ret parça problemiyle karşılaşılmasına istinaden Altı Sigma iyileştirmesi kapsamında fırın hattı tüm operasyonlar itibariyle incelenmiştir. Fırın operasyonu için önemli noktalar Şekil 4.2.'de Balık kılıcı diyagramında da belirtilmiştir. Fırın periyodik bakımı kapsamında; fan ve motor bakımları, kurutma ünitesi sıcaklık ölçüm cihaz kontrolleri, kurutma ünitesi prosesi, lehimleme fişürleri gibi lehimlemeyi etkileyen farklı birçok alanda kontroller başlatılmıştır.

HEX hattında Altı Sigma çalışması süresince, müşteriden 3 adet kondenser, kaçak problemi nedeniyle ret edilmiştir. Çalışma kapsamında inceleme ve analizlerin yapıldığı fırın hattında ilgili kaçak problemiyle ilgili kök neden analizi çalışması başlatıldı. Kök neden analizi sonucunda fırın hattı 1.bölgede yaşanan sigorta ve kablo arızası nedeniyle, 1.bölge sıcaklık değerinin,  $585\pm 20^{\circ}\text{C}$  tolerans aralıklarında olması gerekirken,  $280^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düştüğü bu problem dolayısıyla lehimleme işleminin tam olarak gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Belirlenen problem ile ilgili analiz çalışmaları başlatılarak problemin tekrar yaşanmaması için aksiyon planlaması yapılmıştır.

#### **4.2.4. İyileştirme Aşaması**

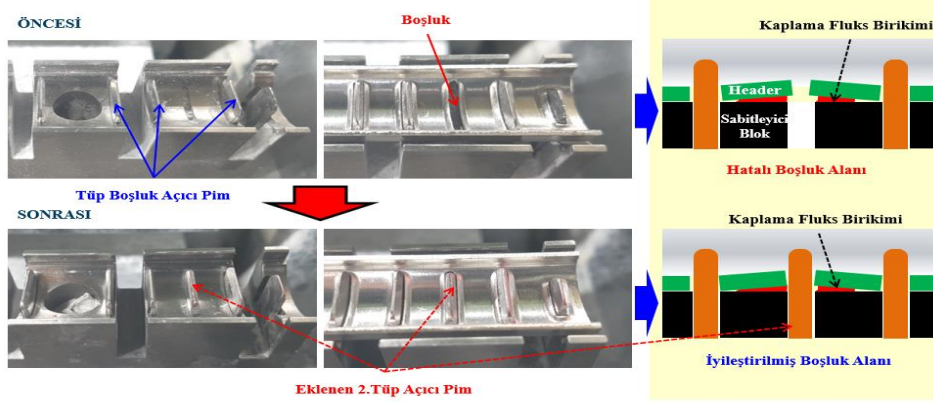
İlk olarak kondenser alt parça kaynaklı problemin çözülmesi tedarikçi firmaya problem hakkında bilgi verildi. Kalıcı aksiyonlar alınana kadar geçen süre içerisinde alt parça ayıklama işlemi başlatılarak ilgili hatlara kontrollü malzeme tedarik edilerek, petek dizme makinesinde ortaya çıkan yeniden işlenecek parça sayısı azaltıldı. 8D (8 Disiplin) problem çözme tekniği temel alınarak tedarikçi firma tarafından geçici ve kalıcı aksiyonlar istendi.



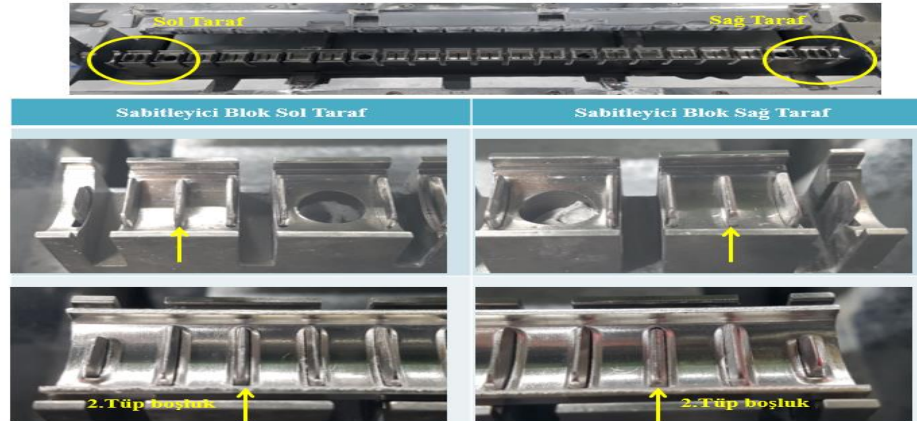
Şekil 4.13. Kondenser Tüp Problemi Kök Neden Analizi

Alt parça tedarikçisi geçici aksiyon olarak; Şekil 4.13’de görsel olarak ifade edilen, fluks birikimini önlemek adına vardiyada bir defa uyguladığı vakumla temizleme işlem sıklığını arttırarak vardiyada 3 defa olacak şekilde uygulamaya başlamıştır.

Kalıcı aksiyon olarak; 2.tüp bölgesinde uygun delik ölçüsü elde edilmesi için yeni pim eklenerek kaplama fluks birikiminden kaynaklı problemin giderilmesi hedeflenmiştir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de alt parça tedarikçisinin üretim bloklarına ait eski ve iyileştirilmiş duruma ait görseller ifade edilmiştir.



Şekil 4.14. İyileştirme Öncesi ve Sonrası Karşılaştırması

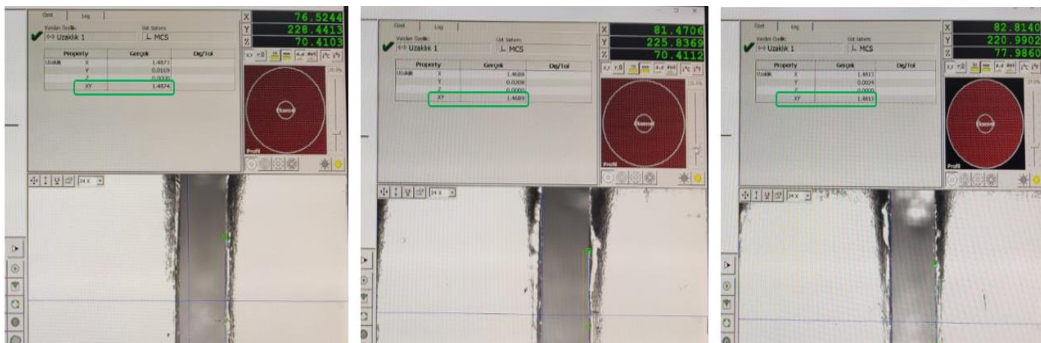


Şekil 4.15. İyileştirme Sonrası Sabitleyici Blok

Alınan aksiyonlar sonrasında yapılan 2.Tüp ölçüm sonuçları Tablo 4.8’de iyileştirilmiş parçaların ölçüm görselleri ise Şekil 4.16’da belirtilmiştir. Tolerans değerleri içerisinde üretilen alt parçalar sonucu kondenser petek dizme makinesinden yeniden işleme alanına ayrılan petek sayısında belirgin bir azalma görülmüştür.

