

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ELEKTRONİK KART ÜRETİMİ YAPAN BİR FİRMADA ALTI
SİGMA UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

CANSU ÖNDEMİR HAZİR

ANKARA - 2020

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ELEKTRONİK KART ÜRETİMİ YAPAN BİR FİRMADA ALTI
SİGMA UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

CANSU ÖNDEMİR HAZİR

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ PELİN TOKTAŞ

ANKARA - 2020

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Cansu ÖNDEMİR HAZİR tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 30 / 01 / 2020

Tez Adı: Elektronik Kart Üretimi Yapan Bir Firmada Altı Sigma Uygulamaları

Tez Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Özlem Müge Aydın Testik (Başkan) – Hacettepe Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Pelin Toktaş (Danışman) – Başkent Üniversitesi

Doç. Dr. Gülin Feryal Can – Başkent Üniversitesi

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk Elaldı
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrencinin Adı, Soyadı : Cansu Öndemir Hazır

Öğrencinin Numarası : 21310117

Anabilim Dalı : Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı : Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi / Pelin Toktaş

Tez Başlığı : Elektronik Kart Üretimi Yapan Bir Firmada Altı Sigma Uygulamaları

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam sayfalık kısmına ilişkin, / / 20... tarihinde tez danışmanım tarafından adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

Onay

... / ... / 20...

Dr. Öğr. Üyesi / Pelin TOKTAŞ

TEŐEKKÜR

Bu alıŐma s¼recimde bana inanan ve destekleyen, fikir ve önerileri ile yol gösteren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Pelin TOKTAŞ'a,

BaŐta müdürüm Sn. S. Oğuzhan ÖZKAN olmak üzere teknik anlamda bana her türlü destek sağlayan, bilgi ve tecrübesini esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma,

Hayatımın her anında olduğu gibi, bu çalışma sürecinde de hep yanımda olan, benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen ailem ve eŐime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Cansu ÖNDEMİR HAZIR

ELEKTRONİK KART ÜRETİMİ YAPAN BİR FİRMADA ALTI SİGMA UYGULAMALARI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı

2020

Günümüzde, gelişen teknoloji ve ülkeler arasındaki sınırların yavaş yavaş ortadan kalkmasıyla birlikte her sektörde dünya çapında bir küresel rekabet ortamı oluşmuştur. Artan ve ağırlaşan bu rekabet ortamında firmaların karlılık oranlarını artırmaları güçleşmiş hatta mevcut karlılıklarını koruyarak ayakta kalmaları için çeşitli önlemler almaları zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle firmalar müşteri memnuniyetini artırmaya yönelmiş ve bu yönde çalışmalar yapmaya başlamıştır.

Bu tez çalışmasında, yüzey monte teknolojisi (Surface Mount Technology-SMT) ile elektronik kart üreten bir firmada müşteri memnuniyeti ve karlılık oranını artırmak için kartlarda oluşan hataları azaltmak üzere alınabilecek önlemler incelenmiştir. Hataların kök nedenlerinin tespit edilerek gerekli çalışmaların yapılabilmesi için Altı Sigma metodolojisi ve araçları kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, üretimde kullanılan cihazların bakım ve kalibrasyon işlemleri incelenmiştir. İkinci aşamada yapılan bir deney tasarımı çalışması ile üretilen elektronik kartlarda ortaya çıkan hatalarda etkili olan lehim markalarının, fırının en yüksek sıcaklığının ve fırının konveyör hızının en iyi değerleri belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Altı Sigma, SMT, Baskılı Devre Kartı, Elektronik Kart Üretimi.

ABSTRACT

Cansu ÖNDEMİR HAZİR

SIX SIGMA APPLICATIONS IN A COMPANY PRODUCING ELECTRONIC CARDS

Başkent Üniversitesi Institute of Science and Technology

Department of Quality Engineering

2020

Today, with the developing technology and the gradual disappearance of the borders between countries, a global competitive environment has been created in every sector. In this increasing and aggravating competitive environment, it has become difficult for firms to increase their profitability rates and even take to survive while preserving their existing profitability so they must take various precautions. For this reason, companies have tended to increase customer satisfaction and started to work in this direction.

In this thesis, the measures that can be taken to reduce errors, to increase customer satisfaction and profitability rate in a company producing electronic cards with Surface Mount Technology (SMT) have been examined. Six Sigma methodology and its tools were used to determine the root causes of errors and to perform necessary studies. In the first stage of the study, maintenance and calibration processes of the devices used in production were examined. In the second stage, the best values of solder brands, the highest temperature of the oven and the conveyor speed of the oven were determined, which are effective in the errors that occur in electronic cards by an experimental design study.

KEYWORDS: Six Sigma, SMT, Printed Circuit Board, Electronic Card Production

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2
2. ALTI SİGMA	6
2.1. Altı Sigma Nedir?	6
2.2. Altı Sigma'nın Sınıflandırılması	8
2.2.1. Metrik olarak altı sigma	9
2.2.2. Metodoloji olarak altı sigma	10
2.2.3. Yönetim sistemi olarak altı sigma	11
2.3. Altı Sigmanın Tarihsel Gelişimi	11
3. ALTI SİGMA METODOLOJİSİ	14
3.1. Altı Sigma Metodolojisinin Temel Kavramları	14
3.1.1. Spesifikasyon ve kontrol limitleri	14
3.1.2. Değişkenlik (varyasyon)	15
3.1.3. Sigma seviyesi	16
3.1.4. Süreç yaklaşımı	17
3.1.5. Milyon başına hata (defects per million opportunities-DPMO)	18
3.2. Altı Sigma'da Roller/Kuşaklar	19
3.2.1. Sponsor/şampiyon	21
3.2.2. Uzman kara kuşak (UKK)	21

3.2.3. Kara kuşak (KK).....	22
3.2.4. Yeşil kuşak (YK)	23
3.2.5. Sarı kuşak (SK)	23
3.3. Altı Sigma Metodolojisinin Fazları.....	23
3.3.1. Tanımlama fazı.....	25
3.3.1.1. Proje beyanı	25
3.3.1.2. Detaylı süreç analizi (supplier input process output customer- SIPOC).....	25
3.3.1.3. Süreç şeması	26
3.3.1.4. Sebep-sonuç diyagramı	26
3.3.1.5. Müşterinin sesi (voice of customer-VOC)	26
3.3.1.6. Kritik kalite karakteristiği (KKK).....	27
3.3.1.7. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA).....	27
3.3.1.8. Sebep sonuç matrisi (SSM)	27
3.3.1.9. Pareto grafiği.....	28
3.3.2. Ölçme fazı	28
3.3.2.1. Ölçüm sistemi yeterlilik analizi	28
3.3.2.2. Süreç yeterliliği	29
3.3.3. Analiz fazı	29
3.3.4. Geliştirme fazı	30
3.3.5. Kontrol fazı.....	30
4. BİR ELEKTRONİK FİRMASINDA ALTI SİGMA UYGULAMASI.....	31
4.1. Firma Tanıtımı ve Altı Sigma Projesi için Süreç Seçimi.....	31
4.1.1. Elektronik kart üretiminde kullanılan teknoloji ve kavramlar.....	32
4.1.2. Firmanın elektronik kart üretim faaliyetleri.....	34
4.1.3. Firmada altı sigma projesinin yapılacağı üretim sürecinin seçimi.....	35
4.2. Firmada Altı Sigma Çalışmaları.....	37

4.2.1. Tanımlama fazı.....	38
4.2.1.1. Proje beyanı	38
4.2.1.2. Detaylı süreç analizi (supplier input process output customer-SIPOC).....	40
4.2.1.3. Müşterinin sesi (voice of customer-VOC)	42
4.2.1.4. Sebep sonuç matrisi (SSM)	43
4.2.2. Ölçme fazı	44
4.2.2.1. Ölçüm sistemi analizi (Gage R&R).....	44
4.2.2.2. Süreç yeterliliği analizi.....	47
4.2.3. Analiz fazı	50
4.2.4. Geliştirme fazı	51
4.2.4.1. Üretim cihazları ve personeller ile ilgili iyileştirme çalışmaları.....	52
4.2.4.2. Deney tasarımı çalışması.....	53
4.2.5. Kontrol fazı.....	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	67
EKLER	

EK 1: Sebep Sonuç Matrisi

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Sigma seviyesi- kalitesizlik maliyeti ilişkisi.....	17
Tablo 3.2. DPMO-sigma seviyesi dönüşüm tablosu.....	18
Tablo 4.1. SIPOC tablosu.....	41
Tablo 4.2. VOC tablosu	42
Tablo 4.3. Belirlenen hata kaynakları ve yapılan çalışmalar.....	50
Tablo 4.4. Deney tasarımı faktörleri.....	53
Tablo 4.5. Deney tasarımı sonucu oluşturulan deneyler listesi.....	53
Tablo 4.6. Yapılan deneyler sonucunda kartlarda oluşan hata miktarları.....	54
Tablo 4.7. Faktörlerin etki analizi.....	55
Tablo 4.8. Modelde etkili faktörler.....	56
Tablo 4.9. Artık değerler tablosu.....	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Standart normal dağılım	7
Şekil 2.2. Yönetim sistemi, metodoloji ve metrik olarak Altı Sigma.....	9
Şekil 2.3. Sigma-DPMO çizelgesi.....	10
Şekil 3.1. Ortalaması $1,5 \sigma$ kaydırılan bir sürece ait ASL,ÜSL,AKL,ÜKL grafiği.....	15
Şekil 3.2. Süreç girdi ve çıktıları	17
Şekil 3.3. Altı Sigma kuşaklarına ait hiyerarşi	20
Şekil 3.4. TÖAGK Döngüsü	24
Şekil 3.5. SIPOC yapısı	25
Şekil 4.1. Elektronik kart örneği	32
Şekil 4.2. Bacaklı bileşen örneği.....	33
Şekil 4.3. Yüzey monte bileşen örnekleri	33
Şekil 4.4. Elektronik kart üretim alanları etkileşimi.....	35
Şekil 4.5. Üretim bölümleri kaynaklı müşteri iadeleri oranları	35
Şekil 4.6. Ürünlere ait hata sayısı grafiği	37
Şekil 4.7. Projenin organizasyon yapısı	39
Şekil 4.8. SSM sonucu hata kaynağı analizi	44
Şekil 4.9. AOI operatörleri için yapılan Gage R&R çalışması sonucu	45
Şekil 4.10. İşbaşı eğitimi sonrası yapılan Gage R&R çalışmasının sonucu	46
Şekil 4.11. Süreç yeterlilik analizi verileri normal dağılım test sonucu	47
Şekil 4.12. İyileştirme öncesi süreç yeterlilik analizi sonucu	48
Şekil 4.13. Ü40 ürünü hata türü analizi	49
Şekil 4.14. Tüm faktörlerin etkileşim grafikleri.....	55
Şekil 4.15. Faktörlerin çıktı üzerindeki etki analizi	57
Şekil 4.16. Faktörlerin tekli etkileşim grafiği	57
Şekil 4.17. Konveyör Hızı*Lehim Markası etkileşim grafiği.....	58
Şekil 4.18. Artık değerlerin analiz grafikleri	60
Şekil 4.19. Deneme üretimi sonrası hata türü dağılımı	61
Şekil 4.20. İyileştirme sonrası süreç yeterlilik analizi.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AKL	Alt Kontrol Limiti
AOI	Otomatik Optik Kontrol Cihazı (Automatic Optic Inspection)
ASL	Alt Spesifikasyon Limiti
BDK	Baskılı Devre Kartı
(<i>C_p</i>)	Yetenek İndeksi
(<i>C_{pk}</i>)	Süreç Performansı İndeksi
DPMO	Milyon Başına Hata (Defects Per Million Opportunities)
FMEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analysis)
GE	General Electric
KK	Kara Kuşak
MSA	Ölçüm Sistemi Analizi (Measurement System Analysis)
ODB	Otomatik Dizgi Bölümü
SIPOC	Detaylı Süreç Analizi (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers)
SK	Sarı Kuşak
SMT	Yüzey Monte Teknolojisi (Surface Mount Technology)
SSM	Sebepler Sonuç Matrisi
TÖAGK	Tanımlama, Ölçme, Analiz Etme, Geliştirme ve Kontrol
UKK	Uzman Kara Kuşak
ÜKL	Üst Kontrol Limiti
ÜSL	Üst Spesifikasyon Limiti
VOC	Müşterinin Sesi (Voice of Customer)
VIF	Varyans Şişirme Faktörü
YK	Yeşil Kuşak
σ	Sigma

1. GİRİŞ

Karlılık, bir işletmenin başarısını ortaya koyan en önemli göstergelerden birisidir. Bir işletmenin yüksek kar sağlayabilmesi için de, satışlarının fazla olması ve düşük maliyetle üretim yapması gerekmektedir. Satışlarının fazla olması da, yüksek kaliteyi uygun fiyat ile sunabilme yeteneğine bağlıdır. Kaliteyi arttırmak ve maliyeti düşürmek, bir işletmenin en önemli hedeflerinden birisidir [1].

1980'lerde, çoğu firma kaliteli ürün üretmenin çok maliyetli olduğunu düşünmekteydi. O dönemlerde, Motorola bunun tam tersine inanmış ve yüksek kaliteli bir ürünün müşteri memnuniyetini artırıp üretim maliyetlerini azaltarak daha yüksek karlılık sağlayacağını tüm dünyaya göstermiştir. Günümüzde de birçok işletmede müşteri memnuniyeti öncelik olarak görülmektedir. Müşteri memnuniyetini sağlayabilme, yüksek karlılık yeteneği anlamına da gelmektedir [2]. Müşteri memnuniyeti, karlılık ve kaliteli ürün kavramları birbirleri ile yakından ilişkili olarak görülmektedir.

Tüm dünyada rekabet arttıkça, yüksek müşteri memnuniyeti dolayısıyla yüksek karlılık oranına ulaşmak isteyen üretim ve hizmet firmalarının, yenilikçi, üretken, verimli ve en önemlisi yüksek kaliteli ürünler/hizmetler ortaya koymaları konusunda da baskı gün geçtikçe artmaktadır. Firmaların bu rekabet ortamında yalnızca yüksek karlılık için değil, iş dünyasında ayakta kalabilmeleri için de, yüksek kalite kavramını benimsemeleri gerekmektedir. Bu nedenle günümüzde, üretim ve hizmet kuruluşlarının kaliteyi nasıl yönetebileceğini ve devam ettirebileceğini öğrenmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Zorlu iş ortamında, kapsamlı bir kalite politikasının geliştirilmesi ve uygulanması firmalar için bir seçenek değil, şart olmuştur [3]. Bu çerçevede, üretim kuruluşları, maliyetleri azaltmak için daha az kaynakla üretim hacmini arttırmaya çalışırken, ürün kalitesini de iyileştirmeyi hedeflemektedir. Hizmet kuruluşlarının ise, çevrim sürelerini azaltarak müşteri memnuniyetini arttırmaları gerekmektedir [4].

Firmalar istenilen kalite seviyesine ulaşabilmek için kalite sistemlerinin yanı sıra sistematik bir problem çözme yaklaşımı ile kaliteyi artırarak müşteri memnuniyetini sağlamak durumundadır. Bunun için dünyada birçok firma iş süreci geliştirme ve iyileştirme aracı olan Altı Sigma metodolojisini benimseyerek uygulamaya başlamışlardır [2]. Altı Sigma, kaliteyi etkili bir şekilde artıracak ve maliyeti düşürecek yeni bir kurumsal mükemmellik girişimi olduğu için iş dünyasında büyük ilgi görmektedir [1].

Bu çalışmada, elektronik sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın elektronik kart üretim süreçlerinde iyileştirme çalışmaları yapılarak ürün kalitesi ve müşteri memnuniyeti oranlarının artırılması, üretim maliyetlerinin ise azaltılması hedeflenmiştir.

Yapılan araştırmalarda, Altı Sigma metodolojisinin, yalnızca bir süreç iyileştirme yöntemi olmadığı, aynı zamanda firma kültürünü de değiştiren ve tüm çalışanların sürekli iyileşme odaklı bakış açısına sahip olmalarını sağlayan bir yönetim sistemi olduğu görülmüştür. Bu nedenden dolayı, yapılacak olan çalışmaların sürekli olması ve tüm firmada yaygınlaştırılabilmesi için süreç iyileştirme çalışmalarında Altı Sigma metodolojisi kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümü Altı Sigma kavramının amacı ve tanıtımı ile literatür çalışmasından oluşmaktadır. İkinci bölümde, Altı Sigma kavramı ve tarihsel gelişimi hakkında bilgiler verilecek olup üçüncü bölümde Altı Sigma metodolojisinin en çok kullanılan kavramları ve iyileştirme araçlarından bahsedilerek fazları anlatılmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise, elektronik kart üretimi yapan bir firmada uygulanan Altı Sigma çalışması anlatılmıştır. Beşinci bölümde de çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmış, firmaya yapılan önerilerle çalışma sonlandırılmıştır.

1.1. Literatür Araştırması

2016 yılından itibaren yapılan literatür araştırmasında, farklı sektörler için gerçekleştirilen Altı Sigma çalışmalarının çok sayıda yer aldığı; elektronik kart üretim süreci ile ilgili çalışmaların diğer sektörlerle göre daha az sayıda olduğu görülmüştür.

Elektronik kart üretim süreci ve farklı süreçler için literatürde yer alan Altı Sigma çalışmalarının özetleri aşağıda sunulmaktadır.

Yang vd., [5] elektronik kart üretiminde; yüzey monte teknolojisi (Surface Mount Technology - SMT) kullanan süreçlerdeki cihazların arıza oranını azaltmak için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, SMT cihazlarındaki lehim ekleme hatalarını analiz etmek, temel kalite özelliklerini belirlemek ve iyileştirme odak noktası olarak SMT üretim sürecini temel olarak etkileyen faktörleri bulmak için Altı Sigma metodolojisi kullanılmıştır. Sonuçta, fırın sıcaklık eğrisinin iyileştirilmesi, lehim pastasının değiştirilmesi, manuel yama ve baskılı devre kartı çözgü sonrasında SMT cihazlarının arıza oranının büyük ölçüde azalttığı görülmüştür.

Teik vd., [6] SMT ile üretilen elektronik kartlardaki çoğu lehim hatasının lehim sürme süreci kaynaklı olduğunu belirterek, bu süreci Altı Sigma metodolojisi ile iyileştirmeye çalışmışlardır. Çalışmada lehim sürme sürecinde etkili birçok parametre olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmanın sonunda, lehim sürme sürecinin benzetimini yapabilecek bir yöntem önererek kullanıcıların bu süreçte etkili olan parametreler için en iyi kombinasyonu elde etmeleri hedeflenmiştir.

Nascimento vd., [7] bir televizyon modelinde kullanılmak üzere SMT ile üretilen elektronik kartların çevrim süresini azaltmak için bir çalışma yapmışlardır. Kart modeli değişiminde cihaz kurulumlarında yaşanan gecikme nedenlerini analiz edip iyileştirme yapabilmek için Altı Sigma Metodolojisi, değer akışı haritalaması ve Ishikawa Neden – Sonuç diyagramından yararlanmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda SMT sürecindeki cihazları tekrar programlayıp kurulum işlemlerini standartlaştırmışlardır. Daha kaliteli ve daha kısa sürede makinelerin beslenmesini sağlayarak 80 dk'dan uzun olan çevrim süresini 40 dk'ya indirmeyi başarmışlardır.

Sanusi vd., [8] elektronik kart üretim sürecindeki lehim baskı ve montaj makineleri kaynaklı oluşan hataları azaltmak için yaptıkları çalışmada, Taguchi deney tasarımı ve Altı Sigma yöntemlerini bir arada kullanmıştır. Çalışma sonucunda, lehim baskı sürecinin 3,93 olan σ seviyesinin 4,12, montaj makineleri için 3,63 olan σ seviyesinin ise 4,23'e yükselmiştir.

Dağlıoğlu vd., [9] tarafından klinik laboratuvar süreçlerini iyileştirebilmek için yapılan çalışmada, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi-Merkezi Laboratuvarı'nda oluşan hataların sınıflandırılması, kök nedenlerinin belirlenmesi ve yöntem performanslarının değerlendirilmesi için Altı Sigma metodolojisinden yararlanılmıştır. Veri toplama yöntemi olarak müşteri memnuniyet anketleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan düzeltici faaliyetler ile hasta sağlığına olumsuz etkileri olan hatalar giderilmiş ve hasta memnuniyetine uygun iç kalite kontrol kuralları belirlenmiştir. Ayrıca kaliteli hizmetin bir maliyeti olmasına karşın kalitesizlik maliyetleri de azaltılmıştır. Laboratuvarın performansı evrensel ölçütlere göre hesaplanarak, dünyadaki diğer klinik laboratuvarlarla kıyaslanmıştır. Yapılan performans karşılaştırmasına göre, söz konusu laboratuvarın evrensel performans ölçütlerinin 4-5 puan üzerinde olması evrensel kalite standartlarında hizmet verdiğini göstermiştir.

Avunduk vd., [10] içecek şişeleme sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın üretim süreçlerinde enerji kullanımını azaltmak için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma

kapsamında, süreçlerdeki enerji kullanım miktarlarının analiz edilmesi, mevcut durumun ortaya konması ve iyileştirilmesi için Altı Sigma fazları olan tanımlama, ölçme, analiz etme, geliştirme ve kontrol adımları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, en çok enerjinin pet şişeleme makinesinde tüketildiği belirlenmiş ve yapılan iyileştirme çalışmaları ile 150.000 TL'lik tasarruf sağlanmıştır.

Yazıcı vd., [11] bir lojistik firmasında müşteriden gelen iade miktarlarının azaltılması amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, Altı Sigma metodolojisi kullanılarak pareto analizi, neden sonuç diyagramı, hata türü ve etkileri analizi (HTEA) yöntemi gibi kalite araç ve yöntemlerinden yararlanılmıştır. Çalışmanın sonucunda başlangıçta 0,0007 iade oranının hedeflenen 0,0002 değerine düşürülmesi için düzeltici faaliyet önerilerinde bulunulmuştur.

Senger vd., [12] hizmet sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin Altı Sigma felsefesi ile süreçlerindeki hataların en aza indirilmesi ve hizmet kalitesinin yükseltilmesi için bir çalışma yapmıştır. Altı Sigma'nın adımları aracılığıyla işletmenin mevcut durumu analiz edilmiş ve sigma seviyesi ölçülmüştür. Yapılan analizler ışığında, işletmenin süreçlerindeki hataların ortadan kaldırılmasını sağlayacak iyileştirmeler yapılmış ve bu hataların azaldığı görülmüştür.

Altı Sigma yöntemi, üretim sektöründe elde edilen başarılar sonrasında hizmet işletmelerinde de uygulanmak üzere geliştirilmiştir. Ancak, hizmet işletmelerinde uygulanmasında bazı farklılıklar meydana geldiği görülmüştür. Hizmet sektöründe performans ve kalitenin ölçülmesi, hataların tespit edilmesi, sigma seviyelerinin belirlenmesi gibi birçok işlemin üretim sektörüne göre daha zor olduğu görülmüştür. Bu hesaplama zorluğunun, hizmetin yapısal özelliklerinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Hizmetin soyut olması, heterojen olması, üretildiği anda tüketilmesi, dayanıksız olması gibi özelliklerinden dolayı üretim sektöründe elde edilen verilere ve ölçümlere kolay ulaşamadığı öne sürülmektedir.

Çağlar vd., [13] savunma sanayi sektörü için üretim yapan bir firmada süreç yeterliliğini artırmak için Altı Sigma çalışması yapmıştır. Yürütülen çalışmada, detaylı süreç diyagramları, ölçüm sistemleri analizi, hipotez testleri, kök neden analizi gibi yöntemler kullanılarak kalitesizliğe neden olan kaynaklar belirlenmiştir. Tespiti yapılan temel sorunlar üzerinde iyileştirmeler yapılarak sürecin hedeflenen yetenek indeksi (C_p) ve süreç performans indeksi (C_{pk}) değerlerine ulaşılması sağlanmıştır.