Tablo 4.8. İyileştirme Sonrası Alt Parça Ölçüm Sonuçları

Parça Adedi	B Noktası Ölçüm (mm)	Tolerans Aralığı (mm)
1	1,4874	1,43-1,50
2	1,4813	
3	1,4689	
4	1,4752	
5	1,4897	
6	1,4696	
7	1,4733	
8	1,4805	
9	1,4819	
10	1,4745	
11	1,4624	
12	1,4859	
13	1,4763	
14	1,4702	
15	1,4817	
16	1,4812	
17	1,4901	
18	1,4635	
19	1,4755	
20	1,4818	



Şekil 4.16. İyileştirme Sonrası Alt Parça Ölçüm Görseli

Radyatör modeli tüp alt parçası teknik resminde revize yapıldığı için parça boyutlarında ölçüsel değişim gerçekleştirilmiştir. Yapılan değişim sonrası üretilen radyatör peteklerde header-header arası ölçülen mesafede sapmalar meydana gelmiş ve montaj hattında final kontrol fikstürüne yerleşmeyen petekler olduğu görülmüştür.

Problem için kök neden analizi başlatılarak fırınlama fikstürlerinde doğrusal bozukluk/çarpıklıklar meydana geldiği görülmüştür bu sebepten dolayı tüm fırınlama fikstürleri kontrol mastarı yardımıyla düzeltilmiştir. Düzeltelen fikstürler ile yapılan üretimlerde hatalı ürün miktarında azalma görülmesine rağmen headerlar arası mesafe ve “Z Core” ölçümleri tolerans dışı gelmiş ve final kontrol fikstüründe hatalı parçalar çıktığı tekrar görülmüştür.

Üretilen petekler tekrar analiz edildiğinde teknik resim değişikliği nedeniyle tüplerin header boşluğundan daha fazla dışarı çıktığı ve tüp uç kısımlarının kalıp iç yüzeylerine daha erken temas ettiği ve bu yüzden tüp uç kısımlarında sürtünme/temas kaynaklı noktasal izler görülmüştür.

Bu noktasal hasarlar göz önüne alındığında kalıp iç yüzeyinde 1.5 mm taşlama/zımparalama işlemi yapılarak tüplerin iç yüzeye temas etmesi engellenmiş böylece tüplere herhangi bir hasar vermeden teknik resimde istenilen header-header arası mesafe elde edilmiştir. Petek dizimi ve fırınlama prosesi sonrası yapılan “Z Core” ölçümlerinde sonuçların tolerans değerleri içinde olduğu görülmüş ve montaj hatlarında kullanılan final kontrol fikstürüne yerleşmeme problemi ortadan kaldırılmıştır. Kalıba yapılan müdahale sonrası iyileştirilmiş ölçüm sonuçları Tablo 4.9’da belirtilmektedir. Karşılaşılan bu problem sebebiyle, hatalı parça tespitinin yapılabilmesi adına; vardiyada bir kere ve model değişiminde alınan “Z Core ölçümü” sıklığı iki saate bir kere ve model değişiminde olacak şekilde değiştirilmiştir.

Tablo 4.9. İyileştirme Sonrası Petek Z Core Ölçüm Sonuçları

Petek Adedi	Z Core Ölçüm			Tolerans Aralığı (mm)
	1	2	Fark	
1	625,96	624,31	1,65	max. 2 mm fark olmalı
2	626,22	625,81	0,41	
3	626,34	625,80	0,54	
4	628,56	627,18	1,38	

Tablo 4.9. (Devam) İyileştirme Sonrası Petek Z Core Ölçüm Sonuçları

5	628,22	627,65	0,57
6	627,29	626,60	0,69
7	627,56	626,98	0,58
8	628,45	627,43	1,02
9	626,89	625,64	1,25
10	626,77	625,49	1,28
11	627,54	626,28	1,26
12	627,81	626,23	1,58
13	628,02	626,59	1,43
14	625,89	625,38	0,51
15	626,33	625,86	0,47
16	625,98	624,83	1,15
17	626,39	625,15	1,24
18	625,91	624,75	1,16
19	627,51	626,19	1,32
20	629,17	628,42	0,75

Kondenser petek dizme işlemi sonrası fırın hattına verilen peteklerde lehimleme operasyonu sonrası tüp dibi kaçakları ve tüp-manifold boşluğu arasında yetersiz lehimlemenin olduğu görülmüştür. Fırınlanan ve lehim işlemine tabii tutulan diğer tüm radyatör ve kondenser peteklerinde bu modeldeki gibi bir kaçak sorunu olmadığı için fırın hattı ile ilgili parametreler elenerek öncelikle alt parçalar üzerinde analiz yapılmıştır.

Problemin kök nedeni araştırıldığında manifold üzerine tedarikçi tarafından uygulanmış ilave fluks kaplama olduğundan dolayı yıkama prosesi uygulanmadığı için fazla yağın alınmadığı için manifoldların yağlı olabilme ihtimali düşünülerek ve bundan dolayı flukslama ünitesinde malzemenin yetersiz fluks tutması nedeniyle lehimleme gerçekleşmediği düşünülmüştür. Manifold üzerinde olası fazla yağın giderilmesi için petek dizme prosesi öncesinde manifoldlar 100°C’de 1 saat süre boyunca ilave kurutma prosesine alınarak kurutulmuştur. İlave kurutma işlemi yapılan parçalar ile üretilen kondenserler ve ilave kurutma işlemi yapılmamış parçalar ile üretilen kondenserlerdeki kaçak oranları incelendiği zaman kaçak oranlarında fark olmadığı tespit edilmiştir. Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’de kondenser helyum test sonuçları belirtilmiştir.

Tablo 4.10. İlave Kurutma İşlemi Yapılmayan Kondenser Test Sonuçları

Test Tarihi	Test Edilen Kondenser Adedi	Ret Ayrılan Parçalar	Kaçak Oranı
23.04 1.Vardiya	574	9	1,6%
25.04 3.Vardiya	466	12	2,6%
26.04 3.Vardiya	625	35	5,6%
28.04 2.Vardiya	512	18	3,5%

Tablo 4.11. İlave Kurutma İşlemi Yapılan Kondenser Test Sonuçları

Test Tarihi	Test Edilen Kondenser Adedi	Ret Ayrılan Parçalar	Kaçak Oranı
25.04 2.Vardiya	100	2	2,0%
26.04 1.Vardiya	134	4	3,0%
27.04 2.Vardiya	342	17	5,0%
28.04 3.Vardiya	100	3	3,0%

Alt parça analizleri istenen sonuçları vermediği için, lehimleme operasyonu ve fırın hattı ile ilgili parametreler üzerinde analiz çalışmaları başlatılmıştır. Fırın hattında önceki hat düzeninden farklı olarak sadece kurutma ünitesi baca yüksekliğinde değişiklik olduğu için ve bu değişikliğin kurutma ünitesi içerisindeki hava atmosferini daha şiddetli/kuvvetli bir hale getirebileceği düşünüldü. Bu etkinin malzemeyi olması gerekenden daha hızlı kurutması; malzeme içerisinde bulunan fluks ve suyun olması gereken süreden çok daha kısa bir sürede buharlaşarak malzemeyi terk etmeye çalıştığı ve buharın yaratacağı etki ile birlikte lehimleme işleminin gerçekleşmesi gereken tüp dibi bölgelerinde tam olarak gerçekleşemeyip, kaçaklara sebep olduğu düşünüldü. İçerideki bu kuvvetli kurutma etkisini azaltabilmek için baca valf pozisyonlarında değişiklik yapılarak valf pozisyonunun açısı 30° den 45° ye değiştirildi. Bu değişiklik ile baca içerisindeki hava sirkülasyonunun ve buharın daha yavaş bir şekilde atılarak, kurutma operasyonunun tam olarak gerçekleşmesi amaçlanmıştır.

Aynı zamanda fırın bakım işlemlerine odaklanılarak, kurutma ünitesindeki “thermocouple” olarak belirtilen sıcaklık ölçen cihazların bakımı yenilenmesi işlemleri,

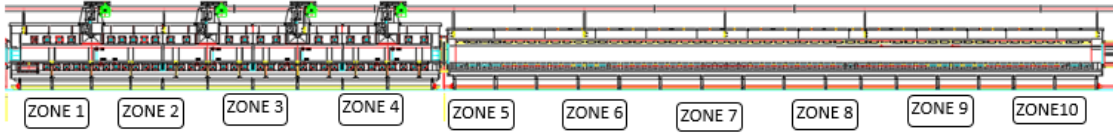
yine kurutma ünitesindeki fluks ve buharın kurutulması sonucunda fazla fluksların kül şeklinde birikmesi ve bu biriken küllerin temizlenme işlemi yapılmıştır. Fırın ve kurutma ünitesindeki sıcaklıklar, konveyör hızları lehimleme operasyonu için kritik parametrelerdir, sıcaklık ölçüm cihaz bakımları var olan küllerin sıcaklık ölçüm cihazlarını tıkaması doğru ölçüm değerlerine ulaşamaması ve kurutma ünitesinde sıcaklık artışının yapılması gibi operasyonu farklı yönde etkileyebilecek kararların alınmasına sebep olabileceği kritik unsurlardır. Yapılan iyileştirmeler sonrası üretilen kondenserlerde Helyum test sonuçları doğrultusunda %10 kaçak oranının %3 oranına kadar azaldığı görülmüştür.

Analiz aşamasında bahsedilen müşteriden 3 adet kondenser kaçak problemi nedeniyle gelen parçalar analiz edildikten sonra iki ana aksiyon alınmıştır. Sıcaklık düşüşü nedeniyle fırının uyarı vermesine rağmen operatörler tarafından alarm kapatılıp fırına kondenser yükleme işlemine devam edilmiştir, karşılaşılan bu problem dolayısıyla PLC (Programmable Logic Controller) sisteminde yapılan güncellemeler ile reset butonuna ek olarak fırın hattına anahtar eklenmiştir, reset butonuna basılsa bile anahtar ile hat sorumlusu ya da üretim mühendisi tarafından kapatılmayan fırın uyarı vermeye devam edecektir. Şekil 4.17’de ilgili iyileştirme çalışmalarına ait görseller ifade edilmiştir.



Şekil 4.17. Fırın Hattı İyileştirme Çalışmaları

Altı Sigma çalışması kapsamında yapılan bir diğer önemli iyileştirme ise fırın ünitelerinde tolerans dışında tespit edilen sıcaklık değişimlerinde otomatik olarak fırının yükleme konveyörü duracaktır, böylece fırına ürün yükleme işlemi devam ettirilemeyecektir. Şekil 4.18’de Fırın ünitesine ait sıcaklık ve tolerans değerleri belirtilmiştir.



TABLO 1

ZONE	DRY 1	DRY 2	DRY 3	Top 1	Top 2	Top 3	Top 4	Top 5	Top 6	Top 7	Top 8	Top 9	Top 10
				Btm 1	Btm 2	Btm 3	Btm 4	Btm 5	Btm 6	Btm 7	Btm 8	Btm 9	Btm 10
MEMO 4	240	250	260	585	595	605	608	608	605	605	608	610	610
								608	605	605	608	610	610
MEMO 6				450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
								450	450	450	450	450	450
SET POINT	± 30 °C			± 20°C		± 15°C			± 5°C				

Şekil 4.18. Fırın Ünitesi Sıcaklık Tablosu

#### 4.2.5. Kontrol Aşaması

Yapılan iyileştirmeler sonrasında iyileştirilmiş durumun sürdürülerek, takip edilmesi ve sürecin başarısının ölçüldüğü aşamadır. Ocak ayında başlatılan çalışma kapsamında yapılan analizler ve sonrasında üretim hattında gerçekleştirilen denemeler ve alt parça tedarikçisinde yapılan iyileştirmeler sonucunda 2021 yılı son üç aya ait veriler ve 2022 yılı üç aylık veriler karşılaştırıldığında hurda ve rework sayılarında önemli miktarda azalmalar görülmüştür.

Tablo 4.12. 2021 Yılı Son Çeyrek Üretim ve Hurda Miktarları

HURDA							
AYLAR	RADYATÖR			KONDENSER			Toplam Hurda Oranı
	Üretim Miktarı	Hurda Miktarı	Hurda Oranı	Üretim Miktarı	Hurda Miktarı	Hurda Oranı	
EKİM 2021	38501	250	0,65%	30497	60	0,20%	0,45%
KASIM 2021	36267	44	0,12%	29221	17	0,06%	0,09%
ARALIK 2021	50084	84	0,17%	38633	41	0,11%	0,14%
<b>TOPLAM</b>	<b>124852</b>	<b>378</b>	<b>0,30%</b>	<b>98351</b>	<b>118</b>	<b>0,12%</b>	<b>0,22%</b>

Tablo 4.12 ve Tablo 4.13’de 2021 yılı son çeyreğe ait radyatör hurda ve rework oranları sırasıyla 0,30%, 2,47%, kondenser hurda ve rework oranları ise 0,12%, 2,00% olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.13. 2021 Yılı Son Çeyrek Üretim ve Rework Miktarları

REWORK							
AYLAR	RADYATÖR			KONDENSER			Toplam Rework Oranı
	Üretim Miktarı	Rework Miktarı	Hurda Oranı	Üretim Miktarı	Rework Miktarı	Hurda Oranı	
EKİM 2021	38501	1947	5,06%	30497	671	2,20%	3,79%
KASIM 2021	36267	363	1,00%	29221	451	1,54%	1,24%
ARALIK 2021	50084	777	1,55%	38633	844	2,18%	1,83%
<b>TOPLAM</b>	<b>124852</b>	<b>3087</b>	<b>2,47%</b>	<b>98351</b>	<b>1966</b>	<b>2,00%</b>	<b>2,26%</b>

Tablo 4.14. 2022 Yılı Üç Aylık Üretim ve Hurda Miktarları

HURDA							
AYLAR	RADYATÖR			KONDENSER			Toplam Hurda Oranı
	Üretim Miktarı	Hurda Miktarı	Hurda Oranı	Üretim Miktarı	Hurda Miktarı	Hurda Oranı	
ŞUBAT 2022	43209	71	0,16%	40892	52	0,13%	0,15%
MART 2022	44510	40	0,09%	38031	51	0,13%	0,11%
NİSAN 2022	48370	14	0,03%	41646	21	0,05%	0,04%
<b>TOPLAM</b>	<b>136089</b>	<b>125</b>	<b>0,09%</b>	<b>120569</b>	<b>124</b>	<b>0,10%</b>	<b>0,10%</b>