Devecioğlu vd., [14] yaptıkları çalışmada spor sektörü içerisinde faaliyet gösteren tüm organizasyonlar, kurum ve kuruluşların kalite anlayışı içerisinde değerlendirilmesi gerektiğini öne sürmüşlerdir. Böylece bahsi geçen spor kuruluşlarının müşteri beklentilerinin karşılandığı, pazar paylarının arttığı ve aynı zamanda sporda kalitenin st düzeye ulaşacağı belirtilmiştir. Betimsel tarama yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada, imalat ve hizmet sektörlerinde gerçekleştirilen çok sayıda uygulamada başarısı kanıtlanan Altı Sigma metodolojisinin spor sektöründe de uygulanabilirliği gösterilmiş ve gerekliliği değerlendirilmiştir.

Sharma vd., [15] otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin sürecini iyileştirmek, hata miktarlarını azaltmak ve Altı Sigma kalite seviyesine ulaştırmak için sistematik ve disiplinli bir yaklaşımı nasıl kullanabileceğini araştırmıştır. Yapılan Altı Sigma alışmaları sonucunda, sigma seviyesinin 2,67 sigmadan 4,11 sigmaya yaklaştığı, süreç veriminin %87,8'den %99,6'ya yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca Altı Sigma metodolojisinin şirketin performansını ve müşteri memnuniyetini artırdığı görülmüştür. Tespit edilen hataları ve kusurları azaltmak amacıyla sürecin yeniden tasarlanması gerektiğine veya süreçte düzenleme yapmak için de, bazı yöntemlerin geliştirilmesinin gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Literatür araştırması sırasında, SMT kullanılan elektronik kart üretim süreçlerinde Altı Sigma uygulamalarının genellikle montaj ve lehim süreçleri üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Bu çalışmada, lehim ve montaj süreçlerinin yanı sıra SMT sürecinin bir diğer kritik adımı olan fırın süreci de çalışmaya dahil edilmiştir.

2. ALTI SİGMA

Çalışmanın bu bölümünde, Altı Sigma hakkında genel bilgiler verilecek olup sonrasında sınıflandırılması ve tarihsel gelişiminden bahsedilecektir.

2.1. Altı Sigma Nedir?

Altı sigma; stratejik sistem iyileştirme ve müşteri tarafından tanımlanan hata oranlarında ve/veya önemli çıktı değişkenliklerinde önemli düşüşler yapmak için, istatistiksel ve bilimsel yöntemlere dayanan, yeni ürün ve hizmet geliştirilebilmesi için organize ve sistematik bir problem çözme yöntemidir [16]. Değişkenlik ve hataların nedenlerini en aza indirerek, süreç çıktılarındaki kaliteyi iyileştirmek için tasarlanan bir stratejidir. Maliyetleri azaltmak ve kaliteyi artırmak için istatistiksel uygulamalara yoğun bir şekilde odaklanmaktadır [17]. Süreçler hakkında zor sorular sorarak çözümler sunmaktadır. Bu şekilde, fazla olan değişkenliği ortadan kaldırır, iş kültürlerini değiştirir, daha yüksek verimlilik, kârlılık ve müşteri memnuniyeti oranlarının yakalanıp sürdürülebilmesi için ihtiyaç duyulan altyapıyı oluşturur [18]. Müşterinin talep ve beklentilerini vurgulayarak ve istatistiksel analiz araçlarını kullanarak iş performansını iyileştirmeye yönelik disiplinli, veriye dayalı bir yöntem ve süreç oluşturulmasını sağlar [19].

Altı Sigma, süreç odaklı bir yaklaşımdır. Temel özelliği; ürün kalitesinden çok süreç kalitesinin iyileştirilmesine odaklanmasıdır. Altı Sigma ile süreçleri istenen noktaya ulaştırmanın temeli; süreç iyileştirmede kullanılan geleneksel yöntemlerden farklı araçlar kullanılması ve süreç çıktılarının süreç girdileri ile ifade edilebilmesidir [20].

Bir milyon fırsatta 3,4'ten fazla kusura yol açmayacak, yarı mükemmel üretim süreçleri üretmeyi amaçlayan Altı Sigma; titiz, veriye dayalı bir metodolojidir. Veri odaklı bir yaklaşım olduğu için istatistiksel analizlere dayanır.

Altı Sigma çalışmaları, işletmelerde projelendirilerek yönetilir. İşletmelerde, iyileştirme fırsatları bulunan alanlar belirlenir ve gerekli iyileştirmeleri belirleyerek hayata geçirebilmek için proje haline getirilir. Projeler yapılırken, Tanımlama, Ölçme, Analiz Etme, Geliştirme ve Kontrol (TÖAGK) adımlarından oluşan bir model izlenmektedir. TÖAGK'ın her adımında belirli araçlar kullanılır ve bu araçların çoğu istatistikselidir [21].

Honeywell CEO'su Dave Cote [20, s. 15] Altı Sigma'yı şu şekilde tanımlamıştır;

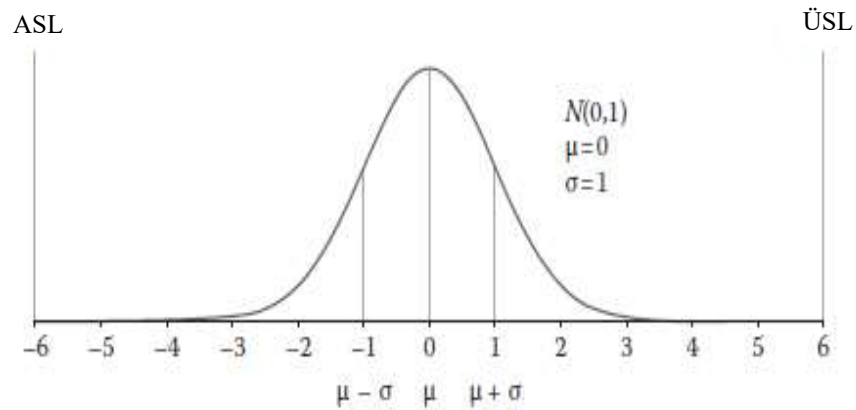
“Altı Sigma, içerisinde kuvvetli araçların bulunduğu bir teknik program gibi düşünülse de, aslında bütününde yönetsel ve kültürel bir değişim programıdır.”

Motorola başkanı Robert W. Galvin [20, s. 15] Altı Sigma için aşağıdaki tanımlamayı yapmıştır;

“Eğer değişkenliği kontrol edebiliyorsanız, tüm parça ve süreçlerinizde sıfır hataya, Altı Sigma düzeyine ulaşabilirsiniz. Motorola çalışanları bu terminolojiye sıkı sıkı sarılmıştır. Değişkenlerinizi kontrol edebildiğiniz takdirde çarpıcı iş sonuçlarına ulaşabilirsiniz.”

Sigma (σ), Yunan alfabesinin bir harfidir. Aynı zamanda, süreç varyasyonunun hem sembolü hem de ölçüsüdür. Bir sistemin çıktılarındaki hata oranı milyonda 3,4 ise, o sistem 6σ seviyesinde olarak görülmektedir [22]. Altı Sigma, çıktılarının ortalaması ile en yakın üst spesifikasyon limiti (ÜSL) ve alt spesifikasyon limiti (ASL) arasındaki “altı standart sapma” ile ölçüldüğü gibi bir süreçteki hataları veya maliyetleri azaltmayı hedefleyen veri odaklı bir yaklaşım olarak da tanımlanır. Bir sürecin “Altı Sigma” sınırları içinde tanımlanması milyon fırsat başına 3,4'ten az kusur ürettiği anlamına gelmektedir. Bu % 0,0003 hata oranını temsil eder; aynı zamanda bu değer; % 99,9997 oranında hatasız çıktı üretilmesi anlamına gelmektedir [3].

Şekil 2.1'de verilen standart normal dağılım eğrisi için ortalama $\mu = 0$ ve standart sapma $\sigma = 1$ 'dir. ASL ve ÜSL ortalamanın 6 sigma uzağındadır. Normal dağılımın özellikleri nedeniyle, ortalamadan çok uzakta olan değerler son derece düşüktür. Ortalama, 1,5 sigma sağa veya sola hareket etse bile (1,5 sigma kayması), sistem hala güvenli bölgede demektir [23].



Şekil 2.1 Standart normal dağılım [23]

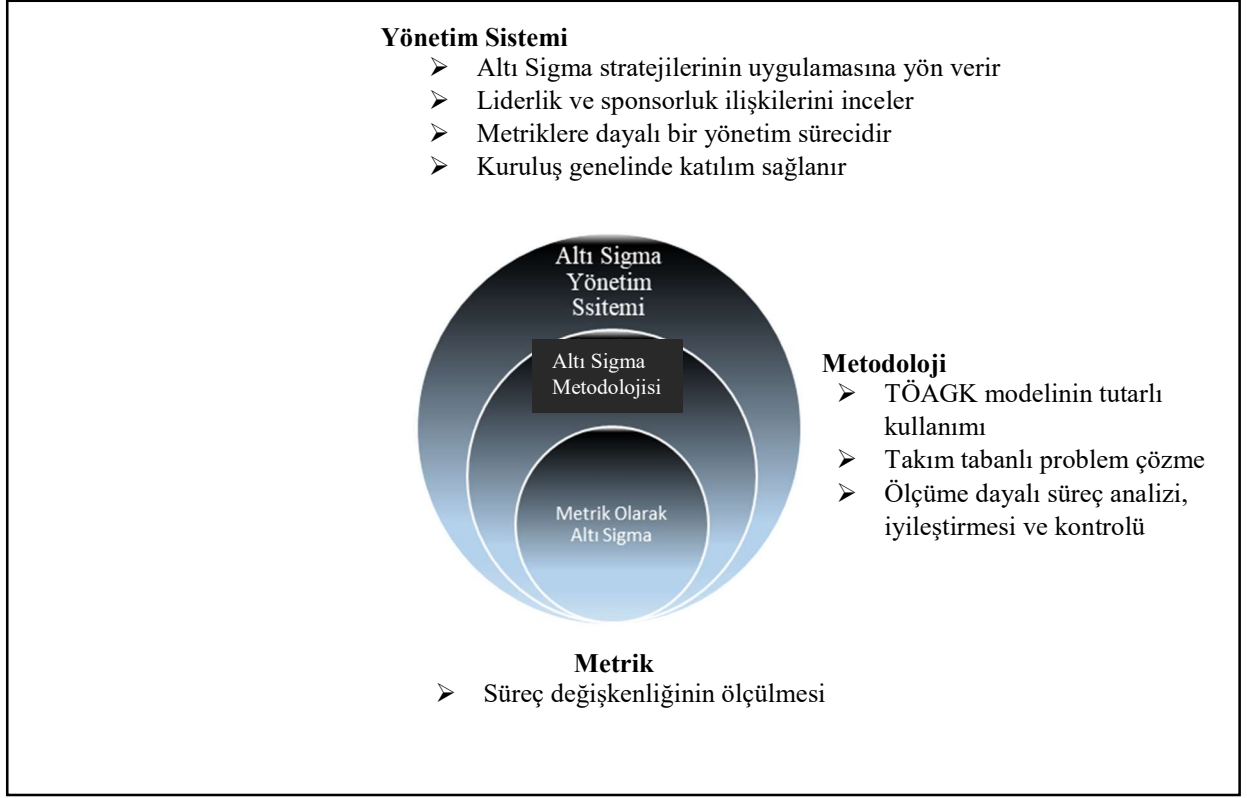
Birçok firma, Altı Sigma yaklaşımını uygulamaya başladıktan sonra mali açıdan önemli iyileşme sağlamıştır. General Electric (GE), Altı Sigma ile yaptığı iyileştirme çalışmaları sonrasında, 1998 yılında 350 milyon dolar tasarruf etmiştir. İyileştirme çalışmalarına devam eden GE, sonraki 5 yıl içinde ise 12 milyar dolar tasarruf ettiğini açıklamıştır. 2005 yılında Motorola, yıllardır uyguladığı Altı Sigma metodolojisi ile 17 milyar doların üzerinde, Honeywell (AlliedSignal) ise 1 yılda 800 milyon dolardan fazla tasarruf ettiklerini açıklamışlardır [19].

Altı Sigma yaklaşımı ilk ortaya çıktığında çok sayıda başarının yanında başarısızlıklarla da sonuçlanmıştır. En yaygın başarısızlık nedenleri; gerçek süreç iyileştirme çalışmaları için yönetimin taahhüdünün eksikliği ve işletmelerin süreç iyileştirme araçlarını iyi ve etkin bir şekilde kullanacak personeller yerine çok sayıda siyah kuşak personel eğitmesi olmuştur. İlk zamanlarda birçok yönetici kısa sürede en iyi sonucu alabilmek için danışmanlarla çalışma kararı almıştır. Danışmanlarla yürütülen çalışmalar başarıyla sonuçlanmış ve getirisi yüksek olmuş fakat danışmanlar ile yapılan anlaşmalar bittiğinde, firmada süreç iyileştirme araçlarını kullanabilen çok az insan olduğu görülmüştür. Bu nedenle yapılan iyileştirmeler kalıcı olamamıştır. Tüm bu tecrübelerden sonra; bir Altı Sigma projesinin başarılı olması için yapılması gereken 2 temel unsurun olduğu görülmüştür. Bunlar; yaklaşımı iyi anlayan, tüm araçlarını iyi kullanabilen personellerin yetiştirilmesi ve Altı Sigma'nın bir işletme kültürü olarak benimsenmesini sağlamaktır [24].

2.2. Altı Sigma'nın Sınıflandırılması

Literatür araştırması yapıldığında, Altı Sigma kavramının üç sınıfa ayrıldığı görülmüştür. Çalışmanın bu bölümünde Altı Sigma'nın sınıfları anlatılacaktır.

Altı Sigma, ilk başlarda metrik ve metodoloji olarak sınıflandırılmakta ve eğitimler bu iki sınıflandırma çerçevesinde verilmekteydi. Fakat zamanla, Altı Sigma hem metrik hem de bir metodoloji olarak kullanıldıkça üçüncü bir sınıf olan, yönetim sistemi olarak Altı Sigma ortaya çıkmıştır [25]. Altı Sigma'nın metrik, metodoloji ve yönetim sistemi sınıfları arasındaki ilişki Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Yönetim sistemi, metodoloji ve metrik olarak Altı Sigma [25]

2.2.1. Metrik olarak altı sigma

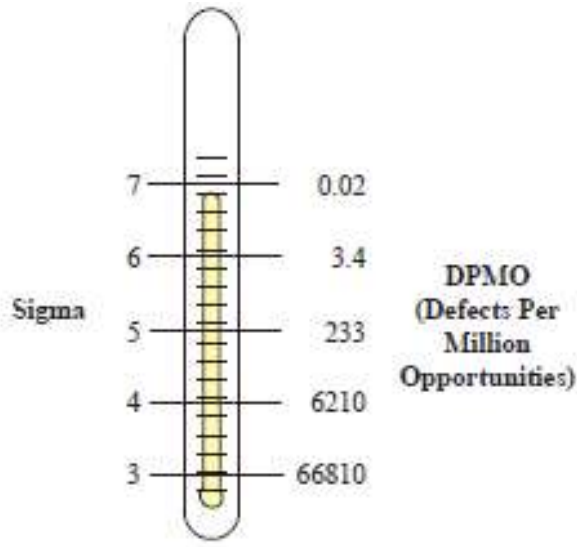
Metrik, verilerin nicel ölçümü olarak tanımlanmakta ve toplamlar ya da oranlar şeklinde ifade edilmektedir. Metrikler, bir boyutun toplam veya oran olarak ölçülebilen ayrı öğeleridir. Örneğin; “şehir” boyutu “nüfus” metriği ile ifade edilebilir ve toplam nüfus metrik değeri olarak gösterilebilir. Altı Sigma kavramının en bilinen metriği ise sigmadır.

Sigma (σ), süreç performansını ve iyileştirme çalışmalarının sonuçlarını değerlendirmek için kullanılan ölçüm ve kaliteyi ölçmenin bir yoludur. Sigma, inç, ons, metre gibi evrensel bir metriktir. Sıcaklık, ağırlık ve uzunluk gibi evrensel metrikler, çok farklı nesnelerin birbirleri ile karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır. Sigma metriği de çok farklı iş süreçlerini, belirlenen kalite sınırları içinde kalma kabiliyeti açısından karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle işletmeler süreç performanslarını ölçmek ve ifade etmek için sigma metriğini kullanmaktadırlar [25].

Müşteri spesifikasyonları dışında kalan, ürüne ait herhangi bir özellik kusur olarak tanımlanmaktadır. 6σ , süreç çıktılarının ortalamaları ve spesifikasyon limitleri arasında

yayılmış 6 standart sapma anlamına gelmektedir. Seviyesi 6 σ olan bir süreç neredeyse kusursuz anlamına gelmektedir.

Günümüzde süreç yeterlilikleri, bir başka metrik olan milyon başına hata (Defects Per Million Opportunities-DPMO) şeklinde ölçülüp sonrasında ölçülen değere denk gelen sigma seviyesi belirlenebilmektedir. Şekil 2.3'te Sigma-DPMO ölçeğinde DPMO seviyesine göre sigma seviyeleri verilmiştir. Altı Sigma (6 σ), mükemmelliğe çok yakın bir kalite ölçüsüdür ve ölçeğe göre 6 σ , bir milyon fırsatta 3,4 kusur anlamına gelmektedir. Bu değer, sürecin %99.9997 oranında hatasız olduğunu göstermektedir [23].



Şekil 2.3 Sigma-DPMO çizelgesi [25]

2.2.2. Metodoloji olarak altı sigma

Altı Sigma, iş performansını iyileştirmeye ve müşteri gereksinimlerini karşılamaya odaklanarak, süreçleri iyileştirmek, tasarlamak ve yönetmek için kullanılan disiplinli ve veri odaklı bir metodolojidir [23].

Altı Sigma metodolojisi, Altı Sigma metriği üzerine kuruludur. Metodoloji uygulanırken sigma ve DPMO kullanılarak süreç performansı ölçülür ve değerlendirilir. Süreçteki kabul edilemez değişkenlik kaynaklarının ortadan kaldırılması, azaltılması ve alternatiflerin geliştirilmesi için ise TÖAGK yöntemi uygulanır. Altı Sigma metodolojisi TÖAGK yaklaşımı ile sınırlı değildir. Bu yaklaşım ile birlikte; yalın teknikleri, 8D raporları, 5 neden analizi, sebep-sonuç analizi, HTEA, yaratıcı problem çözme teorisi gibi farklı

iyileştirme araçlarının da kullanılması Altı Sigma uygulamasının daha etkili ve sürdürülebilir olmasını sağlayabilmektedir.

Sigma metriğini kullanarak ve çeşitli süreç iyileştirme araçlarını TÖAGK yaklaşımı ile birleştiren Altı Sigma, güçlü bir problem çözme ve sürekli iyileştirme metodolojisidir [25].

2.2.3. Yönetim sistemi olarak altı sigma

Altı Sigma, iş stratejilerini uygulamak için bir süreç performans yönetim sistemidir. Süreç iyileştirme çalışmalarını iş stratejisi ve iş hedefi metriklerine dönüştürür ve süreç performansını izlemek için anlamlı metriklerden yararlanmaktadır [23].

Altı Sigma, bir dizi metrik tabanlı problem çözme ve süreç iyileştirme araçlarından daha fazlasıdır. En üst düzeyde, Altı Sigma, yönetimi ve tüm organizasyonu, müşteri gereksinimlerini anlamak ve yönetmek, bu gereksinimleri karşılamak için kullanılır. Bu kapsamda, kilit süreçleri iyileştirmeye, varyasyonu anlamaya ve en aza indirmek için kilit süreçlerde veri analizi yapmaya ve iş süreçlerinde hızlı ve sürdürülebilir iyileşme sağlamaya odaklanır. Böylece Altı Sigma, sürekli iş geliştirme için pratik bir yönetim sistemine dönüştürülmüş olur. Bu nedenle, Altı Sigma yönetim sistemi hem Altı Sigma metriğini hem de Altı Sigma metodolojisini kapsamaktadır. Kuruluşlar en büyük etkiyi, Altı Sigma bir yönetim sistemi olarak uygulandığında görebilmektedir [18].

2.3. Altı Sigmanın Tarihsel Gelişimi

1970'li yıllarda yapılan Japon Kalite Devrimi sonrası, Japonlar müşteri beklentilerini karşılayan ucuz ürünlerle Amerika pazarına hakim olmaya başlamışlardı. Çoğu Amerikan firması gibi Motorola da Japonlar karşısında kan kaybetmeye başlamış ve pazar payı giderek azalmıştı. Motorola mühendisleri, üretilen ucuz ürünlerin kalitesiz hammadde ve Japonya'daki ucuz iş gücü sayesinde olabildiğini savunuyor ve bu kalitesiz ürünlerin ilerleyen dönemlerde kullanıcılara sorun çıkaracağını düşünerek, yakın zamanda pazardaki yerlerini tekrar alacaklarına inanıyorlardı. Motorola uzmanlarına göre yapılması gereken birçok kalite kontrolünün yapılmadığı kalitesiz Japon ürünleri ile Motorola ürünlerinin arasındaki fonksiyonel farkların müşteriler tarafından fark edilmemesi imkansızdı. Fakat Amerikan Kalite Derneği sunduğu bir raporla bu yargıların doğru olmadığını belirtmiştir.

Motorola, 1970'li yıllarda televizyon üretimi yapan Quasar adındaki firmasını, yüksek kalitesizlik maliyetleri nedeniyle Matsushita adındaki bir Japon firmasına satmak durumunda kalmıştır. Matsushita, satın aldığı Quasar'da bir kalite devrimi yapmış ve televizyon üretimlerinde istatistiksel teknikler kullanarak %150 olan hatalı çıktı oranını birkaç yıl içinde %3'lere düşürmeyi başarmıştır. Elde edilen bu başarı, tüm Amerika endüstrisi ile paylaşılmak üzere Amerikan Kalite Derneği'ne raporlanmıştır. Bu olayın sonucunda, Motorola mühendislerinin düşüncesinin aksine Amerika'da pahalı Amerikan iş gücü ve malzemesi ile üretim yapılırsa dahi maliyetlerin azaltılabileceği görülmüştür. Quasar'da elde edilen başarının ardından Japon üretim tekniklerine farklı bir gözle bakılmaya başlanmış ve ürün kalitesinden çok süreç kalitesine önem verilmeye başlanmıştır [20]. Tüm bu gelişmelerin ardından 1981 yılında, Motorola CEO'su Bob Galvin bir çalışma başlatmıştır. Çalışmanın hedefi; 5 yıl içinde firmanın performansını 10 katına çıkarmak olmuştur. Hedefe ulaşmak için hata oranlarının her yıl yarıya düşürülmesi gerekmektedir. Belirlenen hedef ve Motorola mühendislerinin sıkı çalışması sonucunda, iş mükemmelliği için dünya çapında taktiksel bir strateji olarak kabul edilen Altı Sigma ortaya çıkmıştır [23].

1984 yılında, Motorola kıdemli mühendisi Bill Smith, ürünün kullanım süresi ve performansının üretim sırasında yapılan onarım işlemleri ile bağlantılı olduğunu keşfetmiştir. Daha az hata ve değişkenlikle üretilen ürünlerin müşteriye teslim edildikten sonra daha iyi performans gösterdiğini bulmuştur. Bill Smith ve çalışma arkadaşı Mikel Harry üretimdeki değişkenlikleri ortadan kaldırmak için ölçme, analiz etme, geliştirme ve kontrol etme fazlarından oluşan 4 aşamalı bir süreç geliştirmiştir. Zamanla bu süreç tanımlama fazı da eklenmiş ve bu fazlar Altı Sigma kalitesine ulaşmak için bir yol haritası olmuştur [23].