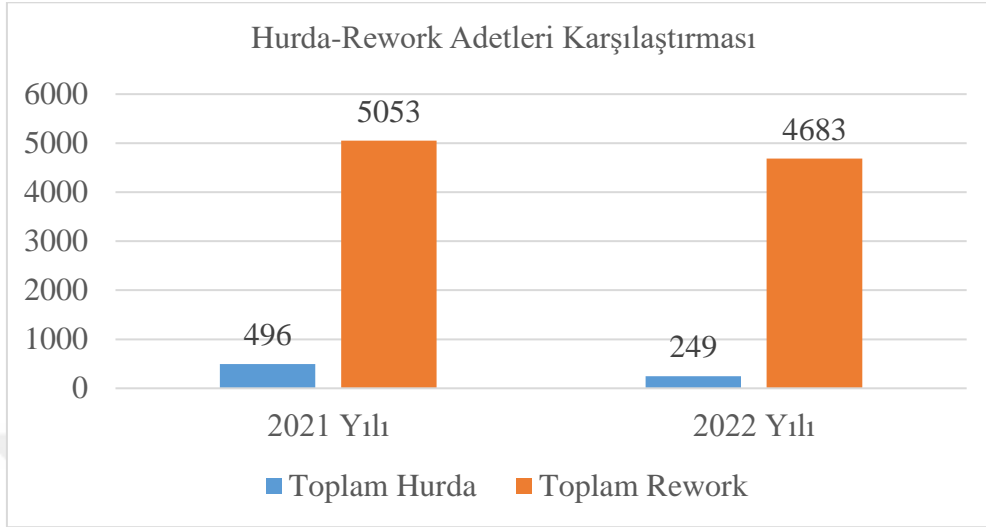
Tablo 4.15. 2022 Yılı Üç Aylık Üretim ve Rework Miktarları

REWORK							
AYLAR	RADYATÖR			KONDENSER			Toplam Rework Oranı
	Üretim Miktarı	Rework Miktarı	Rework Oranı	Üretim Miktarı	Rework Miktarı	Rework Oranı	
ŞUBAT 2022	43209	756	1,75%	40892	655	1,60%	1,68%
MART 2022	44510	767	1,72%	38031	1385	3,64%	2,61%
NİSAN 2022	48370	710	1,47%	41646	410	0,98%	1,24%
<b>TOPLAM</b>	<b>136089</b>	<b>2233</b>	<b>1,64%</b>	<b>120569</b>	<b>2450</b>	<b>2,03%</b>	<b>1,82%</b>

Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’de belirtilen 2022 üç aylık radyatör hurda ve rework oranları sırasıyla 0,09%, 1,64%, kondenser hurda ve rework oranları ise 0,10%, 2,03% olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.19’da ise 2021 yılı son çeyrek ve 2022 yılı üç aylık toplam hurda ve toplam rework miktarları karşılaştırıldığında; radyatör ve kondenser toplam hurda miktarında 496’dan

249'a, radyatör ve kondenser toplam rework miktarında ise 5053'den 4683 değerine kadar bir düşüş olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.19. Hurda-Rework Adetleri Karşılaştırma Histogram Grafiği

$\text{Ürün Miktarı} = \text{Üretilen radyatör miktarı} + \text{Üretilen kondenser miktarı}$

$\text{Ürün Miktarı} = 136.089 + 120.569 = 256.658$

$\text{Hatalı Ürün Miktarı} = \text{Hatalı radyatör miktarı} + \text{Hatalı kondenser miktarı}$

$\text{Hatalı Ürün Miktarı} = (125 + 2233) + (124 + 2450) = 4932$

$\text{Ürün Başına Düşen Hata Miktarı} = \text{Hatalı Ürün Miktarı} / \text{Ürün Miktarı}$

$\text{Ürün Başına Düşen Hata Miktarı} = 4932 / 256.658 = 0,0192$

Birimdeki Hata Fırsatları: Üretilen ürünler kaçak ve hasarlı ürün olmak üzere iki tane hata fırsatına sahiptir.

Fırsat Başına Düşen Hata Miktarı :(Defects per Oppurtunities (DPO));

$DPO = (\text{Hatalı Ürün Miktarı}) / (\text{Ürün Miktarı} \times \text{Fırsat Sayısı})$

$DPO = \frac{4932}{256.658 \times 2} = 0,0096$

$\text{Başarı Yüzdesi} = 1 - DPO$

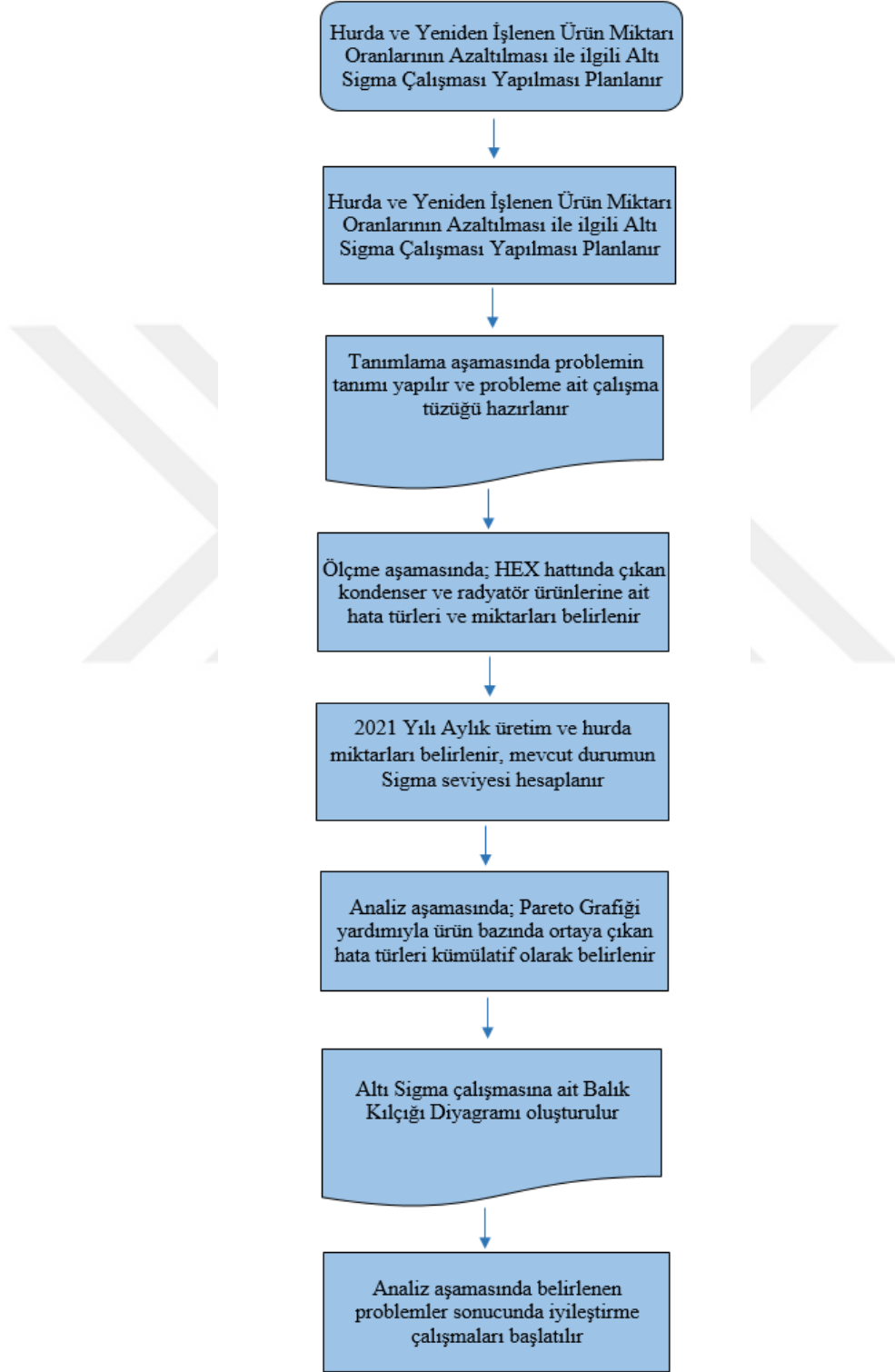
$$\text{Başarı Yüzdesi} = 1 - 0,0096 = 0,9904$$