Yapılan tüm çalışmaların ardından, 1986 yılında Altı Sigma, Motorola tarafından tüm dünyaya tanıtılmış ve 1989 yılında yine Motorola tarafından Altı Sigma Araştırma Enstitüsü kurulmuştur. Motorola'yı AlliedSignal ve GE takip etmiştir. Bu gelişmelerin ardından Black & Decker, DuPont, Dow Kimya, Federal Express, Boeing, Johnson & Johnson, Ford Motor Firması, General Motors ve daha pek çok firma Altı Sigma çalışmaları başlatmıştır. Altı Sigma'nın ilk savunucularının çoğu imalat ve teknoloji endüstrileri olmuştur. Bununla birlikte, metodoloji ilerledikçe, eczacılık, finans kurumları, oyuncak üreticileri, giyim perakendecileri, askeri ve diğer birçok sektöre yayılmış olup 1990'ların sonunda, Fortune 500 şirketlerinin yaklaşık üçte ikisi, maliyeti düşürmek ve kaliteyi yükseltmek amacıyla Altı

Sigma yaklaşımını benimsemiştir. Günümüzde ise birçok firma çalışanlarının Altı Sigma eğitimi almalarını talep etmektedir [19].

Altı Sigma'nın metodolojisinin 1980'li yılların ortalarında geliştirildiği düşünülse de, yaklaşık 100 yıllık bir geçmişi bulunmaktadır. 1980 yılı öncesi yapılan çalışmalar sırasıyla;

- 1900 ve 1920'li yıllarda Frederick W. Taylor tarafından geliştirilen bilimsel yönetim ve istatistik teorileri,
- Henry Ford'un seri üretim hatlarında tam zamanında üretim ve yalın üretim uygulamalarını kullanması,
- Walter Shewhart ve Joseph M. Juran'ın 1920 ve 1924 yılları arasında üretim süreçlerindeki kaliteyi değerlendirmek için geliştirdikleri kontrol grafikleri ve istatistiksel süreç kontrol yöntemleri,

1970 yıllarında W. Edwards Deming, Joseph M. Juran ve Armand Feigenbaum danışmanlığında yapılan Japon kalite devrimidir [20].

3. ALTI SİGMA METODOLOJİSİ

Çalışmanın bu bölümünde, Altı Sigma metodolojisinin en çok kullanılan kavramları araçları ve fazları anlatılacaktır.

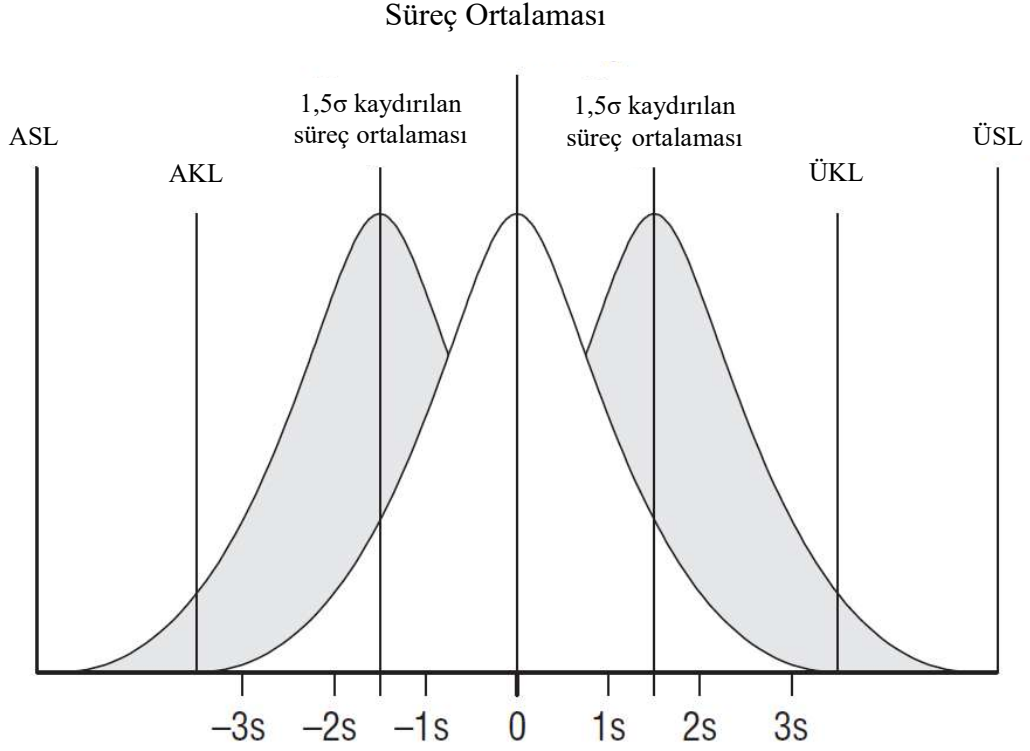
3.1. Altı Sigma Metodolojisinin Temel Kavramları

3.1.1. Spesifikasyon ve kontrol limitleri

Üretilen bir ürün için, spesifikasyonlar, ürünü oluşturan ana bileşenler ve alt bileşenlerin yanı sıra, nihai ürünlerdeki kalite karakteristikleri için müşteri ya da tasarımcı tarafından istenilen değerlerdir. Bir kalite karakteristiği için istenen değere karşılık gelen bir ölçümün değerine, o karakteristik için hedef değer denir. Kalite karakteristiklerinin değerleri için müşteri tarafından izin verilen en küçük değeri ASL, izin verilen en büyük değeri ise ÜSL olarak tanımlanmaktadır. Spesifikasyon limitleri ürünler için mühendislik tasarım sürecinin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır [3].

Altı Sigma çalışmaları, süreç çıktılarının ortalamaları 1.5 sigma kaydırılsa dahi, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, tüm çıktıların ve değişkenliğin ÜSL ve ASL dahilinde olduğu bir süreç oluşturmayı hedeflemektedir.

Üst kontrol limiti (ÜKL) ve alt kontrol limiti (AKL) süreç çıktılarından toplanan verilere dayanarak hesaplanan, sürecin minimum ve maksimum içsel sınırlarını gösteren değerlerdir. Kontrol limitleri spesifikasyon limitleri dahilindeyse veya aynı hizadaysa, sürecin spesifikasyonları karşılayabileceği kabul edilir. Kontrol limitlerinden biri veya her ikisi de spesifikasyon limitlerinin dışındaysa, sürecin spesifikasyonları karşılayamayacağı düşünülmektedir [18].



Şekil 3.1 Ortalaması 1,5 σ kaydırılan bir sürece ait ASL,ÜSL,AKL,ÜKL grafiği [18]

3.1.2. Değişkenlik (varyasyon)

İmalat ve hizmet sektöründeki çoğu uygulamanın amacı, değişkenliği çok az olan ya da hiç değişmeyen ürün ve hizmetler üretmektir. Değişkenlik, bir sistemin (sürecin) çıktılarının veya sonuçlarının tam olarak aynı olmaması anlamına gelmekte ve kaçınılmaz değişiklik olarak tanımlanmaktadır. Bu kaçınılmaz değişikliğin nedeni, tüm sistemlerin zamanla değişmesidir. Değişkenlik, süreçlerin tahmin edilemez ve güvenilemez hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, süreçler kalite ve performans kaybı yaşamakta ve maliyetleri artmaktadır. Maliyet ve performans sürecin değişkenliği ile doğrudan bağlantılıdır [23]. Değişkenlik arttıkça, kusurlu çıktı oluşma olasılığının artması nedeniyle üretkenlik azalmakta ve ek işgücü, maliyet, hurda ve çevrim süresi artmaktadır [2].

Her süreç çıktısında belirli miktarda değişkenlik vardır. Bir süreci oluşturan unsurların hiç biri tam olarak birbirine benzememektedir. Bir süreç; üründen ürüne, malzemeden malzemeye, makineden makineye, insandan insana vb. değişiklik gösterebilmektedir. Değişkenliği anlamak, bir hizmetin veya ürünün kalitesini arttırmanın en iyi yoludur.

Değişkenliğin nedenlerini belirlemek için birçok yöntem kullanılabilir fakat en yaygın nedenleri; makine (teknoloji), yöntem (süreç), malzeme (hammadde, sarf malzemeleri), insan (fiziksel çalışma, beyin çalışması, vb.), ölçüm (muayene), çevre, yönetim ve bakımdır [3].

Bir sürecin değişkenlik miktarının ölçülmesi, süreç iyileştirmeye yönelik ilk ve kritik bir adımdır. Değişkenliğin azaltılması ise, ürünün kalitesinde kalıcı bir gelişme sağlamaktadır [3].

Müşteri beklentilerinin tam olarak karşılanabilmesi ve müşteri memnuniyetinin artırılması için de, değişkenliğin azaltılması gerekmektedir [18]. Tüm bu nedenlerden dolayı Altı Sigma bir ürünün veya hizmetin değişkenliğini azaltmaya odaklanır.

3.1.3. Sigma seviyesi

Altı Sigma metodolojisi uygulanırken, çalışmanın 2. Bölümünde de bahsedildiği gibi, süreçlerin verimliliği sigma adı verilen bir metrik ile takip edilmektedir. Sigma seviyesiyle, ürün başına hata, kalitesizlik maliyeti, çevrim zamanı ve verimlilik arasında sıkı bir bağ bulunmaktadır [20].

σ , bir ürün, işlem veya sürecin herhangi bir parametre değerinin, ortalamalarının her iki tarafındaki dağılımını veya yayılımını belirtmek için kullanılır. Aynı zamanda sigma (σ), istatistikçiler tarafından bir süreçteki değişimi göstermek için de kullanılabilir [23].

Sigma seviyesinin kalitesizlik maliyeti ile de yakından bir ilgisi bulunmaktadır. Tablo 3.1'de Sigma Seviyesi- Kalitesizlik Maliyeti İlişkisi verilmektedir.

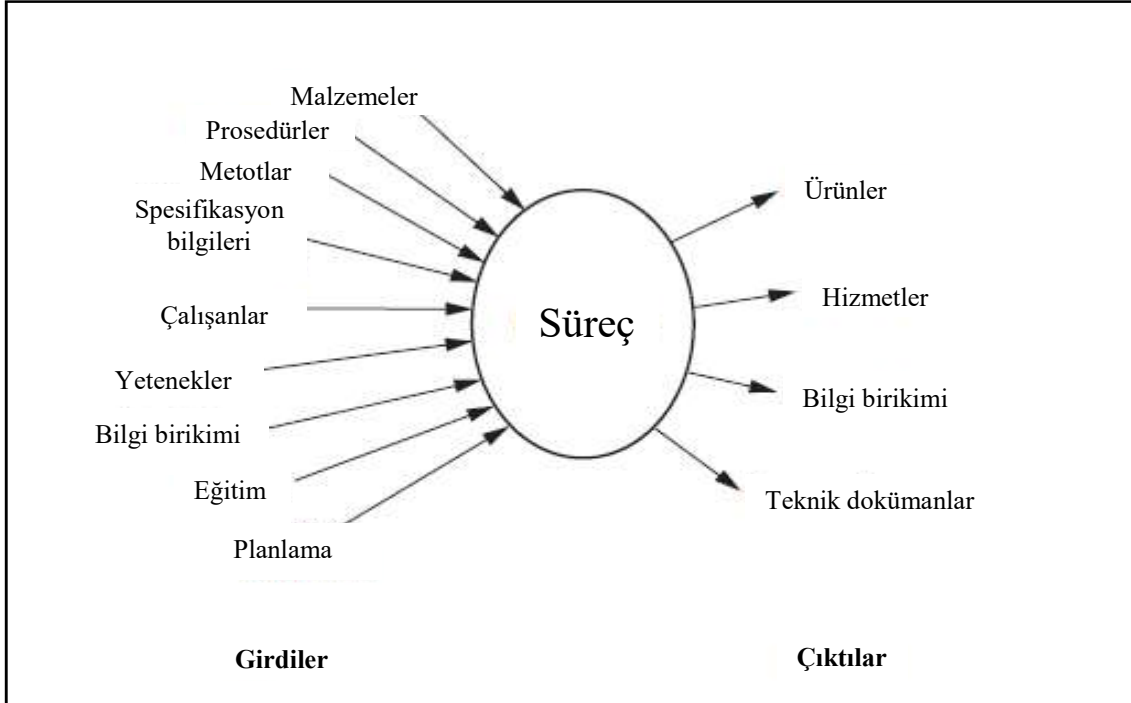
Günümüzün rekabet koşullarında %40 kalitesizlik maliyeti olan bir firmanın ayakta kalma ihtimali ve rekabet gücü çok düşük olarak görülmekte ve sigma seviyesini artırması gerektiği düşünülmektedir. Her sigma seviyesi işletmeler için ortalama %5-10 kar artışı sağlamaktadır [20].

Tablo 3.1 Sigma seviyesi- kalitesizlik maliyeti ilişkisi [20].

Kalitesizlik Maliyeti	Milyon Başına Hata (DPMO)	Sigma Seviyesi
Satışların %30-40	308.537	2
Satışların %20-30	66.807	3
Satışların %15-20	6.210	4
Satışların %10-15	233	5
Satışların < %10	3.4	6

3.1.4. Süreç yaklaşımı

Süreç, ürün ve / veya hizmet üretmek için tasarlanmış bir dizi adımdır. Bir süreç; girdilerin belirlenen bir yol izleyerek çıktılara dönüşmesini gösteren bir akış şeması ile gösterilmektedir. Şekil 3.2'de, bir sürecin girdileri ve gerekli süreç/ süreçlerden geçtikten sonra oluşan çıktıları gösterilmektedir. Süreçleri anlamak ve geliştirmek her Altı Sigma projesinin önemli bir parçasıdır [24].



Şekil 3.2 Süreç girdi ve çıktıları [1]

3.1.5. Milyon başına hata (defects per million opportunities-DPMO)

DPMO, Altı Sigma'nın temel metriklerinden biridir. Birim başına kusur sayısının, kusur için fırsat sayısına bölünüp 1000000 ile çarpılmasıyla bulunur [29]. Hesaplamadaki milyon, bir ölçeklendirme faktörüdür. Fırsat, süreçte ürün başına oluşan veya hizmet sunulurken bir kusurun ortaya çıkma olasılığı olarak tanımlanır. Birçok durumda, fırsat sayısı bir olarak tanımlanmaktadır. Örneğin; müşterinin ürünü doğru kabul etmesi (kusur yok - bu nedenle başarısız olmaz) veya müşterinin ürünü doğru kabul etmemesi (herhangi bir sayıda kusur - bu nedenle bir başarısızlık) [25]. DPMO, bir milyon parçada kusurlu bir parçanın kaç kez meydana geleceğini gösterir ve Tablo 3.2 DPMO-Sigma Seviyesi Dönüşüm Tablosu'ndaki değerlere göre sigma değerine dönüştürülebilmektedir [29]. Sigma seviyesi gibi, milyon başına hatalı parça oranı da farklı ürün türlerinin karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır [30]. Tablo 3.2' de görüldüğü gibi, sigma seviyesi ile DPMO arasındaki ilişki lineer değil, paraboliktir. Örneğin; 2 sigmadan 3 sigmaya çıkmak için DPMO'nun 5 kat iyileştirilmesi gerekirken, 3 sigmadan 4 sigmaya çıkmak için yaklaşık 11 kat iyileştirilmesi gerekmektedir [20].

Tablo 3.2 DPMO-sigma seviyesi dönüşüm tablosu [3]

Sigma Seviyesi	DPMO	Sigma Seviyesi	DPMO	Sigma Seviyesi	DPMO
0,00	933,193	4,05	5386	5,05	193
0,50	841,345	4,10	4661	5,10	159
0,75	773,373	4,15	4024	5,15	131
1,00	691,462	4,20	3467	5,20	108
1,25	401,294	4,25	2980	5,25	89
1,50	500,000	4,30	2555	5,30	72
1,75	401,294	4,35	2186	5,35	59
2,00	308,537	4,40	1866	5,40	48
2,25	226,627	4,45	1589	5,45	39
2,50	158,655	4,50	1350	5,50	32
2,75	105,650	4,55	1144	5,55	26
3,00	66,807	4,60	968	5,60	21
3,25	40,059	4,65	816	5,65	17

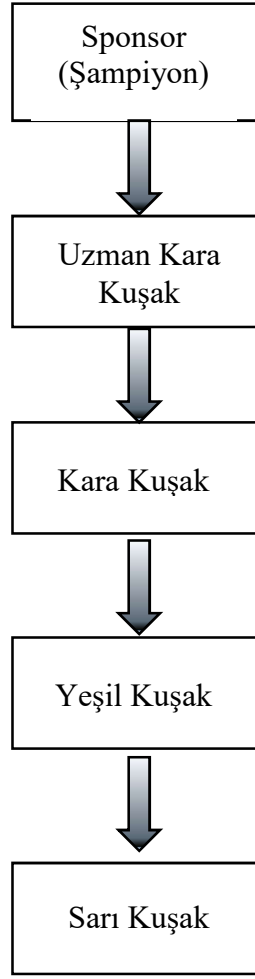
Tablo 3.2. devam ediyor

3,50	22,750	4,70	687	5,70	13
3,60	17,865	4,75	577	5,75	11
3,70	13,904	4,80	483	5,80	9
3,75	12,225	4,85	404	5,85	7
3,80	10,724	4,90	337	5,90	5
3,90	8198	4,95	280	5,95	4
4,00	6210	5,00	233	6,00	3,4

3.2. Altı Sigma'da Roller/Kuşaklar

Altı Sigma birçok güçlü teknik ve araç kullanılmasını sağlamaktadır, ancak başarıda birincil rol oynayan unsur insanlardır. Bu nedenle, Altı Sigma projeleri uygulanırken proje ekibi dikkatle oluşturulmalı ve kişilere gerekli sorumlulukların verilmesi gerekmektedir [18].

Motorola, Allied Signal, General Electric, Bombardier, ABB, American Express, Wipro, GSK ve diğer Altı Sigma uygulayıcısı firma da dahil olmak üzere birçok organizasyonda Altı Sigma'nın titiz bir şekilde uygulanmasının ardından ürün ve süreç iyileştirmesi için kanıtlanmış, yapılandırılmış bir organizasyon yapısı ortaya çıkmıştır [29]. Bu organizasyon, Altı Sigma uygulamalarında, istatistiksel araçlara yoğun bir şekilde odaklanılması ve bireylerin bu araçları kullanmaya hazır hale getirilmesi için gereken çok fazla zaman ve eğitim nedeniyle, en başarılı görev dağılımını desteklemek için birkaç farklı ünvan (kuşak) oluşmaktadır. Bu ünvanlar; sponsor/şampiyon, uzman kara kuşak (UKK), kara kuşak (KK), yeşil kuşak (YK) ve sarı kuşak (SK) şeklinde sıralanmaktadır [17]. Şekil 3.3'te kuşakların hiyerarşik sıralaması verilmektedir.



Şekil 3.3 Altı Sigma kuşaklarına ait hiyerarşi

Altı Sigma uygulamalarında, tüm personellerin bilinçlendirilmesi ve projeye katılım sağlamalarının yanında üst yönetimin desteği de çok önemlidir. Üst yönetimin başlıca görevleri;

- Bir Altı Sigma liderlik ekibi oluşturmak,
- UKK, KK ve YK eğitimi için bir eğitim planı oluşturulması ve uygulanmasını sağlamak,
- Temel iş sorunları ile ilgili kritik projeleri belirlemek ve projelerin hayata geçirilmesi için UKK/KK'ların atamalarını yapmak,
- Kritik projelerde KK'lara destek sağlamak, YK'ları 'sadece yap' projelerini belirlemeye ve uygulamaya teşvik etmek,

- Altı Sigma hedeflerini belirlemek ve Altı Sigma uygulama ve dağıtım programlarını sürekli olarak değerlendirmek ve gerekirse değişiklikler yapmak olarak sıralanabilir [29].

3.2.1. Sponsor/şampiyon

Altı Sigma projelerinin şampiyonu, yönetici kadroları veya üst düzey yönetimden belirlenmektedir. Şampiyon, kaynakların güçlendirilmesi, planlanması, tahsisi ve gerekli araçların sağlanması konularında yönetsel ve teknik becerilere sahip olmalıdır [2].

Şampiyonun başlıca görevleri; projelerin, kuruluşun stratejik hedefleri ve öncelikleri ile uyumlu olmasını sağlamak, projelerin sonuçlarını ve başarısını denetlemek, Altı Sigma'nın dünya standartlarında uygulanabilmesi için UKK ve KK olarak eğitecek kişileri seçmek, ekip için örgütsel engelleri kaldırmak, proje ücret incelemelerine katılmak olarak sıralanmaktadır [30].

3.2.2. Uzman kara kuşak (UKK)

Kalite yöneticisi olarak da bilinen UKK'lar, gelişmiş uygulamalı istatistiksel analiz yöntemleri (varyans analizi, deney tasarımı, yanıt yüzeyi vb.), iş stratejileri ve liderlik gibi konularda kapsamlı bir arka plan bilgisine sahip olmalıdır. UKK'lar, Altı Sigma tekniklerinde oldukça yetenekli olmalı ve bu konuda KK'lara rehberlik edebilmelidirler. UKK aynı zamanda KK'lara, proje ile ilgili karşılaşılan herhangi bir sorunun çözülmesine yardım etmek, teşvik etmek veya yönlendirmek için projelerde danışmanlık yapmaktadırlar [2].

UKK'ların projelerdeki başlıca görevleri;

- KK ve YK'lara eğitim verilmesi ve sertifikalandırılması,
- Yeni yaklaşımların geliştirmesi, proje ekiplerine en iyi uygulamaların iletilmesi,
- KK'ların kök nedenleri tanımlama ve gerekli değişiklikleri uygulamada sorun yaşadığı projeler için destek verilmesi,
- Uzun vadeli Altı Sigma projelerinin yürütülmesi,
- Altı Sigma fırsatlarının belirlenmesi,

- KK ve YK proje gerekçelerini ve proje planlarının gözden geçirilmesi ve onaylanması olarak sıralanabilir.

UKK olabilmek için yalnızca eğitim almak yeterli değil, alınan tüm eğitimlerin yanı sıra, bir yıl içinde birkaç KK projesinin tamamlanmış olması gerekmektedir. Bu nedenle bünyesinde UKK bulunmayan firmalar, ilk Altı Sigma projelerine başlarken firma dışındaki UKK'lardan 6-12 ay süreyle danışmanlık yardımı alarak, bu sürede deneyim kazanan KK'lardan sonraki projeler için UKK yetiştirme yolunu izleyebilmektedirler [2,10].

3.2.3. Kara kuşak (KK)

KK'lar Altı Sigma projelerini yöneten, ekip üyelerine eğitim veren ve koçluk yapan tam zamanlı ekip üyeleridir [19]. Aynı zamanda, etkili bir problem çözücü olan KK'lar, Altı Sigma projelerini desteklemek için gerekli ve en sık kullanılan istatistiksel araçları çok iyi bilen yüksek vasıflı kişilerdir [17].

KK'lar, YK'lara almaları gereken eğitimleri verir ve TÖAGK metodolojisini kullanarak Altı Sigma projelerini yönlendirir [30]. KK'lar bir seferde, iki ile dört ekiple birlikte çalışabilmektedirler. Yılda, kendi yönettikleri ya da destekledikleri YK'ların yönettiği en az sekiz projeyi tamamlamaları gerekmektedir ve KK eğitimi ortalama 2 yıl sürmektedir.

KK'ların projelerdeki başlıca görevleri;

- Altı Sigma takımlarına liderlik etmek,
- Altı Sigma projelerini koordine etmek ve yönetmek için doğru insanları tanımlamak ve geliştirmek,
- Sektördeki değişimleri takip edebilecek deneyime sahip ve yaratıcı olmak,
- Projelerdeki sorunları çözmek ve YK ve SK'lara destek olmak, karmaşık ve önemli projelerin ekip yöneticisi / liderliğini yapmak, iç danışman ve eğitmen olarak hizmet vermek olarak sıralanabilir.

Proje Yönetimi, liderlik, analitik düşünme, örgütsel değişim yönetimi ve istatistiksel analiz ise KK'larda bulunması gereken başlıca yeteneklerdir [17].

3.2.4. Yeşil kuşak (YK)

YK'lar, Altı Sigma iyileştirme projelerini bireysel olarak veya daha büyük ekiplerin lideri olarak yürütmek için gerekli araç, yöntem ve beceriler konusunda eğitilmiş kişilerdir [30]. YK'lar sorunları çözmek için KK'larla birlikte çalışmaktadır. YK sertifikası alınabilmesi için teorik eğitimin ardından, bir Altı Sigma projesine katılmaları gerekmektedir [2]. YK'lar bir Altı Sigma projesi yönetirken zamanlarının en az %50'sini projeye ayırmak durumunda kalmaktadırlar. Bu nedenle, projelere YK ataması yapılırken, kişilerin iş yükleri de göz önünde bulundurulmalıdır [17].

3.2.5. Sarı kuşak (SK)

SK'lar, TÖAGK metodolojisi ve temel problem çözme araçları hakkında 2-3 günlük eğitim almış ekip üyeleridir. Projelerde yarı zamanlı çalışır ve görevlendirildikleri alanda proje koordinatörü olarak çalışırlar [17].

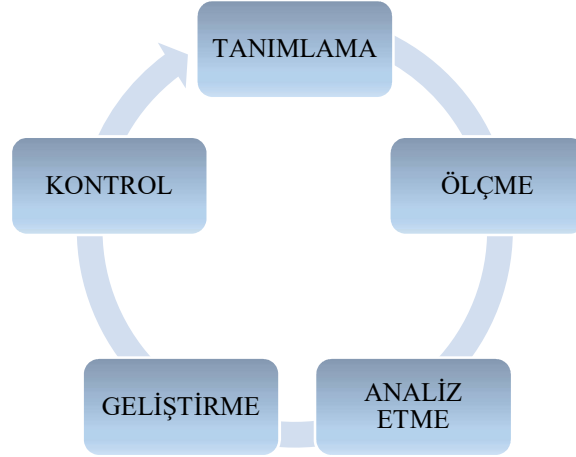
3.3. Altı Sigma Metodolojisinin Fazları

Tüm Altı Sigma projeleri temel problem çözme aracı olarak TÖAGK metodolojisini kullanmaktadır. Bunun nedeni metodolojinin; anlaması kolay, mantıklı ve problem çözmenin tüm adımlarını içermesidir.

Tanımlama, Ölçme, Analiz Etme, Geliştirme ve Kontrol adımlarından oluşan TÖAGK metodolojisi, kalite ve süreç performans sorunlarının temel nedenlerini çözmek için tasarlanmış çözümleri uygulayarak projeleri başarıyla tamamlamak ve sürdürülebilirliğini sağlamak için kullanılabilen yapılandırılmış beş adımlı bir problem çözme aracıdır [26]. TÖAGK, belirli bir bilimsel disiplin tarafından kullanılan sistematik tekniklerin bir gövdesidir. TÖAGK yöntemi uygulanırken, her fazda bir dizi araç ve teknik kullanır. Yöntemin adımları tam olarak takip edilip yerine getirildiğinde, Altı Sigma metodolojisinin sonuçları çok iyi şekilde görülebilmektedir [31]. TÖAGK metodolojisi süreç iyileştirme, ürün iyileştirme ve tasarım iyileştirme çalışmalarının tümü için kullanılabilir [3].

TÖAGK uygulamasındaki temel unsurlar; takım disiplini, metriklerin ve araçların yapılandırılmış kullanımı ve net hedefleri olan, iyi tasarlanmış bir proje planının uygulanması olarak sıralanabilir [17].

Süreçteki sorunları çözmek ve kuruluşun süreçlerinin verimliliğini artırmak için kullanılan Altı Sigma, düzenli olarak uygulandığında, sürekli iyileştirme kültürü oluşturmaya yardımcı olabilmektedir [32]. TÖAGK fazları Şekil 3.4 gösterilmektedir.



Şekil 3.4 TÖAGK Döngüsü

TÖAGK metodolojisi uygulanırken her faz sonunda, Altı Sigma ekibi tarafından geçiş kapısı toplantıları ile faz değerlendirmesi yapılır. Toplantıda alınan karara göre projenin gidişatı değişebilmektedir. Eğer fazda planlanan ve yapılması gereken tüm işler başarıyla tamamlandıysa bir sonraki faza geçilir. Eğer tamamlanamadıysa, ekibin kararına göre ya proje önceki fazlara dönerek tüm eksikler tamamlanmaya çalışılır ya da karşılaşılan eksikler ve sorunlar giderilemeyecek seviyedeyseniz projeyi kapatma kararı alınır [30].

TÖAGK gibi kanıtlanmış bir metodolojiye dayanan iyileştirme kültürüne sahip bir kuruluş, performansını sürekli olarak iyileştirebilecek ve sorunları ortadan kaldıracak özelliklere sahip demektir. Ancak, tüm projeler için aynı detayda ve aynı bürokraside TÖAGK metodolojisinin uygulanması genel etkinliğini ve iyileştirme motivasyonunu azaltabilmektedir. Bu nedenle, TÖAGK uygulanırken proje detayı ve araç seçimi düzeyinde esneklik sağlanmalıdır. Örneğin, bazı projelerin yalnızca süreç sahibi, şampiyon, KK veya UKK tarafından onaylanan kısa bir onay akışına ihtiyacı varken diğerlerinin, özellikle büyük projelerin, daha ayrıntılı bir plan, çoklu süreç sahipleri ile koordinasyon, faz içi gözden geçirmeler vb. adımlara ihtiyacı olabilir. Bu nedenle işlemlerin basit tutularak, sürece göre ayarlanması fakat temel metodolojiye de sadık kalınması gerekmektedir. Bu şekilde tüm kuruluş tarafından benimsenen bir iyileştirme kültürüne sahip olunabilir [24].

3.3.1. Tanımlama fazı

Tanımlama fazı, Altı Sigma projelerinin ekiplerinin oluşturulduğu, proje yönetimi sürecinin ve proje ekibi tarafından üzerinde çalışılacak sorununun veya meselenin tanımlandığı adımdır [24].

Tanımlama fazının temel amacı, proje kapsamını oluşturmak ve mevcut süreç hakkında arka plan bilgisi toplamaktır. Bu aşamada, genellikle projenin tek sayfalık bir özeti olan proje beyanı oluşturulur. Proje beyanı, başlamadan önce projenin sponsoru veya yöneticisi tarafından onaylanmalıdır [19].

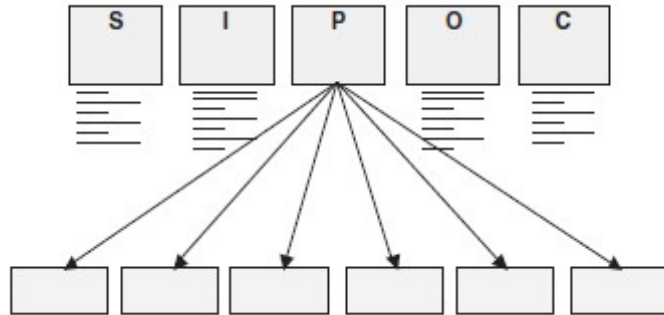
Proje beyanı, detaylı süreç analizi (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers-SIPOC), süreç şeması, müşterinin sesi (Voice of Customer - VOC) tanımlama fazının temel çıktılarıdır [20].

3.3.1.1. Proje beyanı

Proje beyanı, Altı Sigma projesinin sınırlarının ve hedeflerinin tanımlandığı, problemin net bir şekilde açıklandığı, ekip üyelerinin bilgilerinin yer aldığı, mevcut süreç hakkında bilgiler veren özet, tek sayfalık bir dokümandır. Proje beyanının şampiyon/sponsor tarafından onaylanması gerekmektedir.

3.3.1.2. Detaylı süreç analizi (SIPOC)

SIPOC; tedarikçi, girdi, süreç, çıktı, müşteri bilgilerini içeren bir diyagramdır. Diyagramın geliştirilebilmesi için sürecin ve sınırlarının çok iyi belirlenmiş olması gerekmektedir [24]. Şekil 3.5'te SIPOC yapısı verilmektedir.



Şekil-3.5 SIPOC yapısı [2]

- Tedarikçi; sürece girdi sağlayan unsurlardır.
- Girdi; süreç çıktılarını üretmek için süreç tarafından kullanılan malzeme, hizmet ve bilgileri tanımlar.
- Süreç, müşterilere çıktı üretmek için tanımlanmış bir faaliyetler dizisidir ve girdileri kullanır.
- Çıktı; süreçte üretilen ürünler, hizmetler ve bilgilerdir
- Müşteri; süreç tarafından üretilen çıktıların kullanıcılarıdır.

SIPOC adımının amacı; projeye başlamadan önce tedarikçiler, girdiler, süreç, çıktılar, süreç müşterileri ve gereksinimlerin tüm ilgili öğelerini tanımlamak, süreç sınırlarını belirlemek, veri toplama kaynaklarının belirlenmesi için akış şemasını doğrulamak, yapılacak olan iyileştirmeler için fırsatları belirlemek olarak sıralanabilir [2].

3.3.1.3. Süreç şeması

Süreç şemaları, süreç girdileri süreç çıktılarına dönüştürülene kadar geçtiği tüm işlemlerin bir akış şeklinde gösterildiği diyagramlardır. Süreç şemaları, Altı Sigma projelerinde, hata ve veri kaynaklarının saptanması ve iyileştirme yapılacak alanların belirlenmesi için kullanılmaktadır.

3.3.1.4. Sebep-sonuç diyagramı

1940'larda Japonya'da Kaoru Ishikawa tarafından geliştirilen sebep-sonuç diyagramı, kullanıcının belirli bir hataya neden olan faktörleri görüntülemesini sağlayan grafiksel bir analiz aracıdır. Sebep-sonuç diyagramları, incelenen öğeyi etkileyen çeşitli nedenleri açıkça göstermek için çizilir. Belli bir çizim formatı olmayan diyagram, balık kılıcı diyagramı olarak da bilinmektedir [24].

3.3.1.5. Müşterinin sesi (VOC)

VOC çalışmaları, müşterilerin ve pazarların gereksinimlerini, ihtiyaçlarını, beklentilerini ve tercihlerini belirlemek için yapılan çalışmalardır. Müşterilerin beklentilerini anlayıp anahtar faktörleri belirlemek; müşteri kazanımı, memnuniyeti, sadakati ile iş genişlemesi ve sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. VOC müşteri ile ilgili

bilgileri yakalama sürecidir. Bu süreç, belirtilen, sınıflandırılmamış ve beklenen müşteri gereksinimlerini, ihtiyaçlarını ve isteklerini yakalamak için etkin ve sürekli yenilikçi bir süreçtir. Amaç, müşteri sadakatini sağlamak ve uygun şekilde müşteri ilişkileri kurmaktır. VOC, anket verileri, odak grup bulguları, garanti ve şikâyet verileri ve saha raporları gibi bilgileri de toplayıp sürece dâhil edebilmektedir [24].

3.3.1.6. Kritik kalite karakteristiği (KKK)

Kalite karakteristiği, ürün kalitesinin bir göstergesi olarak, kalite seviyesini etkileyen ve belirleyen, çeşitli parametrelerden oluşan ürünün doğal özellikleridir. KKK, müşteri için önemli olduğu belirtilen ürüne ait kalite karakteristiğidir [23]. Altı Sigma çalışmalarında, KKK'ların doğru anlaşılıp doğru belirlenmesi ve süreçte bu karakteristiği etkileyen adım ve faktörlerin belirlenmesi çok önemlidir [18].

3.3.1.7. Hata türü ve etkileri analizi (failure mode and effect analysis – FMEA)

FMEA, ürün ve süreç geliştirme süreci boyunca potansiyel sorunların dikkatle ele alınmasını sağlamak için kullanılan analitik bir metodolojidir.

FMEA'da her bir soruna (hataya) bir risk puanı belirlenir. Risk puanı; potansiyel hatanın oluşması durumunda ki etkisi (şiddet), ortaya çıkma olasılığı (olasılık) ve süreç içinde tespit edilebilirliği (tespit) için FMEA ekibi tarafından verilen puanların çarpımından oluşmaktadır. Ekibin belirlediği sınır risk puanı üzerinde olan potansiyel hatalar önemli risk olarak tanımlanır ve yönetimi için aksiyon planlanır.

3.3.1.8. Sebep sonuç matrisi (SSM)

SSM, süreç adımlarında tespit edilmiş olan girdilerin, süreç çıktılarıyla ilişkilerinin kurulmasını sağlar. KKK'leri karşılamak için hangi süreç girdilerinin odak noktası olacağını belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Müşteri için önemine göre matriste KKK'lere 1 ile 10 arasında önem puanı verilir ve süreç girdileri ile ilişkisi puanlanır. 0; ilişki yok, 1; çok zayıf ilişki, 4; orta düzeyde ilişki, 9; güçlü ilişki anlamına gelmektedir. Proje ekibi tarafından her girdinin tüm çıktılarla olan ilişki puanı ile, çıktının önem puanı çarpılarak toplanır. En yüksek puanı alan girdilerin Pareto şeması çizilir [28].

3.3.1.9. Pareto grafiği

Pareto grafiği bir sütun grafiğidir ve sorun zme sırasına öncelik vermek için kullanılır, böylece süreçte hangi sorunun en etkili olduğunu belirler. Pareto grafiği, herhangi bir kuruluştaki herhangi bir sürecin tüm frekanslarına (ıktılar/veya kusurlar) uygulanabilmektedir. Sorunların %80'ine neden olan kaynakların %20'sini tanımlamaktadır [2].

3.3.2. lme fazı

Altı Sigma metodolojisinin temel adımlarından biri ölçmedir fazıdır. Bir süreç llebiliyorsa, o süreç hakkında bilgi sahibi olunarak analizlere başlanabilmektedir [20]. lme fazı, aynı zamanda Altı Sigma'nın en zor ve kritik aşamalarından biridir. Bu aşama, ürün özelliklerinin, yani bağımlı değişkenlerin seçilmesini, gerekli ölçümlerin yapılmasını, sonuçların kaydedilmesini ve kısa ya da uzun vadeli süreç ve kapasitelerin tahmin edilmesini sağlar. Bu aşamanın temel hedeflerinden biri, gerçek müşteri girdileri ile süreç etkinliği ve kapasitesini doğru bir şekilde ölçmektir [3]. lm fazı, sorunun büyüklüğünü daha iyi anlamak için ölçümler geliştirmekten oluşur ve ilerlemeyi izlemek ve gerektiğinde ayarlamalar yapmak için proje boyunca devam eden bir süreçtir [32].

lme fazında temel olarak kullanılabilen araçlar; veri toplama planları, kontrol grafikleri, grafiksel analizler, temel istatistiksel yöntemler, ölçüm sistemi yeterlilik analizi (Measurement System Analysis – MSA ve Gage R&R), makine ve süreç yeterlilikleri olarak sıralanmaktadır [20].

3.3.2.1. lm sistemi yeterlilik analizi

Süreçlerin lm noktalarında yapılan ölçüm sistemi yeterlilik analizi ile, ölçümlerin doğru olup olmadığı araştırılmaktadır. lm sistemi yeterliliğini analiz etmek için genellikle Gage R&R yöntemi kullanılmaktadır. Bir lm sistemindeki değişkenliğin sıfır olması beklenmektedir fakat bu hiçbir zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle önemli olan, ölçüm sistemi değişkenliğinin toplam değişkenliğe oranının düşük olmasıdır. Endüstride genel olarak Gage R&R değerinin %30'dan az olması yeterli kabul edilmektedir.

lm sistemi kaynaklı değişkenlikler aynı zamanda Gage R&R metodunun da indeksleri olan yeniden üretilbilirlik (reproducibility) ve yinelenebilirlik (repeatability) olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yeniden üretilebilirlik: aynı süreç çıktısı üzerinde bulunan bir parametrenin farklı operatörler tarafından bir kaç kez ölçüldüğünde ortaya çıkan değişkenlik olarak tanımlanmaktadır. Yeniden üretilebilirlik indeksi ile operatörlerin birbirleri arasındaki fark hesaplanmaktadır.

Yinelenebilirlik: aynı süreç çıktısı üzerinde bulunan bir parametrenin aynı operatör tarafından aynı ölçüm cihazı ile birkaç kez ölçümünden ortaya çıkan değişkenliktir. Yinelenebilirlik personellerin kendi içindeki tutarlılığı ölçmektedir [20].

3.3.2.2. Süreç yeterliliği

Bir sürecin çıktılarını üretilmek için ne kadar yeterli olduğunu tanımlamak amacıyla yetenek indeksi (C_p) ve süreç performansı indeksi (C_{pk}) olmak üzere iki indeks kullanılmaktadır. Süreç yeterliliği analiz edilerek sürecin iyileştirilme olasılığının olup olmadığına karar verilebilmektedir.

C_p ve C_{pk} indekslerinin değerlerine göre süreçlerin durum analizi beş farklı şekilde yorumlanabilmektedir. $C_p = 2$ ve $C_{pk} = 1.5$, süreç Altı Sigma seviyesindedir. C_p ve $C_{pk} \geq 1.33$, sürecin yeterli olduğunu gösterir. C_p ve $C_{pk} = 1$ ise sürecin ürün gereklerini zor karşılandığı anlamına gelmektedir. C_p ve $C_{pk} < 1$ ise süreç mühendislik spesifikasyonları dışında çıktılar üretmektedir. C_p ve $C_{pk} > 3$ ise süreç, istenilen spesifikasyon limitlerinin de çok üstünde çıktı üretiyor anlamına gelmektedir.

3.3.3. Analiz fazı

Analiz fazında, ölçme fazında toplanan veriler çeşitli araçlarla analiz edilir ve ekip üyelerinin bir sonraki adımda neler yapılması gerektiğine dair karar verebilmesini sağlar [16]. Bu aşamada, sorunun kök nedenleri belirlenir. Ölçme aşamasında toplanan veriler bu aşama için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle gerekirse, daha fazla veri toplamak için ölçüm aşamasına geri dönülebilir. Süreç analizi, veri analizi, neden-sonuç analizi, hipotez testi, regresyon ve deney tasarımı gibi özel araçlarından uygun olanları bu aşamada kullanılabilir. Elde edilen analiz sonuçları ile geliştirme fazı için iyileştirme senaryoları türetilir ve en iyi sonuca ulaşabilmek için revize edilebilmektedir [19].

3.3.4. Geliştirme fazı

Geliştirme fazı, proje hedeflerine ulaşabilmek için analiz fazı sonucuna göre planlanan iyileştirilme çalışmalarını içermektedir. Geliştirme adımının Altı Sigma projesindeki en faydalı tarafı, deney tasarımları sayesinde önemli süreç girdilerinin eniyilemesi sağlanarak süreç çıktısının mükemmelliğe yaklaştırılmaya çalışılmasıdır. Geliştirme fazında, çoklu regresyon, deney tasarımı, tam faktöriyel deney tasarımı, 2^k faktöriyel tasarımlar, kesirli faktöriyel deneyler, iyileştirme önerileri ve uygulama planı gibi çeşitli araçlar kullanılabilir [20]. Yapılan deney tasarımları sonucunda mevcut süreçlerin değişme ihtimali olduğu için, süreç akış şemaları bu fazla aktif olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yapılan deney tasarımları ile gerçek süreç bilgisayar ortamında benzetimi yapılarak süreç üzerinde hangi faktörlerin etkili olduğunun bulunması ve en iyi faktör kombinasyonunun belirlenmesini sağlayan fazdır [26].

3.3.5. Kontrol Fazı

Kontrol fazında yeni oluşturulan süreç ile eski süreç karşılaştırılır ve proje kapsamında yapılan çalışmaların etkisi değerlendirilir. Altı Sigma projelerinin ana amaçlarından biri de sürekli iyileştirme olduğu için yapılan çalışmaların sürekliliğinin sağlanması gerekliliğidir. Bu nedenle bu fazda, çalışma sonucu elde edilen başarıların standartlaştırılarak diğer süreçlere de yaygınlaştırılmasının sağlanması gerekmektedir [19]. Kontrol fazında; istatistiksel süreç kontrol, güvenilirlik analizleri, dokümantasyon ve standartlaştırma gibi araçlar kullanılmaktadır [20].

4. BİR ELEKTRONİK FİRMASINDA ALTI SİGMA UYGULAMASI

Çalışmanın bu bölümünde, bir elektronik firmasında yapılan Altı Sigma çalışmaları anlatılmıştır. İlk olarak firma tanıtımı yapılarak faaliyet alanları hakkında genel bilgi verilmiştir, sonrasında üretim sürecinden bahsedilmiş ve son olarak Altı Sigma kapsamında yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

4.1. Firma Tanıtımı ve Altı Sigma Projesi için Süreç Seçimi

Firma, 1986 yılında özgün tasarımlarıyla, Türkiye'de elektronik telefon santrali pazarını yaratmış, bu pazara PBX (Telefon Santrali) ürünleri kazandırmış ve Türkiye'nin haberleşme alanında elektro-mekanik sistemlerden elektronik haberleşme sistemlerine geçişinde öncü olmuştur. Yüzde yüz yerli sermaye ile kurulan firma, haberleşme elektroniği alanında Türkiye'nin en gelişmiş Ar-Ge'sine ve dünya standartlarında üretim tesis ve standartlarına sahiptir. Bugün Türkiye'nin 30'dan fazla ülkeye ürün ve teknoloji ihraç eden pazar lideri markasıdır. Dünyanın bilinen ve güvenilen kurumlarından Brand-Finance'in hazırladığı "Türkiye'nin En Değerli 100 Markası" listesindeki markalardan biri olarak gösterilmektedir. Ayrıca Türkiye'nin en büyük 500 sanayi kuruluşundan biri olup, yaklaşık 2500 çalışanı bulunmaktadır.

Firma, telekomünikasyon çözümleri, elektronik kontrol kartları tasarım ve üretimi, anahtar teslim projeler, savunma sanayine yönelik iletişim çözümleri alanlarında faaliyet göstermektedir. Cirosunun ortalama %10'unu Ar-Ge'ye ayırmakta ve Türkiye'nin tasarımdan üretime tüm süreçlere sahip lider teknoloji şirkettir.