$$\text{İyileştirilmiş Durum Sigma Seviyesi} = \text{Norm. S. Inverse } x (0,9904) + 1.5 = 2.34 + 1.5 = 3.84$$

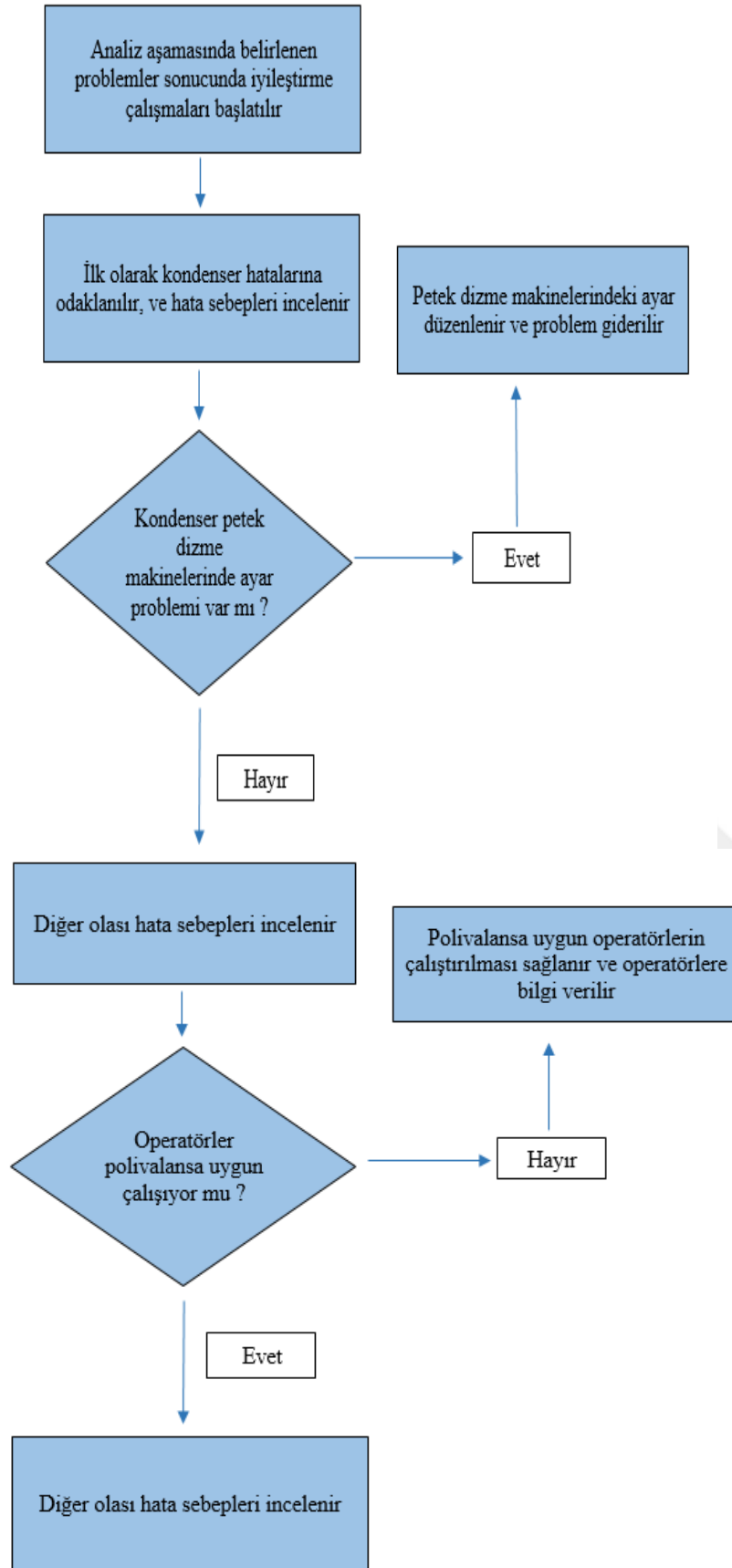


## 5. SÜREÇ AKIŞ DİYAGRAMI

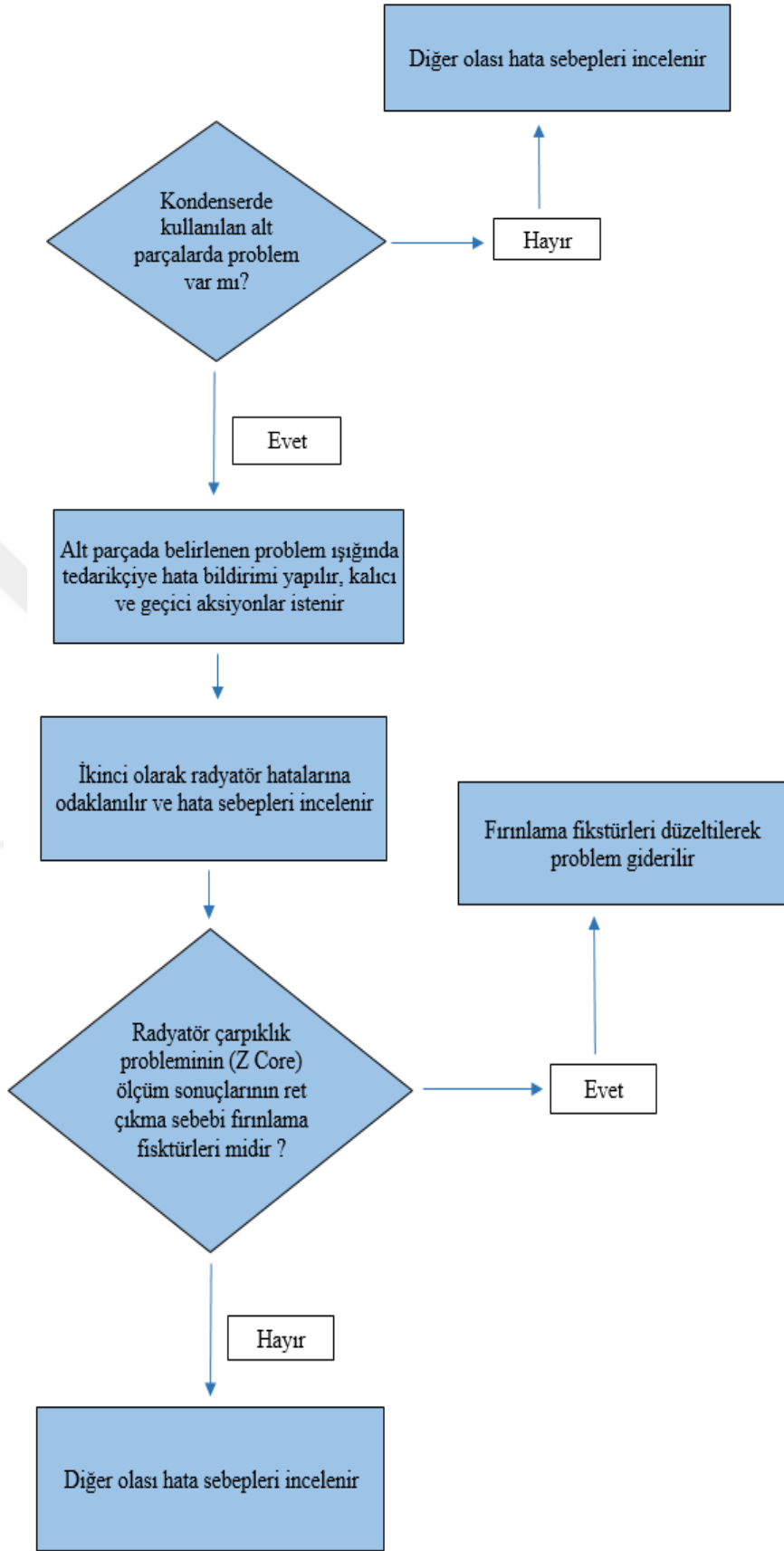
Altı Sigma yönteminin adımları temel alınarak yapılan tüm çalışmalar Şekil 5.1 Süreç Akış Diyagramı'nda belirtilmiştir.



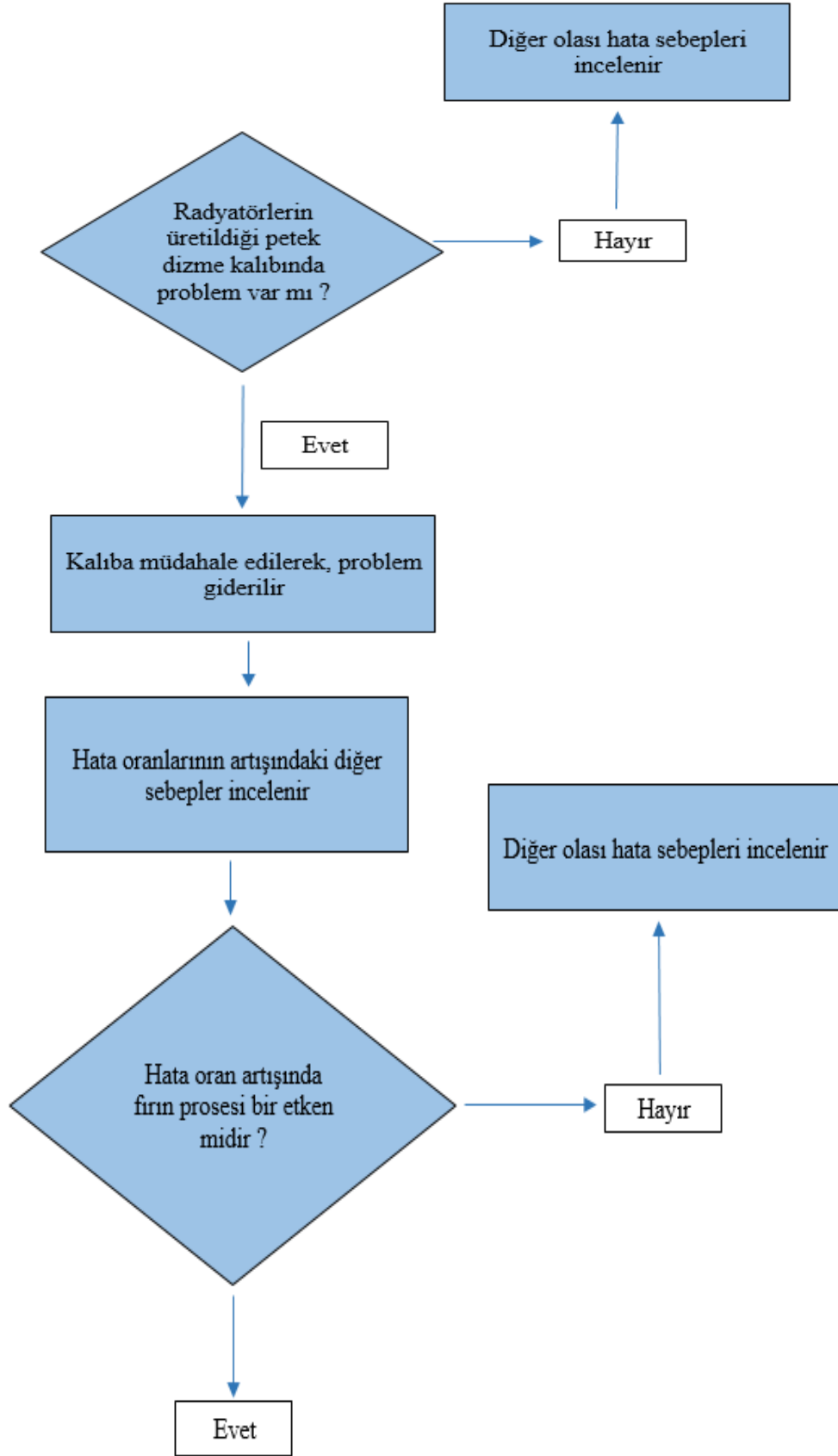
Şekil 5.1 Süreç Akış Diyagramı



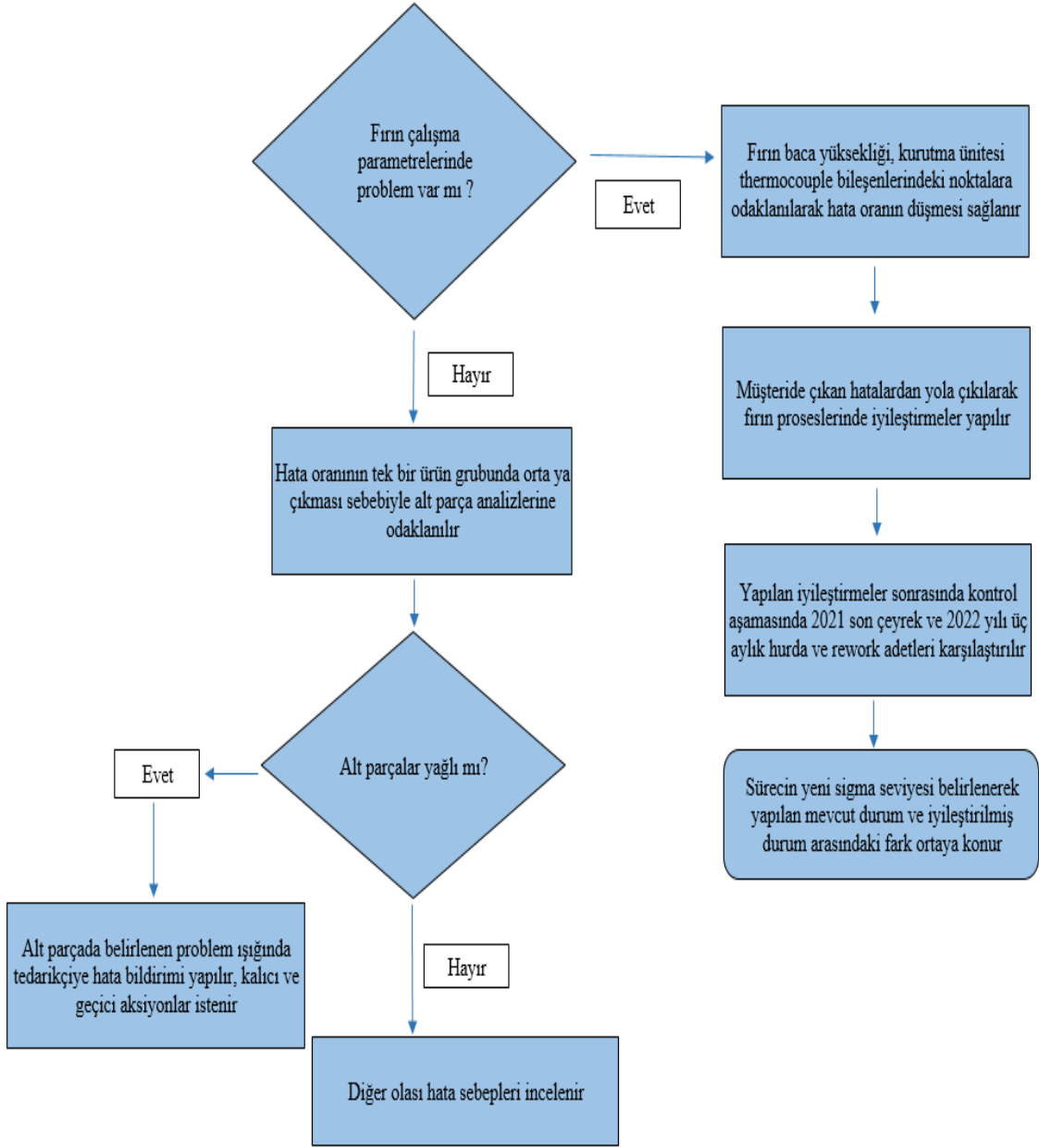
Şekil 5.1. (Devam) Süreç Akış Diyagramı



Şekil 5.1. (Devam) Süreç Akış Diyagramı



Şekil 5.1. (Devam) Süreç Akış Diyagramı



Şekil 5.1. (Devam) Süreç Akış Diyagramı

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz dünya ekonomisinde işletmeler rekabet üstünlüğünü sağlamak için, işletmeler verimliliklerini arttırmayı, müşteri talep ve isteklerini zamanında karşılamayı hedeflemektedirler. Rekabet üstünlüğünü sağlamanın en önemli yollarından biri var olan süreçlerin maliyetlerini en aza indirmektir. Yüksek rekabet ortamında yer alan otomotiv sektöründe, ilk defada doğru üretim yapmayı ilke kabul eden, kalite seviyesi yüksek ürünlerin üretiminde hurda ve yeniden işlenen ürünlerin maliyetlerini, fazla mesai ve zaman kaybını azaltarak, üretim verimliliğinin artmasını sağlamak amaçlanmaktadır.

1980'li yıllarda ortaya çıkan ve otomotiv sektörü başta olmak üzere birçok üretim ve hizmet sektöründe kullanılan Altı Sigma, üründen ziyade ürünlerin ve sistem çıktılarının ortaya çıktığı süreci iyileştirmeyi, süreçlerdeki kalitesizlik maliyetlerini azaltarak süreç verimliliğini arttırmayı hedefleyen ve birçok problem çözme tekniğini bünyesinde birleştiren bilimsel bir yöntemdir Altı Sigma metodolojisinin DMAIC aşamaları takip edilerek süreç iyileştirmesinin gerçekleşmesi, sistematik ve net bir şekilde hedeflere ulaşılması noktasında işletmelere önemli bir yol göstericidir.

Bu çalışmada Altı Sigma çalışma metodolojisinin her bir adımı tanımlanarak ve bu adımlar takip edilerek süreç sonucunda ortaya çıkan hurda ve yeniden işlenen ürün miktarının azalması sağlanmıştır. Tanımlama aşamasında çalışmanın amacı, kapsamı problemin tanımı, ekip üyeleri, hurda ve yeniden işlenen ürün miktarı oranlarının azaltılması olacak şekilde çalışmanın hedefi belirlenmiştir. Ölçme