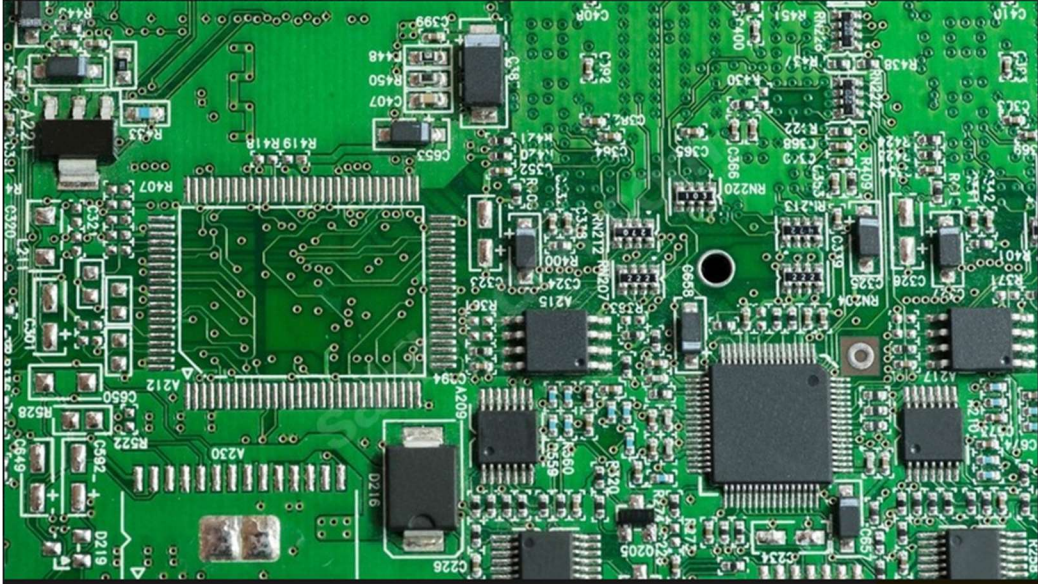
Firmada, son dönemlerde elektronik kart üretim süreçlerinde artan müşteri iadeleri nedeniyle üst yönetim tarafından bir Altı Sigma çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Projenin başlatılmasındaki amaç; üretimi yapılan elektronik kartlardaki hataların azaltılarak müşteri memnuniyetinin artırılması ve kalitesizlik maliyetlerinin düşürülerek kar oranının artırılmasıdır.

4.1.1. Elektronik kart üretiminde kullanılan teknoloji ve kavramlar

Baskılı Devre Kartı (BDK)/Elektronik Kart: Elektronik ekipman, belirli bir tasarlanmış fonksiyonu üretmek için bağlanan elektrikli ve elektronik bileşenlerin bir kombinasyonudur.

Vakum tüpleri dönemi ve hatta daha sonra, elektronik ekipman elle kablolama ve noktadan noktaya lehimleme ile yapılmaktaydı. Her bir bileşen el ile elektriksel ve mekanik olarak monte edilirdi. Bu elektronik ekipmanlar çok büyük ve hantaldı. Uçaklarda, sağlık sektöründe ve acil durumlar için tasarlanan ev aletlerinde kullanılması ve beklenen gereksinimleri karşılaması zordu. Bu nedenle, daha küçük ve daha kompakt elektronik ekipmanların geliştirilmesini gerektiriyordu. Yapılan çalışmalar sonrası, daha küçük bileşenlerin geliştirilmesi sağlanmış ve modüler tasarım popüler hale gelmiştir. Geliştirilen bu yeni düzenek ve teknolojinin temel amaçlarından biri de, ünite arızası yaşanması halinde onarım ve yeniden işleme sürelerinin azaltılması için bileşenlerinin kolay değiştirilebilir olmasıydı. Yaygın olarak, BDK olarak bilinen düzenek; elektronik bileşenlerin montajı için fiziksel yapıyı ve bileşenler arasındaki elektrik bağlantısını sağlayabilmekteydi.

BDK'lar, elektronik ekipmanlardaki bileşenler için en sık kullanılan ara bağlantı teknolojisidir. Tüm elektronik cihazlar bir veya daha fazla elektronik karta sahiptir. Şekil 4.1'de bir BDK/elektronik kart örneği görülmektedir [27].



Şekil 4.1 Elektronik kart örneği

Elektronik malzeme/bileşen: BDK'da bulunan elektronik devre elemanlarıdır. BDK'lar elektronik devre elemanlarının yerleştirildiği yüzeyler ve bu elemanları birbirine bağlayan bakır yollardan oluşur.

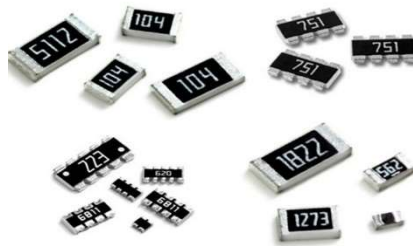
Elektronik devre elemanları BDK üzerine, Delikli BDK Teknolojisi ve Yüzey Montaj Teknolojisi olmak üzere iki tür teknoloji kullanılarak yerleştirilmektedir.

Delikli BDK teknolojisi: Geleneksel elektronik kart üretim metodudur. Elektronik devre elemanlarının bacakları baskılı devre kartı üzerindeki deliklere yerleştirilir ve kartın diğer yüzünden lehimlenir. Bu teknoloji kullanılarak yerleştirilen bileşenlere bacaklı bileşenler adı verilir. Şekil 4.2'de bacaklı bileşenlerden biri olan direnç örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.2 Bacaklı bileşen örneği

Yüzey montaj teknolojisi (Surface Mount Technology - SMT): baskılı devre kartının üzerine yerleştirilen elemanların doğrudan buldukları yüzeyde lehimlendiği üretim metodudur. Bu metot kullanılarak montajı yapılan bileşenlere yüzey monte bileşen adı verilmektedir. Şekil 4.3'te yüzey monte direnç örnekleri verilmektedir.



Şekil 4.3 Yüzey monte bileşen örnekleri

Lehimleme işlemi: iki ya da daha fazla metalin birleştirilmesi işlemidir. Elektronik malzemeler BDK'lara lehim ile monte edilmektedir.

Krem Lehim Sürme Cihazı: Krem lehim sürme cihazı, her BDK'ya özel tasarlanan çelik elekler sayesinde, BDK'nın gerekli tüm yerlerine krem lehim sürülmesini sağlayan cihazdır.

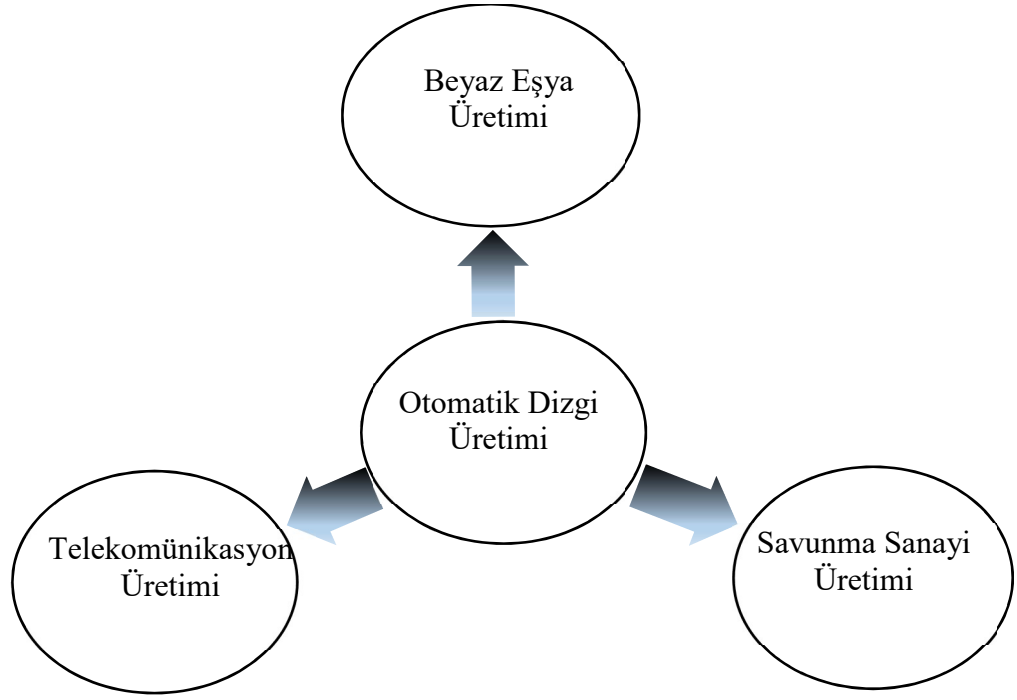
SMT Montaj Cihazı: SMT elektronik kart üretim sürecinde, elektronik malzemelerin kartlara montajını yapan cihazdır. Cihaz, makaralara yerleştirilmiş olan elektronik malzemeler ile beslenmektedir. Cihaz, vakumlu bir başlık sayesinde malzemeleri yerlerinden alarak elektronik kartta belirlenen yere monte edilmesini sağlamaktadır.

Fırın: Krem lehim sürülen BDK'lara malzeme montajı yapıldıktan sonra, lehimin eriyerek malzemeyi tutması için sıcaklık işleminin uygulandığı cihazdır

Otomatik Optik Kontrol Cihazı (Automatic Optic Inspection – AOI): Elektronik kart üzerindeki malzemelerin lehim ve montaj gereklerine göre otomatik olarak kontrollerinin gerçekleştirildiği cihazdır.

4.1.2. Firmanın elektronik kart üretim faaliyetleri

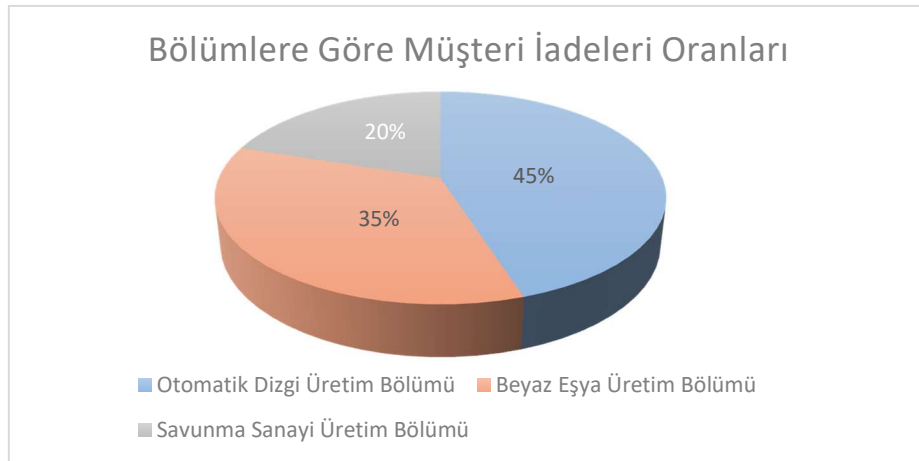
Firmada, elektronik kart üretim faaliyetleri kapsamında; telekomünikasyon, beyaz eşya ve savunma sanayi sektörleri için elektronik kart tasarımı ve yılda ortalama 8.000.000 adet elektronik kart üretimi yapılmaktadır. Üretimler, Beyaz Eşya Üretimi, Savunma Sanayi Üretimi, Telekomünikasyon Üretimi ve Otomatik Dizgi Üretimi olmak üzere 4 farklı üretim alanında gerçekleşmektedir. Otomatik Dizgi Üretim Bölümü diğer tüm üretim alanlarına yarı mamul sağlamaktadır. 4 üretim alanının etkileşimi Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Elektronik kart üretim alanları etkileşimi

4.1.3. Firmada Altı Sigma projesinin yapılacağı üretim sürecinin seçimi

Elektronik kart üretimi sürecinde son dönemlerde artan müşteri iadeleri nedeniyle üst yönetim tarafından bir Altı Sigma çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Son üç aylık müşteri iadesi verileri analiz edildiğinde, Şekil 4.5'te yer alan üretim bölümü kaynaklı iade grafiği elde edilmiştir.

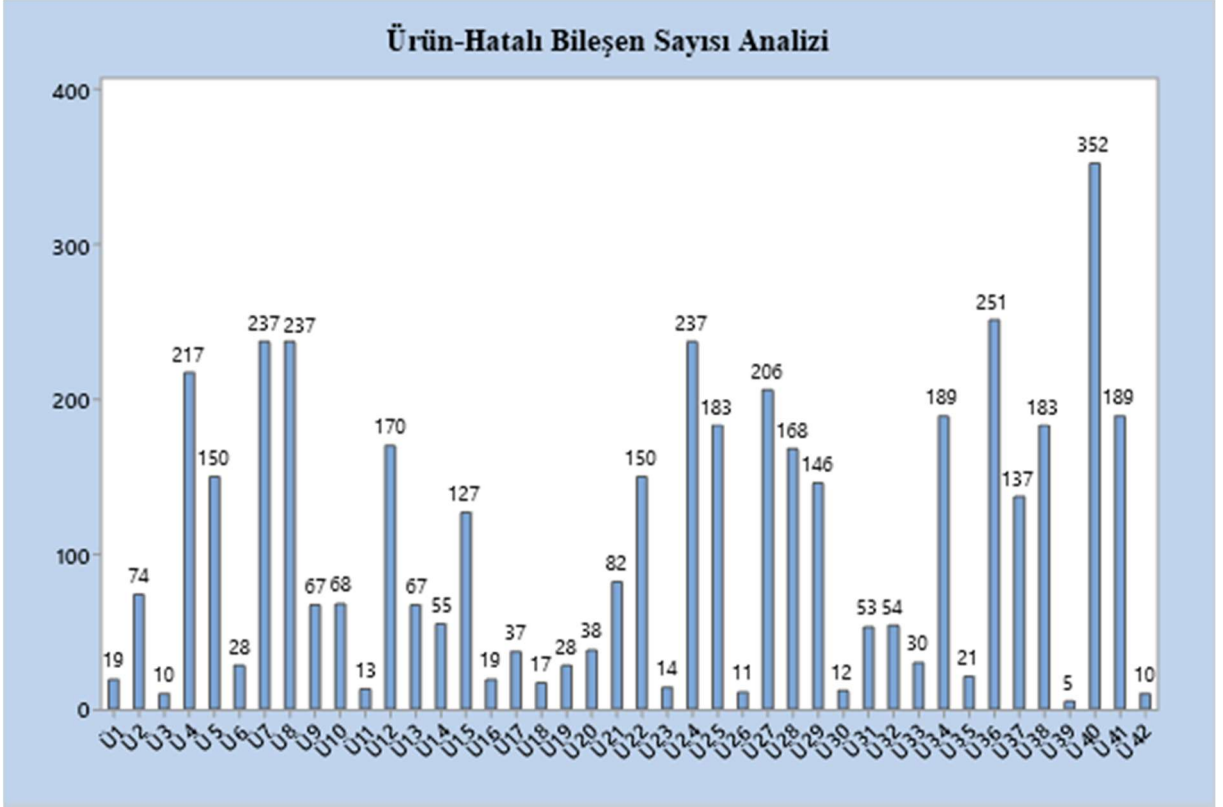


Şekil 4.5 Üretim bölümleri kaynaklı müşteri iadeleri oranlar

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, müşteri iadelerine en fazla neden olan bölüm Otomatik Dizgi Bölümüdür (ODB). ODB, diğer üretim bölümlerinin de tedarikçisi konumunda olduğu için bu alandaki iyileştirme çalışmalarının tüm bölümlerde olumlu etki yaratacağı düşünülmektedir. Tüm bu sebepler göz önünde bulundurularak Altı Sigma projesinin ODB'de yapılmasına karar verilmiştir.

ODB'de çok çeşitli ürün gruplarından oluşan yılda ortalama 8.000.000 kart üretimi yapılmaktadır. Yapılacak olan Altı Sigma çalışmalarının daha etkin olabilmesi için bir ürün grubunun seçilerek iyileştirme çalışmalarının onun üzerinde yapılması ve sonrasında tüm süreçlere yaygınlaştırılmasına karar verilmiştir.

ODB'de üretim süreçleri kurşunlu ve kurşunsuz lehim ile üretim yapılmasına göre 2 ana gruba ayrılmaktadır. Kurşunsuz lehim ile yapılan üretim, tüketici elektroniği, kurşunlu lehim ile yapılan üretim ise savunma sanayi üretimleridir. Savunma sanayi için üretilen kartlar diğer sektörlerle göre çok daha zor ve karmaşık olduğu için hata oranları ve maliyetleri daha yüksektir. Bu nedenle projenin ODB'nin kurşunlu lehim ile üretim yapan süreçlerinde yapılmasına karar verilmiştir. Savunma sanayi için üretilen ürünlerin hangisinde iyileştirme çalışmalarının yapılacağına karar vermek için ise son üç ayda savunma sanayii sektörü için üretilen ürünlerin hata sayıları analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 4.6'da verilmektedir. (Gizlilik sebebiyle ürünlerin gerçek isimleri yerine Ü₁, Ü₂ ... şeklinde kodlama kullanılmıştır.)



Şekil 4.6 Ürünlere ait hata sayısı grafiği

Analiz, ürün başına çıkan hata sayılarına göre yapılmıştır. Bunun nedeni; savunma sanayi ürünlerinde çıkan her bir hatalı bileşen için onarım işlemi yapılma gerekliliğidir. Bir ürünün üretim miktarı ne olursa olsun, oluşan toplam hata miktarı kadar tekrar işlem görmektedir. Bu nedenle ilk etapta en çok işçilik kaybı ve malzeme maliyeti oluşturulan kartın seçilmesi uygun görülmüştür.

Yapılan mevcut durum analizinde, en çok hatanın Ü₄₀ ürününde olduğu görülmüş ve iyileştirme çalışmalarının bu ürün ile başlatılıp diğer ürünlere de yaygınlaştırılması hedeflenmiştir.

4.2. Firmada Altı Sigma Çalışmaları

Firmada Altı Sigma çalışmaları yapılırken TÖAGK metodolojisi takip edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde TÖAGK fazlarında hangi çalışmaların yapıldığı anlatılmıştır.

4.2.1. Tanımlama fazı

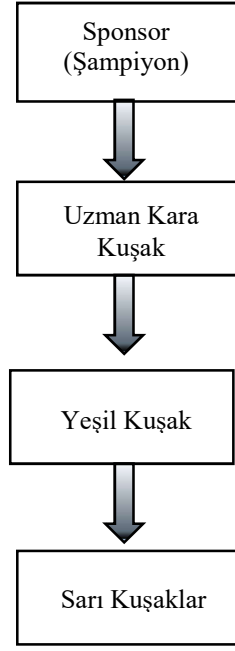
Firmada yapılacak olan Altı Sigma projesinin ekibini oluşturmak, proje kapsamını ve hedeflerini belirlemek, mevcut süreç hakkında arka plan bilgisi toplamak amacıyla tanımlama fazı çalıştırılmıştır.

Tanımlama fazında; proje beyanı, SIPOC, müşterinin sesi, sebep sonuç matrisi araçları kullanılmış ve mevcut durum sigma seviyesi hesaplanmıştır.

4.2.1.1. Proje beyanı

Projenin gösterge, hedef ve sınırlarının herkes tarafından anlaşılabilmesi için projenin tanımının yapıldığı, sınırlarının belirlendiği ve belirlenen proje ekibinin isimlerinin yer aldığı proje beyanı onaylanmak üzere üst yönetime sunulmuştur.

Projenin şampiyonu, proje boyunca üst yönetimin de desteğini alabilmek için 20 yıldır üst düzey yöneticilik yapan, Kalite Bölümü'nün yöneticisi olarak belirlenmiştir. Proje boyunca gerekli eğitimlerin verilme ve her türlü desteğin sağlanması için şampiyon tarafından, tüm teorik eğitimlerini tamamlamış, kariyeri boyunca 15'i aşkın projede bir UKK görevi üstelenmiş, firmada 4 yıldır kalite yöneticiliği yapan bir UKK atanmıştır. Projeye atanan UKK, projenin koordinasyonu ve yönetimi için teorik eğitimlerini tamamlamış 5 yıldır firmada kalite mühendisliği yapan bir YK'yı proje yöneticisi olarak görevlendirmiştir. İlgili üretim alanının en tecrübeli üretim ve kalite mühendisleri ile başteknisyenleri ekip üyesi SK olarak belirlenmiştir. Projenin organizasyon yapısı Şekil 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.7 Projenin organizasyon yapısı

Projenin tüm firma tarafından açıkça anlaşılabilmesi için; “Otomatik Dizgi Üretim Bölümü kurşunlu lehim ile üretim yapılan süreçlerdeki kart hatalarının azaltılması” olarak bir proje tanımı yapılmış ve duyurulmuştur.

Çalışmanın önceki bölümlerinde de bahsedildiği gibi, yapılacak olan iyileştirme çalışmalarının daha etkin olabilmesi, üzerinde çalışılacak sürecin net bir şekilde tanımlanabilmesi, proje ekibinin belirlenebilmesi, mevcut durum ölçümlerinin yapılabilmesi ve sebep-sonuç matrislerinin oluşturulabilmesi için projenin sınırları “Kurşunlu Üretim Yapan SMT Otomatik Dizgi Süreçleri” olarak belirlenmiştir.

Proje getirisi olarak, proje başarı ile tamamlandığında; onarım için harcanan işçilik maliyeti, hurda edilen hammadde maliyeti, onarım ve arıza kaynaklı süreçte boşa harcanan sürelerde düşüş, müşteri memnuniyeti ve ürün kalitesinde artış beklenmektedir.

Müşteri getirileri olarak, proje sonunda, müşteriye giden hatalı ürün miktarının azalması, ürün kalitesi ve zamanında teslimat oranlarının ise artmasıyla müşteri memnuniyetinin artması beklenmektedir.

Üç aylık verilere göre yapılan ölçümler sonucunda, üzerinde çalışılacak olan Ü₄₀ ürününden 226 adet üretildiği, 226 adet kartta toplam 33334 bileşenin kontrol edildiği ve 352 adet hatalı bileşen olduğu görülmüştür. Toplam ve hatalı bileşen sayıları ile yapılan hesaplama sonucunda; $DPMO = (352/33334) \times 1000000 = 10560$ olarak bulunmuş ve Tablo

3.2 DPMO-sigma seviyesi dönüşüm tablosu incelendiğinde, 10560 DPMO'nun 3,8 sigma sigma seviyesine denk geldiği görülmüştür.

Proje Hedefi; 10560 olan DPMO seviyesini yaklaşık %50 azaltarak 5000 DPMO'ya düşürmek ve 3,8 olan sigma seviyesini ise 4,1 sigma seviyesine çıkarmak olarak belirlenmiştir.

4.2.1.2. Detaylı süreç analizi (SIPOC)

Projede, tedarikçi, girdi, süreç, çıktı ve müşteri tanımlarının en iyi şekilde yapılması ve aralarındaki ilişkinin görülebilmesi için Tablo 4.1'de verilen SIPOC tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 4.1 SIPOC Tablosu

TEDARİKÇİ (SUPPLIER)	GİRDİ (INPUT)	SÜREÇ (PROCESS)	ÇIKTI (OUTPUT)	MÜŞTERİ (CUSTOMER)
<ul style="list-style-type: none"> -Giriş Kalite Kontrol Bölümü -Planlama Bölümü 	<ul style="list-style-type: none"> -Ham madde -İş Emri -Teknik Çizimler 	<ul style="list-style-type: none"> -Planlama Bölümü tarafından iş emrinin açılması -GKK tarafından hammaddeleri bölüme aktarılması -BDK'ların yıkanması -Lazer etiket baskısı -Krem lehimin kartalar sürülmesi -SMT montaj makinesi ile bileşenlerin montajı -Fırın -AOI cihazı -Taşıma -Depo 	<ul style="list-style-type: none"> SMT dizgisi tamamlanmış elektronik kartlar 	<ul style="list-style-type: none"> -Savunma Sanayii Üretim Bölümü -Beyaz Eşya Üretim Bölümü -Telekomünikasyon Üretim Bölümü -Ürün Kalitesi Bölümü -Planlama Bölümü

SIPOC diyagramına göre; sürecin tedarikçileri Giriş Kalite Kontrol ve Planlama Bölümü olarak belirlenmiştir. Süreç girdileri; hammadde, iş emirleri ve teknik çizimlerdir. Süreç çıktısı otomatik dizgi işlemi tamamlanmış elektronik kart ve müşterisi, Savunma Sanayi Üretim Bölümü, Beyaz Eşya Üretim Bölümü, Telekomünikasyon Üretim Bölümü, Ürün Kalitesi ve Planlama Bölümü'dür.