aşamasında gerekli veriler toplanarak mevcut durum analizi ortaya çıkartılmıştır. Ölçme aşamasındaki veriler, müşterinin sesi olarak, müşteri ret ve iade ürünlerine odaklanarak, problem çözme tekniklerinden balık kılçığı diyagramı, histogram, pareto grafikleri sonucunda kondenser ve radyatör hurda ve yeniden işlenen ürün miktarına sebep olan hata türleri belirlenerek, en yüksek orana sahip hata türlerinin oluşmasının engellenmesi, azaltılması hedeflenmiştir. Kök neden analizi ile her iki ürün grubu içinde problemlerinin oluşmasının asıl sebepleri belirlenerek, iyileştirme aşamasında var olan bu sebeplerin önlenmesi için iyileştirme çalışmaları başlatılmıştır. Karşılaşılan problemler için gerek üretim hattında gerek tedarikçilerde iyileştirme yapılarak, Altı Sigma yöntemi ile sisteme bütünsel olarak yaklaşarak, sürecin girdi ve çıktıları dikkate alınarak iyileştirmeler yapılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda süreçler kontrol aşamasında izlenerek;

2021 yılında hesaplanan toplam hurda oranının 0,15%'den 2022'nin üç aylık sürecinde 0,10%'a; toplam yeniden işlenen ürün oranının ise 2,23%'den 1,82%'ye düştüğü belirlenmiştir. Toplam hurda oranında ve toplam yeniden işlenen ürün oranında 0,05%'erlik bir iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. Sürecin sigma seviyesinin ise 3.76 seviyesinden 3.84 seviyesine çıktığı gözlenmiştir.

Literatürde Altı Sigma bölümünde de ifade edildiği gibi yapılan çalışmalar Altı Sigma aşamaları ve metodolojisi ışığında gerçekleştirilmesine rağmen, süreçlerin Altı Sigma seviyelerinin belirlenmemesi eksiklik olarak tespit edilmiştir, yöntemin aşamalarına altıncı bir aşama daha tanımlanarak mevcut durum ve iyileştirilmiş durumun Altı Sigma seviyesinin belirlenmesi ve Altı Sigma yöntemi ile iyileştirme yapılan süreçlerdeki iyileştirmelerin sayısal ve istatistiksel olarak anlamlılığının ortaya koyulması gerektiği önerilir.

## KAYNAKLAR

- Akın, O. (2013). Altı Sigma İle Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sisteminin Entegrasyonu: Kuramsal Bir Yaklaşım. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(8), 86-104.
- Alper, B. (2019). Lean Six-Sigma Methodology And An Application In A Defense Industry Company. Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 595474.
- Albayrak, H.M. (2018). Toplam Kalite Yönetimi Tekniklerinden Kaizen Ve Altı Sigma Uygulamalarının Kıyaslanması Üzerine Örnek Bir Uygulama. *International Anatolia Academic Online Journal*, 4(1), 24-57.
- Atmaca, E., Girenes, Ş. (2009). Literatür Araştırması: Altı Sigma Metodolojisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(3), 111-126.
- Çallı, E., Turan, G. (2018). Yalın Altı Sigma Yaklaşımlarının Çevik Retrospektiflere Uygulanması. *UYMS\_2018\_paper\_15.pdf*, <https://docplayer.biz.tr/108341856-Yalin-alti-sigma-yaklasimlarinin-cevik-retrospektiflere-uygulanmasi.html> (Ziyaret tarihi: 24 Mayıs 2022).
- Deste, M., Berber, G. (2018). Süreç İyileştirme Uygulamaları Üzerine Bir Literatür Araştırması. *Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi*, 2(2), 213-230
- Deste, M., Karabulut, M. (2020). Altı Sigma Tekniğiyle Tekstil Sektöründe Çevrim Sürelerinin İyileştirilmesine Yönelik Bir Uygulama. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2020), 137-147.
- De Koning, Henk, Jeroen De Mast. (2006). A rational reconstruction of Six-Sigma's breakthrough cookbook. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(7), 766-787.
- Durmuşoğlu, B.A., Aydın Keskin, G. (2015). Altı Sigma Yöntemi İle İmalat Sektöründe Ergonomik Risk İndirgeme Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 293-300.
- Ekleş, E. (2020). Kısıtlar Teorisi Ve Altı Sigma Entegrasyonu: Bir Üretim Tesisinde Süreç İyileştirme Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 645901.
- Erbıyık, H., Saru, M. (2015). Six Sigma Implementations in Supply Chain: An Application for an Automotive Subsidiary Industry in Bursa in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195,(2015), 2556 – 2565.
- Evren, E. (2006). Altı Sigma Metodolojisi Ve Bir İşletmede Örnek Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 201370.

- Erwin J. (2002). Achieving Total Customer Satisfaction Through Six Sigma. *Quality Digest Article*, <https://www.qualitydigest.com/july98/html/sixsigma.html> (Ziyaret tarihi 20 Mayıs 2022).
- Firuzan, A.R., Kuvvetli Ü., Gerger, A. (2012). Altı Sigma Metodolojisi Ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *Journal of Yasar University*, 25(7), 4176-4188.
- George, M. L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality With Lean Speed* (1. bs.). New York: The McGraw-Hill Companies.
- Guleria, P., Pathania, A., Sharma, S., Sá, J.C. (2021). Lean six-sigma implementation in an automobile axle manufacturing industry: A case study. *Materials Today: Proceedings*, 50(2022), 1739–1746.
- Guleria, P., Pathania, A., Shukla, K.R., Sharma, S. (2021). Lean six-sigma: Panacea to reduce rejection in gear manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 46(2021), 4040–4046.
- Karabulut, M., Kumru, P.Y., Onursal, F.S. (2020). Altı Sigma Yaklaşımı Ve Tekstil Sektöründe Bir Uygulama. *Beykoz Akademi Dergisi*, 8(1), 1-19.
- Kaygusuz, Y. (2017). Yalın Altı Sigma Ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulama. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa, 484196.
- Krishna Priya, S., Jayakumar, V., Suresh Kumar, S. (2019). Defect analysis and lean six sigma implementation experience in an automotive assembly line. *Materials Today: Proceedings*, 22(2020), 948–958.
- Kwak, Y. H., Anbari, F.T. (2006). Benefits, Obstacles And Future Of Six Sigma Approach. *Technovation Journal*, 26(1), 708-715.
- Lopes, I.S., Costa, J.P., Brito, J.P. (2019). Six Sigma application for quality improvement of the pin insertion process. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 1592-1599.
- Pande, P. S., Neuman, R. P., Cavanagh, R. N. (2003). *Six Sigma Yolu* (1. bs.). İstanbul: Klan Yayınları.
- Petek, E. (2020). Bir İmalat Prosesinde Altı Sigma Proje Metodolojisinin Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 635484.
- Polat, A. (2005). Altı Sigma Forum. *Yerel Süreli Yayın*, 3, Yıl: 1, Nisan – Mayıs – Haziran 2005, Ankara, 33 – 36 - 62.
- Pugna, A., Negrea, R., Michela, S. (2016). A Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221(2016), 308 – 316.

- Silva, F.J.G., Costa, T., Pinto Ferreria, L. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. *Procedia Manufacturing*, 13(2017), 1104-1111.
- Singh, M., Rathi, R., Verma, A.K., Gurjar R.S., Singh A., Samantha B. (2021). Identification Of Lean Six Sigma Barriers In Automobile Part Manufacturing Industry. *Materials Today: Proceedings*, 50(2022), 728–735.
- Swarnakar, V., Singh, A.R., Tiwari, A. (2020). Effect Of Lean Six Sigma On Firm Performance: A Case Of Indian Automotive Component Manufacturing Organization. *Materials Today: Proceedings*, 46(2021), 9617–9622.
- Şenkaya, S. (2019). Otomotiv Sektöründe Tedarikçi Üretim Sürecinin 6 Sigma Yaklaşımı İle İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 612222.
- Tanusha, P., Jyothilakshmi, J., George, R. (2021). An experimental study based on Six Sigma approach to optimize chip formation in machining. *Materials Today: Proceedings*, 54(2022), 378-385.
- Uluskan, M. (2019). Süreç Yeterlilik Analizinin Genişletilmiş Kaizen Yöntemine Entegrasyonu: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3), 165-183.
- URL-1: <https://www.educore.com.tr/surec-yonetimi-temel-bilgileri/>, (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2022).
- URL-2: <https://sigmacenter.com.tr/iso-90012015-standardinda-proses-yaklasimipukodongusu-iliskisi/>, (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2022).
- URL-3: <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/histogram>, (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2022).
- URL-4: <https://www.statology.org/pareto-chart-google-sheets/>, (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2022).
- URL-5: <https://cerenbandirma.com/2014/08/26/problemin-sonucunu-degil-nedenini-ogren/>, (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2022).
- URL-6: <https://goleansixsigma.com/dmaic-five-basic-phases-of-lean-six-sigma>, (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2022).
- URL-7: <http://informdanismanlik.com/?services=insurance-sector>, (Ziyaret tarihi: 24 Mayıs 2022).
- Yalçın, A., Günday, R. (2020). Yalın Altı Sigma Metodu ve Bankacılık Sektöründe Uygulanması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2020), 188-209.

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

**Turgut M.**, Esen H., Otomotiv Yan Sanayiinde RULA Yöntemi Kullanılarak Çalışma Duruş Ve Hareketlerinin Analizi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, 26-28 Nisan 2019.

**Turgut M.**, Orhan S., Avcı S., Aladağ Z., İç Ve Dış Faktörlerin Banka Etkinlikleri Üzerindeki Rolünün Veri Zarflama İle Analizi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, 26-28 Nisan 2019.



## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2014 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2018 yılında bölüm ikinciliği derecesiyle mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Mayıs 2019 - Ekim 2020 yılları arasında petrol ve gaz sektöründe, Ekim 2020 - Mart 2021 yılları arasında demir-çelik sektöründe planlama uzmanı olarak çalıştı. 2021 Mart ayından beri otomotiv sektöründe hizmet veren bir firmada Kalite Mühendisliği görevini sürdürmektedir.