4.2.1.3. Müşterinin sesi (VOC)

SIPOC çalışması yapıldığında, bölümün yalnızca iç müşterilerin olduğu görülmüştür. Belirlenen müşterilerin projeden beklentilerini anlamak ve kalite karakteristiklerini belirlemek için VOC yapılmıştır. Tablo 4.2'de müşterilerin projeden beklentileri yer almaktadır.

Tablo 4.2 VOC tablosu

İç Müşteri	Projeden Beklentisi
Planlama Bölümü	Hatalı üretilen kartlar için harcanan işçilik sisteme girilerek herkes tarafından takip edilebilir olmalı
Planlama Bölümü	Hatalı üretilen kartlar için harcanan maliyet herkes tarafından takip edilebilir olmalı
Planlama Bölümü	Hatalı kart sayıları toplu ve kolay bir şekilde ulaşılabilir ve sistem üzerinden takip edilebilir olmalı
Planlama Bölümü	Hatalı kartlar malzeme ihtiyaç planlamasını bozdukları için hatalı kart oranının azaltılması gerekmektedir.
Planlama Bölümü	Hatalı kartlar kapasite planını bozduğu için israfı neden oluyor bu nedenle oranının azaltılması gerekmektedir.
Planlama Bölümü	Hatalı kart tamir maliyetinin yüksek oluşu, talep miktarını azaltıyor bu nedenle oranının azaltılması gerekmektedir.
Beyaz Eşya Sektörü Üretim Bölümü	Hatalı kartların tamir ile geri dönüşü müşteri tarafından kabul edilmemekte ve hurda olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle oranının en aza indirilmesi gerekmektedir.
Beyaz Eşya Sektörü Üretim Bölümü	Hatalı kart karar/kayıt/tespit gibi konularda fazladan işçiliğe yol açtığı için oranının azaltılması gerekmektedir.
Savunma Sanayi Sektörü Üretim Bölümü	Hatalı kart karar/kayıt/tespit gibi konularda fazladan işçiliğe yol açtığı için oranının azaltılması gerekmektedir.

Tablo 4.2 devam ediyor

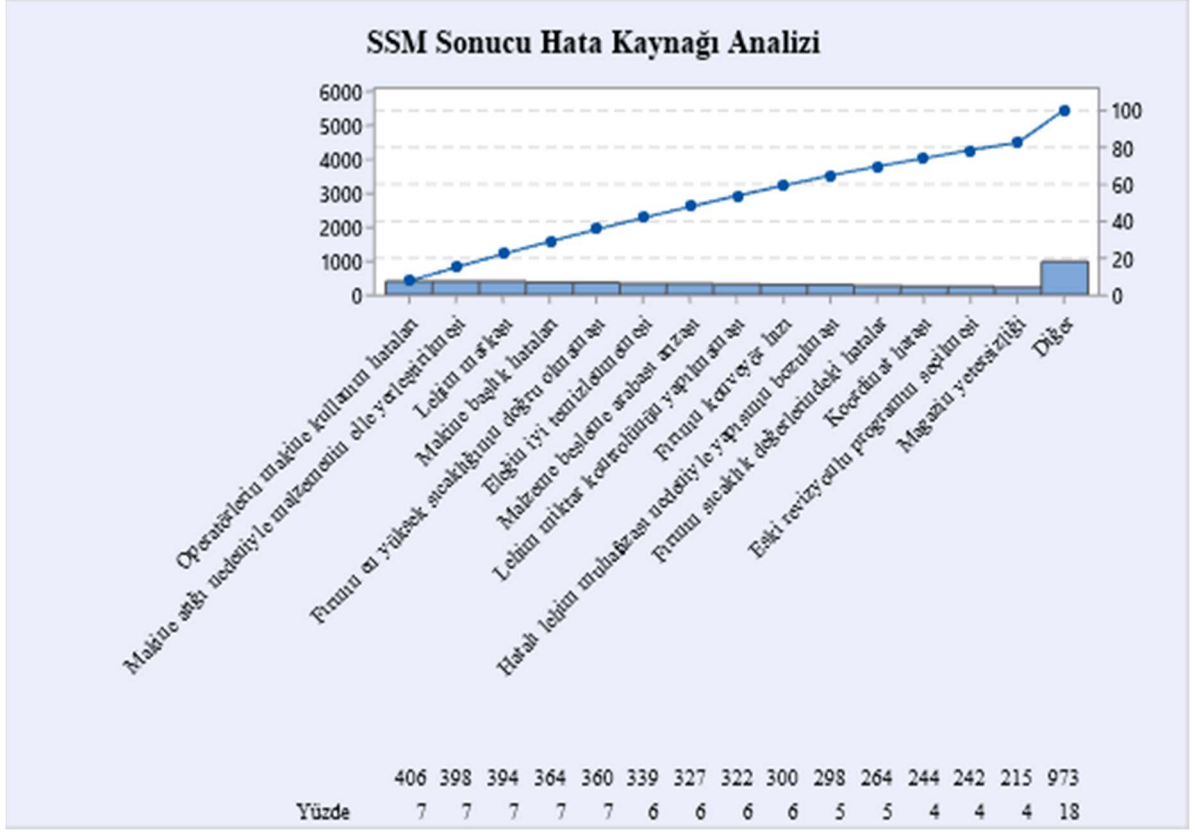
Telekomünikasyon Sektörü Üretim Bölümü	Hatalı kart karar/kayıt/tespit gibi konularda fazladan işçiliğe yol açtığı için oranının azaltılması gerekmektedir.
Otomatik Dizgi Ürün Kalitesi Bölümü	AOI kontrol kartının hatalı dizilmiş olması hataların tespit edilememesine neden oluyor bu nedenle bölüme hatasız kontrol kartı iletilmelidir.

Yapılan VOC sonrası, SMT süreci sonunda çıkan ürünlerin hata oranları KKK olarak belirlenmiştir.

4.2.1.4. SebeP sonuç matrisi (SSM)

VOC ile belirlenen KKK'lerini karşılamak için proje ekibi tarafından sebeP sonuç matrisi oluşturulmuştur. Matriste, 0; ilişki yok, 1; çok zayıf ilişki, 4; orta düzeyde ilişki, 9; güçlü ilişki olacak şekilde müşteri için önemine göre kalite karakteristiklerine 1 ile 10 arasında puan verilmiştir.

SMT üretim hattında, hatalı ürünler montaj ve lehim hatalı olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. İyileştirme çalışmalarında, hataların kök nedenlerini en doğru şekilde belirleyebilmek için sebeP sonuç matrisinde KKK değeri, elektronik kart hata türleri (kısa devre, yetersiz lehim, lehim topu, eksik malzeme, mezar taşı, malzeme kaymış, kalkmış veya kıvrılmış bacak, lehimlenebilirlik, fazla lehim, hasarlı malzeme) şeklinde ayrıntılı bir şekilde puanlandırılmıştır. SebeP Sonuç Matrisi EK-1'de verilmiştir. SSM'de elde edilen, girdilerin çıktılarla olan ilişki puanları Şekil 4.8'de verilmiş olan Pareto grafiği ile analiz edilmiştir. %80'lik dilime giren hata nedenlerinin üç ana süreç kaynaklı olduğu görülmüştür. Söz konusu süreçler; lehim sürme süreci, SMT montaj süreci ve fırın süreci iyileştirme çalışmaları kapsamına alınmıştır.



Şekil 4.8 SSM sonucu hata kaynağı analizi

4.2.2. Ölçme fazı

Ölçme fazında ilk olarak, sürecin veri kaynakları incelenmiş ve sürecin sonunda bulunan ve otomatik olarak lehim ve montaj kontrolü yapan AOI cihazlarının verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Proje için seçilen ürün sürekli üretimi olan, seri olarak üretilen bir ürün olmadığı için, verilerin, ürünün proje başlangıç tarihinden itibaren ilk kez üretileceği tarih olan Ocak 2019'dan başlayarak 3 ay boyunca her üretimde, aynı zamanda ekip üyesi de olan ürün kalitesi mühendisi tarafından toplanması planlanmıştır.

4.2.2.1. Ölçüm sistemi analizi (Gage R&R)

AOI cihazları kartların hatalarını tespit etmekte ve hatalı kartları süreçten ayırmaktadır. Fakat kalite kontrolün tam olarak tamamlanabilmesi için hatalı kartlar cihazdan geçtikten sonra bir de operatörün kontrolüne sunulmaktadır. Bu aşamada operatörün yetkinliği ve tecrübesine bağlı olarak hatalı kararlar verilebilmektedir. Bu

nedenle; veri toplama sisteminden emin olmak adına, AOI cihazı sonrası kontrol yapan operatörler için Gage R&R yöntemi kullanılarak bir ölçüm sistemi analizi yapılmıştır.

Gage R&R analizi yapılırken; tüm operatörlere, kontrol edip hatalı bileşenleri belirlemeleri için, öncesinde bir uzman (bölümün başteknisyeni) tarafından incelenmiş ve tüm hataları belirlenmiş toplamda 31 hatalı bileşen olan 29 kart verilmiştir.

Yapılan çalışma ile personellerin yinelenebilirlik ve yeniden üretilebilirlik kabiliyetleri analiz edilmiştir.

Yinelenebilirlik (Repeatability), aynı ürünün, aynı AOI cihazı kullanılarak, aynı kontrol personeli tarafından birçok defa kontrol edildiğinde ortaya çıkan değişkenlik olarak alınmıştır. (personelin kendi ile olan tutarlılığı)

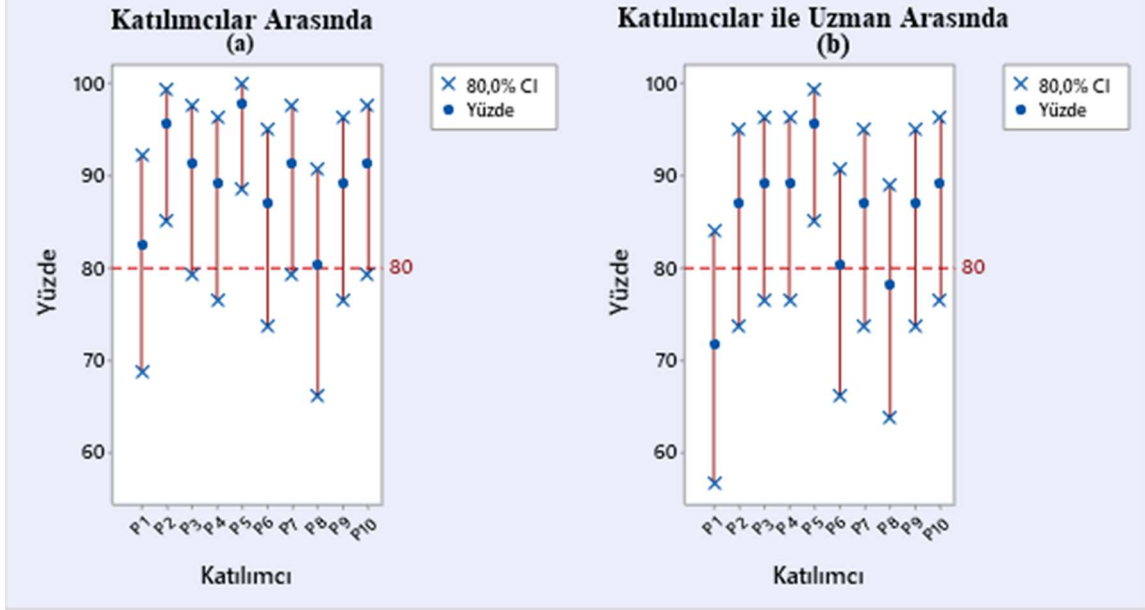
Yeniden Üretilebilirlik (Reproducibility), aynı ürünün, aynı AOI cihazı kullanılarak, farklı kontrol elemanları tarafından birçok defa yapılan ölçümlerin ortalamasındaki değişkenlik olarak alınmıştır. (personellerin birbirleri ile olan tutarlılığı)

Çalışmanın hedefi, bölüm yöneticileri tarafından belirlenmiştir. Belirlenen 2 hedef;

- Her operatörün kart üzerinde hatalı olarak belirlediği bileşenlerin, uzmanın belirlediği hatalı bileşenler ile en az %80 oranında tutarlı olması,
- Her operatörün kart üzerinde hatalı olarak belirlediği bileşenlerin, diğer operatörlerle en az %80 oranında tutarlı olmasıdır

Çalışma tüm AOI operatörleri için yapılmış olup sonuçlar Şekil 4.9'da verilmiştir.

Tarih: 7-14 Kasım 2018
Raporlayan: Cansu Öndemir Hazır
Ürün adı: ZEXT00381
Kart ve hata miktarı: 29 kart, 31 hata

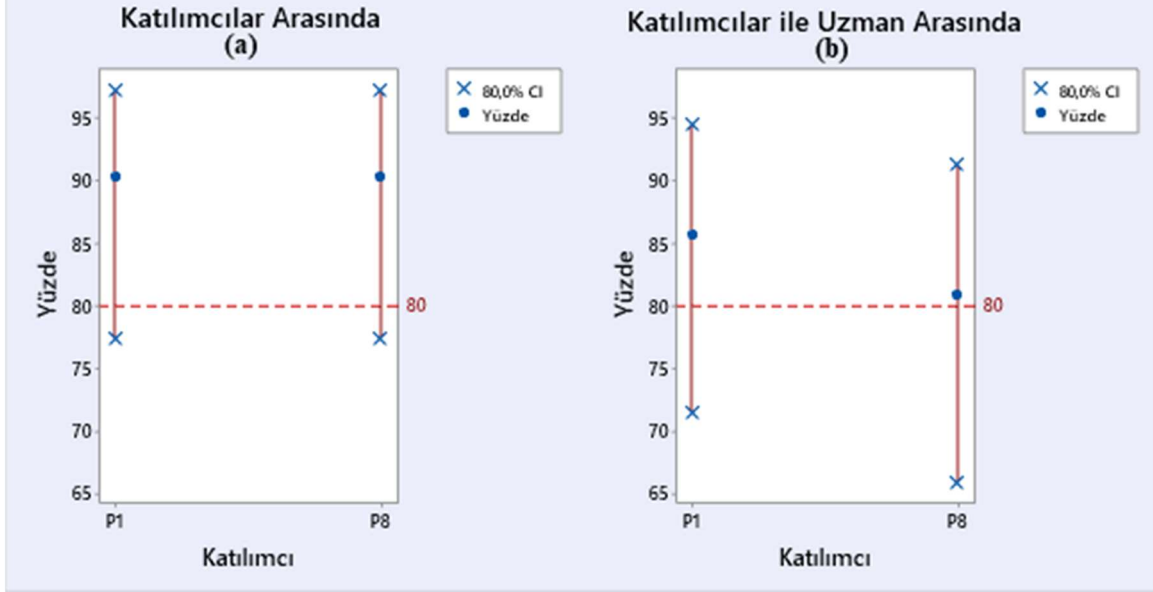


Şekil 4.9 AOI operatörleri için yapılan Gage R&R çalışması sonucu

(a) grafiği; analize katılan personellerin, kartlar için verdikleri hatalı bileşen kararlarının, birbirleri ile tutarlılık oranını vermektedir. Grafik incelendiğinde; tüm personellerin birbirleri ile en az %80 oranında tutarlı kararlar verdiği görülmektedir.

(b) grafiği; analize katılan her bir personel ile uzmanın vermiş olduğu hatalı bileşen kararları arasındaki tutarlılık oranını göstermektedir. Grafik incelendiğinde, P1 ve P8 personellerinin, analiz çalışmasının hedefi olan, personel ile uzman görüşü arasındaki %80 tutarlılık oranını yakalayamadığı ve hedef çizgisinin altında kaldığı görülmüştür. Bu sonuca göre, veri toplama planı kapsamında toplanacak verilerin hatalı olma ihtimali olduğu için, ilgili personellere işbaşı eğitimleri verilmiştir. Verilen eğitimlerin sonrasında Gage R&R çalışması P1 ve P8 personelleri için, toplamda 32 hata içeren 29 adet kart ile tekrar edilmiştir. Şekil 4.10'da işbaşı eğitimleri sonrası yapılan Gage R&R çalışmasının sonucu yer almaktadır.

Tarih: 4-7 Aralık 2018
Raporlayan: Cansu Öndemir
Ürün adı: ZEXT00381
Kart ve hata miktarı: 29 kart, 32 hata

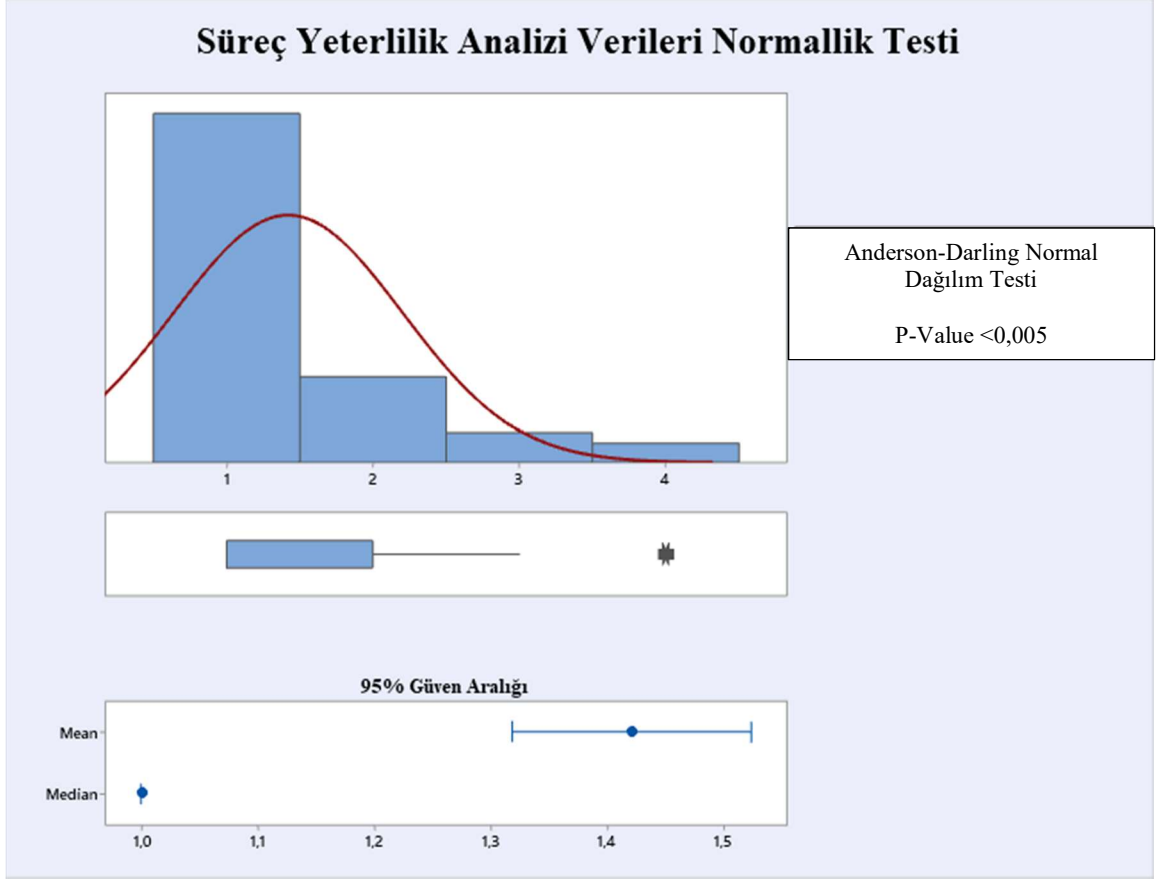


Şekli 4.10 İşbaşı eğitimi sonrası yapılan Gage R&R çalışmasının sonucu

(a) Grafiği incelendiğinde; analize katılan 2 personelin de vermiş olduğu hatalı bileşen kararlarının birbirleri ile %90 oranında tutarlı olduğu görülmektedir. (b) grafiği incelendiğinde ise 2 personelin de vermiş olduğu hatalı bileşen kararlarının uzmanın vermiş olduğu kararlar ile en az %80 oranında tutarlı olduğu görülmektedir. Bu durumda, tüm personeller, çalışmanın başında belirlenen 2 hedefi de gerçekleştirdiği için ölçüm sistemlerinin güvenilir olduğu söylenebilmektedir.

4.2.2.2. Süreç yeterliliği analizi

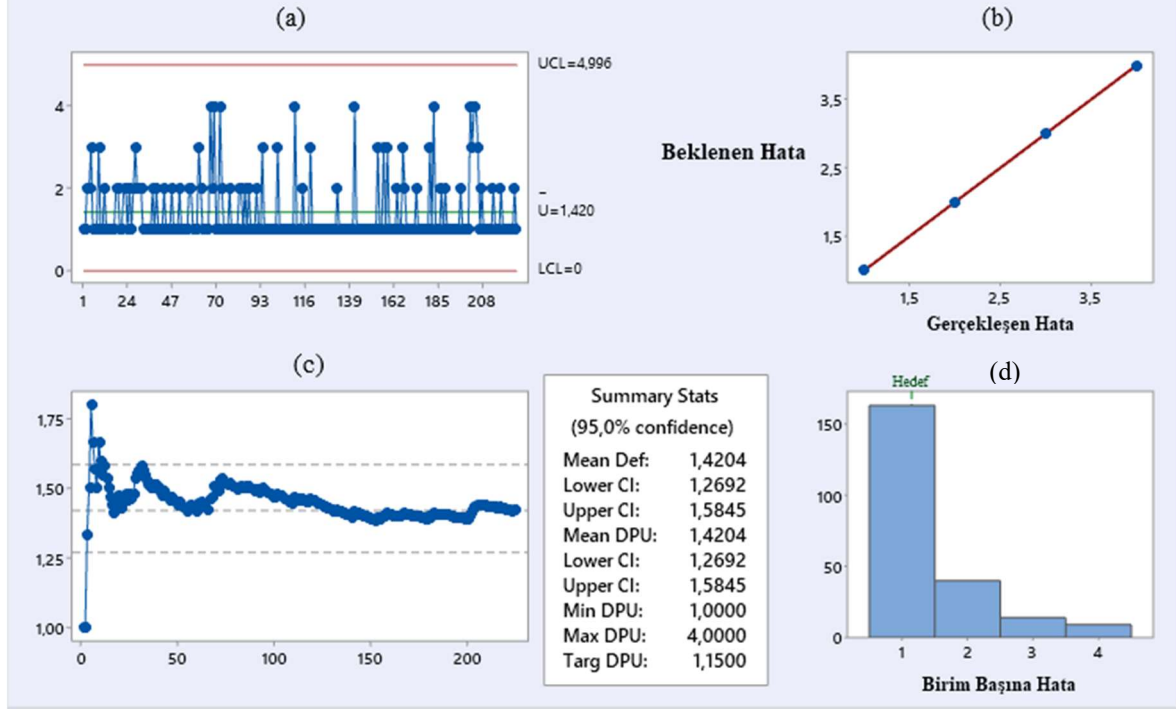
ODB'de bulunan SMT elektronik kart üretim sürecinin mevcut durumunu görebilmek için süreç yeterliliği analizi yapılmaya karar verilmiştir. Analiz, proje başlangıcında, iyileştirme çalışmaları için, ürün tespitinde kullanılan veriler ile kartın üretildiği hat üzerinde yapılmıştır. Analizin hedef değerini belirlemek için, projenin hedefi olan 5000 DPMO göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda, verilere ilk olarak normallik testi yapılmıştır. Normallik testinin sonucu Şekil 4.11'de yer almaktadır.



Şekil 4.11 Süreç yeterlilik analizi verileri normal dağılım test sonucu

Yapılan test sonucu; P-Değeri<0,005 olduğu için verilerin normal dağılmadığı görülmüştür. Bu nedenle süreç yeterlilik analizinde, bir üründe birden fazla hatayı içeren veri setleri için uygun olan Poisson Süreç Yeterlilik Analizi kullanılmıştır. Sürecin, projenin hedefi olan 5000 DPMO oranına uygun çıktı üretebilme yeterliliğini görebilmek için yapılan süreç yeterlilik çalışmasında, hedef hatalı bileşen miktarı 5000 DPMO'ya uygun olacak şekilde belirlenmiştir. Bu durumda, 230 bileşeni bulunan her bir \bar{U}_{40} kartında, toplam ve hatalı bileşen oranının en fazla 5000 DPMO olabilmesi için; $DPMO = (\text{hatalı bileşen/toplam bileşen}) \times 1000000$ formülü kullanılarak bir hesaplama yapıldığında, en fazla 1,15 bileşenin hatalı olması gerektiği görülmüştür. Bu nedenle analiz yapılırken, hedef değer (Target DPU) 1,15 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.12'de Süreç yeterlilik analizi sonucu yer almaktadır.

İyileştirme Öncesi Süreç Yeterlilik Analizi



Şekil 4.12 İyileştirme öncesi süreç yeterlilik analizi sonucu

(a) grafiği; süreçte üretilen çıktı değerleri ve ortalamalarına göre hesaplanan üst (ÜKL) ve alt (AKL) kontrol limitleri ile, sürecin kontrol altında olup olmadığının kontrolünü sağlayan U grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde, analizde çıktı değeri olarak kullanılan, kart başına hatalı bileşen miktarlarının hiç birinin kontrol limitleri dışında olmadığı görülmüştür. Bu nedenle süreç kontrol altındadır.

(b) grafiği; analizde kullanılan verilerin Poisson dağılımı uygunluğunu göstermektedir. Grafikte, verilerin doğrusal bir çizgiye yakın olarak dağılması, verilerin Poisson Dağılımı'na uygun olduğunu göstermektedir.

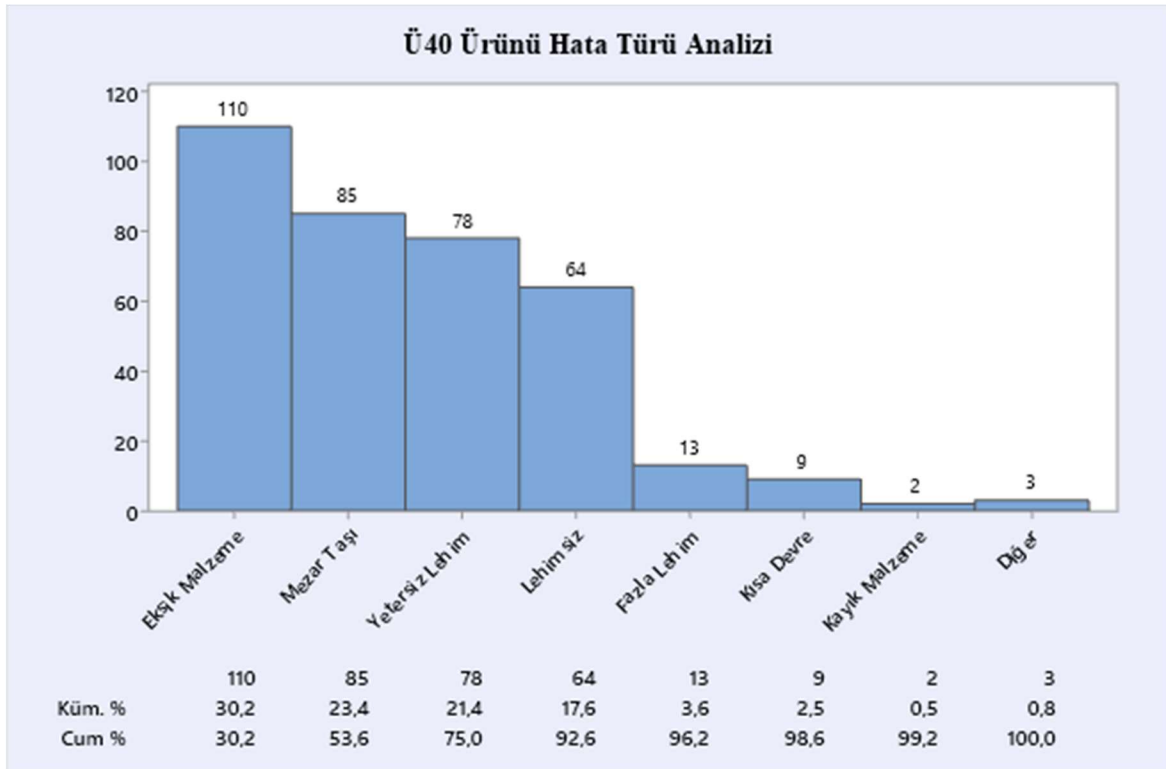
(c) grafiği; analizde kullanılan veri miktarının yeterli olup olmadığını göstermektedir. Veriler, belli bir noktadan sonra kart başına çıkan hatalı bileşen miktarlarının ortalaması (Mean DPU) etrafında kümelendiği için örneklem büyüklüğünün yeterli olduğu söylenebilmektedir.

(d) grafiği; parça başına çıkan hatalı bileşen sayılarının dağılımını göstermektedir.

Yapılan süreç yeterlilik analizi sonucunda; belirlenen, kart başına hatalı bileşen hedef sayısının (Target DPU), tüm kartların hatalı bileşen ortalama sayılarından (Mean DPU) küçük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, sürecin iyileştirme hedefi olan en fazla 5000 DPMO hata oranı için yetersiz olduğu söylenebilmektedir. Bu durumda süreç, müşterinin isteğini karşılayacak çıktılar üretilmiyor demektir ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Süreç yeterliliği ölçümleri iyileştirme çalışmaları sonunda, kontrol fazında tekrarlanacaktır.

4.2.3. Analiz fazı

Projenin analiz fazında, veri toplama planına uygun olarak, seçilen Ü₄₀ ürününe ait AOI verileri toplanmış ve hata türü analizi yapılmıştır. 198 adet elektronik kartta, toplam 33660 elektronik malzeme kontrol edilmiş ve 364 adet hata bulunmuştur. Analiz sonucu Şekil- 4.13'te yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde; hataların %30'unu eksik malzeme hatasının oluşturduğu görülmüştür. Sonraki en yüksek orandaki hatalar ise lehim ve fırın süreçleri kaynaklı hatalar olan “mezar taşı”, “yetersiz lehim” ve “lehimsiz” hatalarıdır.



Şekli 4.13 Ü₄₀ ürünü hata türü analizi

4.2.4. Geliştirme fazı

Çalışmanın geliştirme fazında, analiz fazı sonrası tespit edilen hatalar ve tanımlama fazında oluşturulan SSM sonuçlarına dayanarak 2 aşamalı süreç iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. İlk iyileştirme çalışmaları, en çok montaj hatalarına neden olan, üretim cihazları ve personel kaynaklı hatalar için yapılmıştır. İkinci iyileştirme çalışmaları ise krem lehim ve fırın süreçleri kaynaklı hatalar için yapılmıştır. SSM incelendiğinde, lehim hatalarında, lehim çeşidi, fırının en yüksek sıcaklığı ve yine fırının konveyör hızının etkili olduğu görülmüş ve bu üç faktör için deney tasarımı yapılarak en iyi parametre değerlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

SSM sonucunda elde edilen en önemli hata kaynakları ve yapılan çalışmalar Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.3 Belirlenen hata kaynakları ve yapılan çalışmalar

Hata Kaynağı	Yapılan Çalışmalar
Operatörlerin makine kullanım hataları	Personellere verilen iş başı eğitimleri güncellendi
Makine atığı nedeniyle malzemenin elle yerleştirilmesi	Makine bakımları ve kalibrasyon işlemleri güncellendi
Lehim markası	Deney tasarımı çalışması yapıldı.
Makine başlık hataları	Makine bakımları ve kalibrasyon işlemleri güncellendi
Fırının en yüksek sıcaklığının doğru olmaması	Deney tasarımı çalışması yapıldı.
Eleğin iyi temizlenmemesi	Mevcut durumda, süreç için gerekli iyileştirme çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Bu nedenle bir aksiyon alınmamıştır.
Malzeme besleme arabası arızası	Besleme arabaları için ek kontroller eklendi
Lehim miktar kontrolünün yapılmaması	Mevcut durumda, süreç için gerekli iyileştirme çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Bu nedenle bir aksiyon alınmamıştır.
Fırının konveyör hızı	Deney tasarımı çalışması yapıldı.
Hatalı lehim muhafazası nedeniyle yapısının bozulması	Mevcut durumda, süreç için gerekli iyileştirme çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Bu nedenle bir aksiyon alınmamıştır.
Fırının sıcaklık değerlerindeki hatalar	Makine bakımları ve kalibrasyon işlemleri güncellendi
Koordinat hatası	Makine bakımları ve kalibrasyon işlemleri güncellendi
Eski revizyonlu programın seçilmesi	Personellere verilen iş başı eğitimleri güncellendi
Magazin yetersizliği	Mevcut durumda, süreç için gerekli iyileştirme çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Bu nedenle bir aksiyon alınmamıştır.

4.2.4.1. Üretim cihazları ve personeller ile ilgili iyileştirme çalışmaları

Makine bakımlarının güncellenmesi

SMT montaj makinesi bir başlık yardımıyla elektronik malzemeyi malzeme makarasından alır ve karta yerleştirir. Ucunda bulunan sensörler sayesinde herhangi bir sebepten ötürü malzemeyi alamazsa cihaz hata verir. SMT montaj süreci lehim sürme işleminden sonra olduğu için SMT montaj makinesinin malzemeleri karta yerleştiren başlığının ucuna işlem sırasında krem lehim bulaşabilmektedir. Bu nedenle, başlık makaradan malzeme almasa dahi uçtaki sensörler lehim malzeme olarak görür ve malzeme alamadığının farkına varamaz ve hata sinyali veremez. Bu durum eksik malzeme hatasına neden olur. Bu nedenle makinenin bakımlarının aksatılmadan yapılması gerekmektedir. Mevcut durumda makinelere yıllık, aylık ve haftalık rutin bakım yapılmaktadır. Proje kapsamında makinelere günlük bakımlar tanımlanarak başlığın temizliğinin günlük yapılması sağlanmıştır.

Makine kalibrasyonu/avarı

SMT montaj makinesinde kalibrasyon işleminin en önemli etkisi; başlığın makaradan aldığı malzemeyi doğru koordinata yani doğru konuma yerleştirilmesinin sağlanmasıdır. Fakat kalibrasyon eksikliği nedeniyle başlığın vakum seviyesindeki azalma fark edilemezse eksik malzeme hataları ile de karşı karşıya kalınmaktadır. Vakum seviyesi düşen başlık, malzemeyi ya makarasından alamamakta ya da aldığı malzemeyi cihaz içindeki hareketleri sırasında düşürebilmektedir. Bu durum hem eksik malzeme hatasına hem de cihaz içinde atık malzeme oluşmasına neden olmaktadır.

Cihazın kalibrasyonu yalnızca yetkili servis tarafından yapılan maliyeti bir işlemdir. Bu nedenle mevcut durumda, cihazların kalibrasyonu yalnızca ciddi bir arıza olduğunda tamir sonrası yapılmaktaydı. Proje kapsamında, cihazların kalibrasyon maliyetleri değerlendirilerek kalibrasyon takibine alınarak, ilk kalibrasyonları yaptırılmıştır.

Personellere verilen iş başı eğitimlerinin güncellenmesi

Operatörlerin makine kullanım hataları ve eski revizyonlu programın seçilmesi kaynaklı hataların azaltılması için personellere verilen işbaşı eğitimleri revize edilmiştir. SMT montaj ve krem lehim makinelerinin programları bölüm mühendisleri tarafından cihaz

veri tabanına yazılmakta fakat üretim sırasında operatörler tarafından seçilmektedir. Müşteri isteği gereği eski revizyonlar da saklanmakta, talep edildiğinde eski revizyonlu ürünler de üretilebilmektedir. Bu durumun operatörlerin yanlış program seçmesine neden olduğu görülmüştür. Programların tüm revizyonları aynı alanda bulunduğu için tecrübe ya da dikkat eksikliği operatörün yanlış program seçmesiyle sonuçlanmaktaydı. Bu hatayı önlemek için proje kapsamında; operatörlerin iş başı eğitimlerine cihaz program seçimi ve kullanımıyla ilgili maddeler eklendi ve bölüm mühendislerinin aynı ürüne ait eski revizyonlu programları ayrı bir klasörde saklayabilmesi için ayrı bir veri tabanı oluşturulmuştur.

SMT cihazı malzeme besleme arabalarının bakımları

SMT montaj makinesinin hammadde beslemesini yapan, malzeme arabalarının bakımları yapılmazsa, takılan hammadde makaraları boşa dönmekte ve hammaddeleri cihazın başlığı almadan cihazın içine fırlatabilmektedir. Bu hata sonucu başlık alması gereken hammaddeyi alamadığı gibi cihaz içinde atık malzeme oluşmaktadır. Mevcut durumda, malzeme besleme arabalarının bakımları haftalık olarak yapılmaktaydı Proje kapsamında hatanın oluşmaması için günlük kısa kontroller tanımlanmıştır.

4.2.4.2. Deney tasarımı çalışması

Proje kapsamında, SSM ve ürüne ait hata türü analizi grafiği incelendiğinde, lehim hataları için lehim çeşidi, fırının en yüksek sıcaklığı ve fırının konveyör hızı faktörlerinin etkili olduğu görüldüğü için 3 faktörlü deney tasarımı yapılmıştır. Deneyler, her deney için 2 tekrar olacak şekilde tasarlanmıştır.

Mevcut durumda, ürün özelinde fırın için belli bir en yüksek sıcaklık değeri ve konveyör hızı değerinin olmadığı, işlerin yoğunluğu ve kartın yapısına göre, belirli aralıklarda değişen değerlerden o an uygun olanın seçildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca stok durumuna göre 2 çeşit lehim markasından biri kullanılabilir. Bu süreç değişkenliği ürünlerde lehim hatalarının oluşmasına neden olmaktadır. Değişkenliğin ortadan kaldırılması adına, bu çalışmada, seçilen Ü₄₀ ürünü için söz konusu parametrelerin en iyi değerlerinin bulunarak standartlaştırılması hedeflenmektedir. Proje ekibi tarafından deney tasarımı için belirlenen faktörler ve değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir

Tablo 4.4 Deney tasarımı faktörleri

Faktör	1. Değer	2. Değer
Fırının En Yüksek Sıcaklığı	210(°C)	230(°C)
Fırının Konveyör Hızı	50 (cm/dk)	90 (cm/dk)
Lehim Markası	Lehim2	Lehim1

Tablo 4.5'te yapılan deney tasarımı ve yapılacak olan deneylerin sırası verilmektedir. Proje kapsamında, her deney için 5 elektronik kart kullanılmıştır. Ü₄₀ ürününde 230 malzeme bulunmaktadır. Bu nedenle her deney için DPMO hesabı 1150 malzeme üzerinden ve yalnızca lehim hataları için yapılmıştır.

Tablo 4.5 Deney tasarımı sonucu oluşturulan deneyler listesi

Deney Sırası	En Yüksek Sıcaklık(°C)	Konveyör Hızı (cm/dk)	Lehim Markası
1	230	90	Lehim1
2	230	50	Lehim2
3	210	50	Lehim1
4	210	90	Lehim1
5	230	50	Lehim1
6	210	50	Lehim2
7	230	90	Lehim2
8	210	50	Lehim2
9	210	90	Lehim1
10	230	50	Lehim2
11	210	90	Lehim2
12	210	90	Lehim2
13	230	90	Lehim2
14	230	50	Lehim1
15	210	50	Lehim1
16	230	90	Lehim1

Belirlenen deneylerin 5'er elektronik kartla yapılması sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Yapılan deneyler sonucunda kartlarda oluşan hata sayıları

Deney Sırası	En Yüksek Sıcaklık($^{\circ}C$)	Konveyör Hızı (cm/dk)	Lehim Markası	Gerçekleşen Hata Sayısı
1	230	90	Lehim1	35
2	230	50	Lehim2	16
3	210	50	Lehim1	7
4	210	90	Lehim1	24
5	230	50	Lehim1	16
6	210	50	Lehim2	3
7	230	90	Lehim2	15
8	210	50	Lehim2	2
9	210	90	Lehim1	18
10	230	50	Lehim2	14
11	210	90	Lehim2	15
12	210	90	Lehim2	11
13	230	90	Lehim2	20
14	230	50	Lehim1	12
15	210	50	Lehim1	8
16	230	90	Lehim1	28

Gerçekleşen hata sayılarına göre tüm faktörlerin etki değerleri Tablo 4.7'de ve etkileşimleri Şekil 4.14'te verilmektedir.

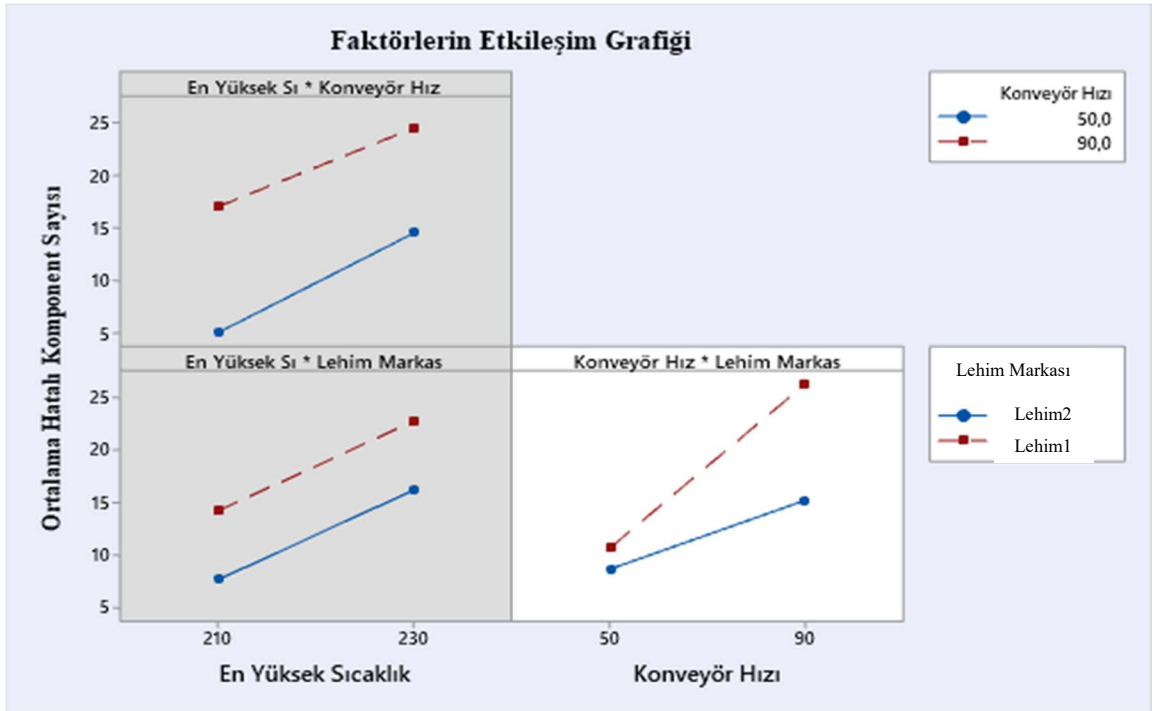
Tablo 4.7 Faktörlerin etki analizi

Faktör	Etki	Katsayı	Standart hata	T-Değeri	P-Değeri	VIF
En Yüksek Sıcaklık(°C)	8,500	4,250	0,760	5,59	0,001	1,00
Konveyör Hızı (cm/dk)	11,000	5,500	0,760	7,23	0,000	1,00
Lehim Markası	6,500	3,250	0,760	4,27	0,003	1,00
En Yüksek Sıcaklık(°C)*Konveyör Hızı (cm/dk)	-1,000	-0,500	0,760	-0,66	0,529	1,00
En Yüksek Sıcaklık(°C)*Lehim Markası	0,000	0,000	0,760	0,00	1,000	1,00
Konveyör Hızı (cm/dk)*Lehim Markası	4,500	2,250	0,760	2,96	0,018	1,00
En Yüksek Sıcaklık(°C)*Konveyör Hızı (cm/dk)*Lehim Markası	3,000	1,500	0,760	1,97	0,084	1,00

R-sq=%93,49

Tabloda, faktörlerin; kartlarda oluşan hatalı bileşenler üzerindeki etki değerleri, modeldeki katsayıları, karar vericinin hatalı karar vermesi üzerindeki olasılıkları (P-Değeri) ve birbirleri ile olan çoklu bağlantı (VIF) verileri yer almaktadır.

Tablo incelendiğinde, varyans şişirme faktörlerinin (VIF) hepsinin 10'dan küçük olduğu görülmüştür. Bu durum hiçbir faktörün çoklu bağlantıya sahip olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.14 Tüm faktörlerin etkileşim grafikleri

Projede, savunma sanayii için üretilen bir kart üzerinde deney tasarımı yapıldığından dolayı güven seviyesi %95 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, hatalı karar verme olasılığının hesaplandığı P-değeri 0,05'ten yüksek olan faktörler modelden çıkarılmıştır. Çıkarılan faktörlerden sonra, çıktı üzerinde etkili olan faktörlerin etkileşimleri Tablo 4.8'de verilmektedir.

Tablo 4.8 Modelde etkili faktörler

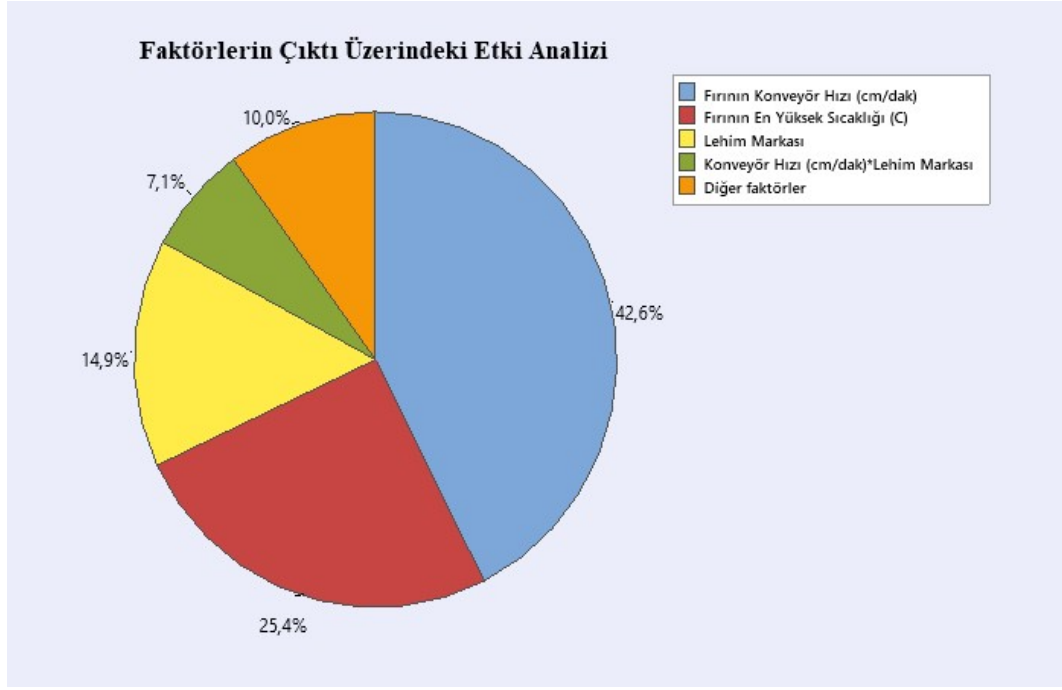
Faktör	Etki	Katsayı	Standart hata	T-Değeri	P-Değeri	VIF
En Yüksek Sıcaklık(°C)	8,500	4,250	0,805	5,28	0,000	1,00
Konveyör Hızı (cm/dk)	11,000	5,500	0,805	6,83	0,000	1,00
Lehim Markası	6,500	3,250	0,805	4,04	0,002	1,00
Konveyör Hızı (cm/dk)*Lehim Markası	4,500	2,250	0,805	2,80	0,017	1,00
Faktör	SD	Ayar. Kareler Toplamı	Ayar. Ortalama Kareler	F-Değeri	P- Değeri	
En Yüksek Sıcaklık(°C)	1	289,00	289,000	27,89	0,000	
Konveyör Hızı (cm/dk)	1	484,00	484,000	46,70	0,000	
Lehim Markası	1	169,00	169,000	16,31	0,002	
Konveyör Hızı (cm/dk)*Lehim Markası	1	81,00	81,000	7,82	0,017	
Hata	11	114,00	10,364			

Modelde etkili olan faktörlerle yapılan analizde R-sq=%89,97 çıkmıştır. Bu durum, modelde yer alan faktörlerin yaklaşık %90 oranında çıktı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Faktörlerin çıktı üzerindeki etki analizi Şekil 4.15'te verilmektedir.

Deney tasarımında faktörlerin etkileşimlerine göre çıkan model;

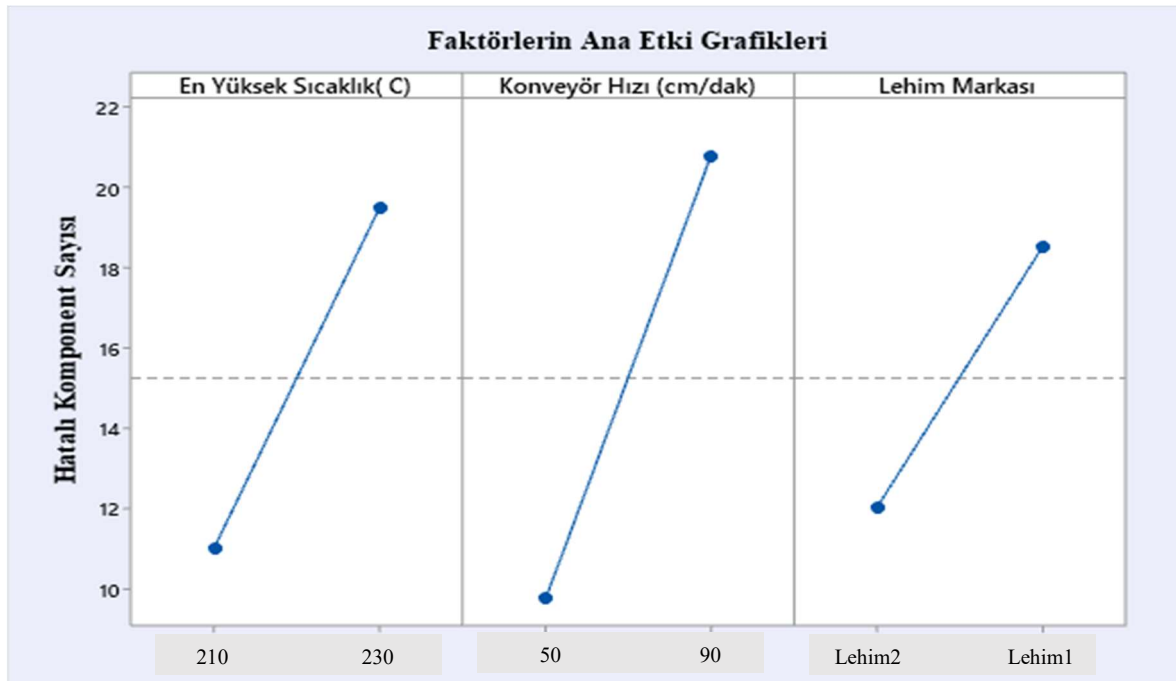
$$\text{Hatalı Malzeme Sayısı} = -97,5 + 0,4250 \text{ En Yüksek Sıcaklık}(^{\circ}\text{C}) + 0,2750 \text{ Konveyör Hızı (cm/dk)} - 4,62 \text{ Lehim Markası} + 0,1125 \text{ Konveyör Hızı (cm/dk)*Lehim Markası}$$

olarak bulunmuştur.

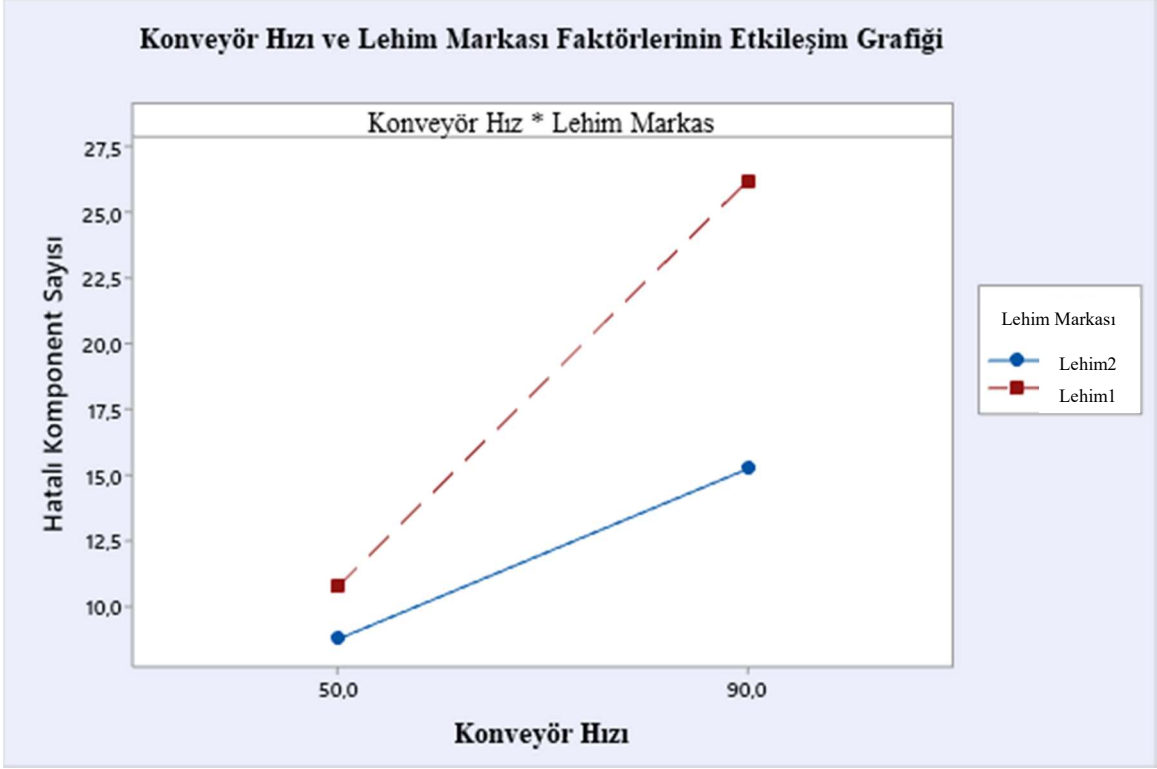


Şekil 4.15 Faktörlerin çıktı üzerindeki etki analizi

Şekil 4.16’da modelde etkili faktörlerin tekli ve Şekil 4.17’de ikili etkileşim grafikleri yer almaktadır.



Şekil- 4.16 Faktörlerin tekli etkileşim grafiği



Şekil 4.17 Konveyör Hızı*Lehim Markası etkileşim grafiği

Yapılan deney tasarımı sonucunda 3 faktör için belirlenen en iyi değerler;

- Konveyör Hızı (cm/dk) = 50 cm/dk
- En Yüksek Fırın Sıcaklığı ($^{\circ}C$)= 210 $^{\circ}C$
- Lehim Markası = Lehim2 olarak belirlenmiştir.

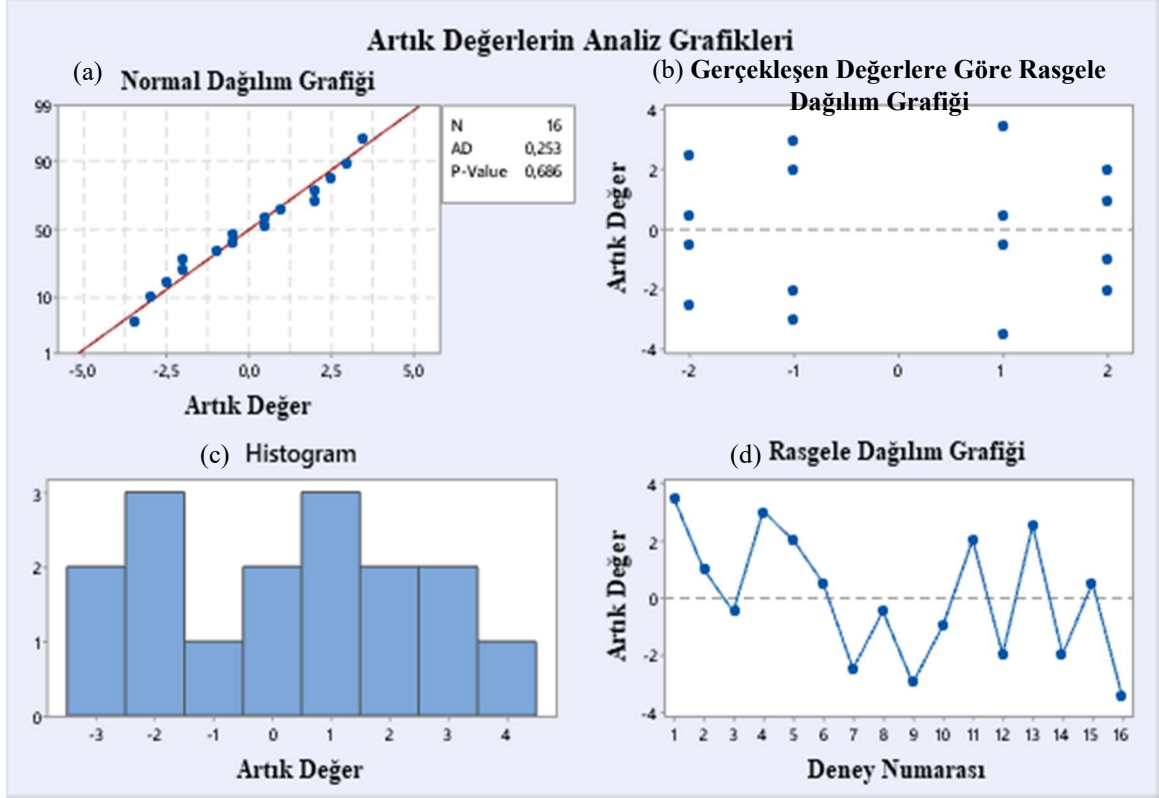
Faktörler için belirlenen en iyi değerlerin doğrulanması için 5 adet kart üzerinde 17. deney yapılmış ve 5 adet hata tespit edilmiştir. Toplamda 1150 bileşende 5 adet hata oluşması değerlerin uygun olduğunu göstermektedir.

Yapılan deney tasarımı ve elde edilen sonuçların güvenilir olabilmesi için iki varsayımın doğrulanması gerekmektedir. Varsayımlar; yapılan deneylerde gerçekleşen ve bulunan modele göre hesaplanan hata miktarı değerlerinin farkı olan artık değerlerin normal ve rasgele dağılmasıdır. Tablo 4.9'da artık değerler verilmektedir.

Tablo 4.9 Artık değerler tablosu

Deney Sırası	En Y¼ksek Sıcaklık(°C)	Konveyör Hızı (cm/dk)	Lehim Markası	Gerçekleşen Hata Miktarı	Modele göre Beklenen Hata Miktarı	Artık Değer
1	230	90	Lehim1	35	30,5	4,5
2	230	50	Lehim2	16	13	3
3	210	50	Lehim1	7	6,5	0,5
4	210	90	Lehim1	24	22	2
5	230	50	Lehim1	16	15	1
6	210	50	Lehim2	3	4,5	-1,5
7	230	90	Lehim2	15	19,5	-4,5
8	210	50	Lehim2	2	4,5	-2,5
9	210	90	Lehim1	18	22	-4
10	230	50	Lehim2	14	13	1
11	210	90	Lehim2	15	11	4
12	210	90	Lehim2	11	11	0
13	230	90	Lehim2	20	19,5	0,5
14	230	50	Lehim1	12	15	-3
15	210	50	Lehim1	8	6,5	1,5
16	230	90	Lehim1	28	30,5	-2,5

Varsayımları doğrulamak için yapılan artık değer analizlerinin grafikleri 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 Artık değerlerin analiz grafikleri

Analiz sonucu elde edilen grafikler incelendiğinde;

(a) grafiğinde, artık değerlerin doğrusal bir çizgi şeklinde dağıldığı görülmüştür. Hem grafikte oluşan doğrusal şekil hem de P-Değeri = 0,686 > 0,005 olması sebebiyle artık değerler normal dağılıma uygundur.

(b) grafiğinde; artık değerlerin gerçekleşen değerlere göre dağılımının merkez çizgisi etrafında, rasgele dağıldığı görülmektedir.

(c) grafiğinde; artık değerlerin histogram dağılımı görülmektedir.

(d) grafiğinde, artık değerlerin birbirinden bağımsız, rasgele dağıldığı görülmektedir.

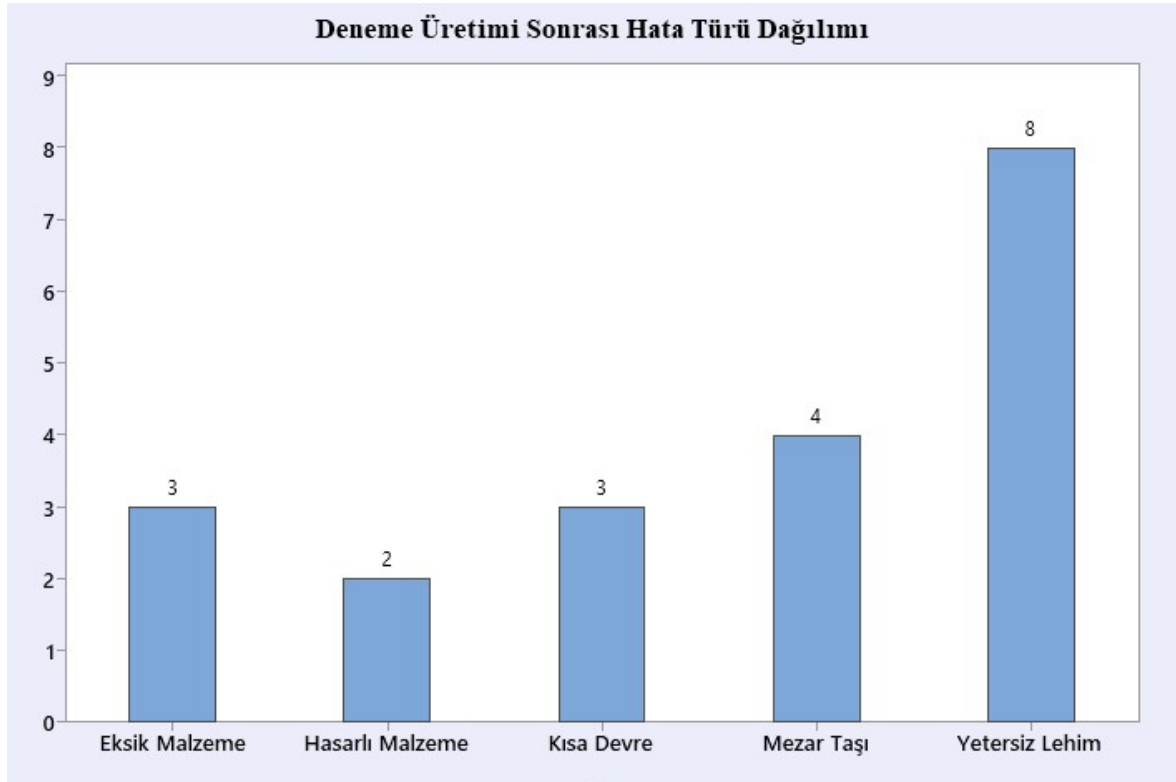
Analiz sonrasında elde edilen grafiklere göre, varsayımlar doğrulanmış ve modelin güvenilir olduğu anlaşılmıştır.

4.2.5. Kontrol fazı

Çalışmanın kontrol fazında, geliştirme fazında yapılan iyileştirme çalışmalarının etkinliğini kontrol etmek için, bir deneme üretimi planlanmış ve iyileştirilmiş yeni süreçte 15 adet Ü₄₀ ürünü üretilmiştir. Üretimde, belirlenen tüm bakımları ve kalibrasyonları

yapılmış SMT montaj cihazları ile en yüksek sıcaklığı 210°C ve konveyör hızı 50 cm/dk olarak ayarlanmış fırın ve Lehim2 marka krem lehim kullanılmıştır.

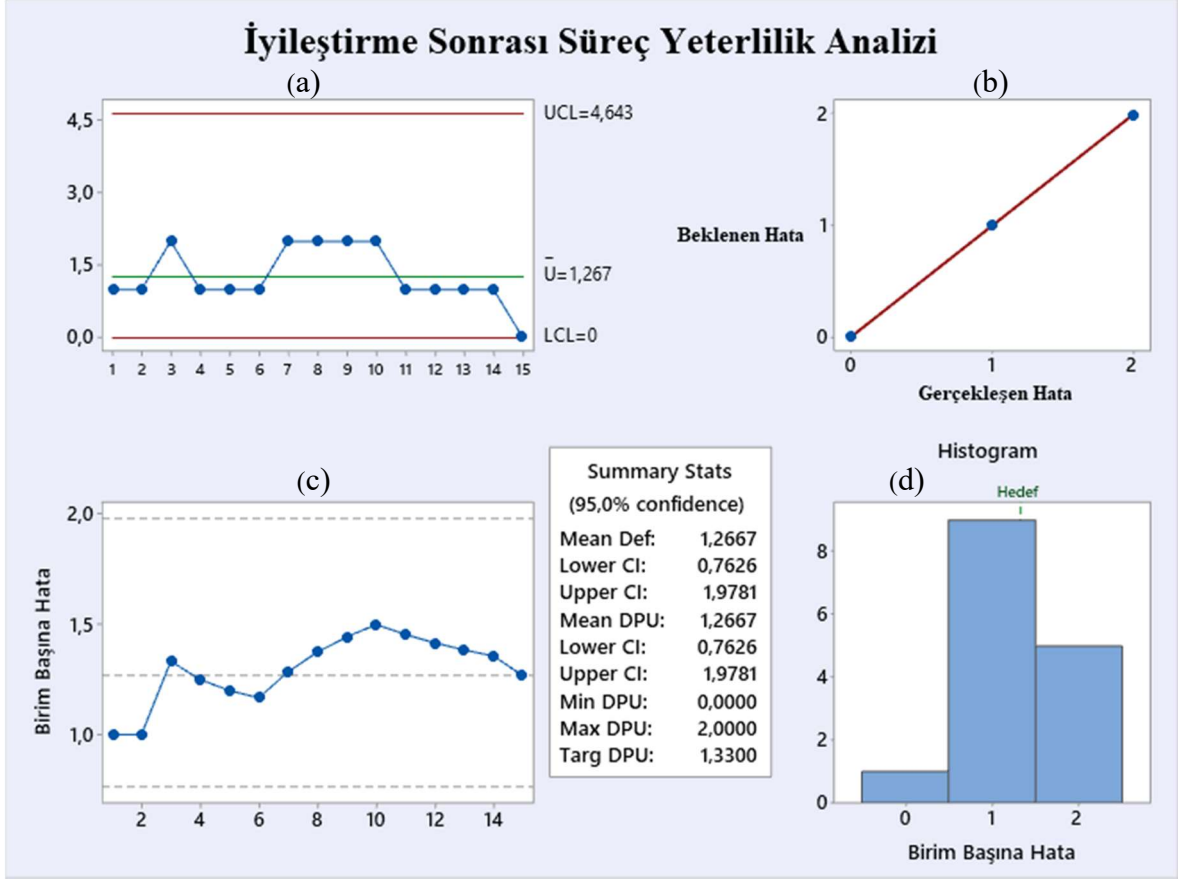
Deneme üretiminde, üretilen 15 kartta toplam 3450 adet elektronik malzeme kontrol edilmiştir. Kontroller sonucunda 3450 malzemenin 20 adedinde hata bulunmuştur. Hata verilerinin analiz sonuçları Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19 Deneme üretimi sonrası hata türü dağılımı

Deneme üretimi sonucunda yeni DPMO değerinin 10560’tan 5797’ye düştüğü, sigma değerinin ise 3.8’den 4.025’e yükseldiği görülmüştür.

Elde edilen yeni verilerle, 5797 DPMO değerine göre tekrar süreç yeterlilik analizi yapılmıştır. Analizin amacı; sürecin en fazla 5797 DPMO oranında hatalı çıktı üretebilecek yeterlilikte olup olmadığını kontrol etmektir. Bu durumda, üzerinde 230 bileşen bulunan her bir kartın, en fazla 1,33 bileşeninin hatalı olmasına izin verilmiştir. Bu nedenle analizin hedef değeri 1,33 olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu Şekil 4.20’de yer almaktadır.



Şekil 4.20 İyileştirme sonrası süreç yeterlilik analizi

Analiz sonrası grafikler incelendiğinde;

(a) grafiğine göre; kontrol limitleri dışında her hangi bir çıktı değerinin olmadığı ve sürecin kontrol altında olduğu,

(b) grafiğine göre; çıktı değerlerinin Poisson dağılımına uygun olduğu,

(c) grafiğine göre; verilerin, belli bir noktadan sonra kart başına çıkan hatalı bileşen ortalaması (Mean DPU) etrafında kümелendiği ve örneklem büyüklüğünün yeterli olduğu görülmüştür.

İyileştirilmiş süreç için yapılan süreç yeterlilik analizi sonucunda; belirlenen kart başına hatalı bileşen hedef sayısı (Target DPU=1,33), tüm kartların hatalı bileşen ortalamasından (Mean DPU=1,2667) büyüktür. Bu durumda, sürecin yeterli olduğu söylenebilmektedir.

Yapılan iyileştirme çalışmalarının standartlaştırılması için gerekli bakım ve kalibrasyon talimatları revize edilmiştir. Ayrıca deney tasarımı sonrası Ü₄₀ ürünü için elde edilen en iyi parametre değerleri ve lehim markası ürünün ürün dokümanına eklenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, tüm dünya çapında firmalar arası rekabet arttıkça müşteri memnuniyeti de git gide önem kazanmaktadır. Müşteri memnuniyeti, müşteri isteklerine en uygun ürün ya da hizmetin sağlanmasının yanında uygun fiyatlarla sunulmasıyla sağlanabilmektedir. Bir süreçte müşteri isteklerine uygun düşük maliyetli çıktı ancak değişkenliğin ve israfın önlenmesiyle olabilmektedir. Bu nedenle firmalar, değişkenliği azaltarak müşteri memnuniyetine odaklanan bir metodoloji olan Altı Sigma'ya yönelmektedirler.

Yapılan çalışmalar, Altı Sigma metodolojisinin adımlarını içeren TÖAGK modelini bir firma kültürü haline getiren firmaların hem müşteri memnuniyetini hem de karlılık oranlarını artırdığını göstermektedir.

Bu çalışmada, bir elektronik firmasının SMT elektronik kart üretim sürecinde, Altı Sigma çalışması ile ürünlerde oluşan hata miktarı oranlarının düşürülmesi hedeflenmiştir. Yapılan literatür çalışmalarının sonunda benzer çalışmaların, SMT elektronik kart üretim sürecinin 3 ana adımından genellikle lehimleme ve montaj adımlarında yoğunlaştığı görülmüştür. Bu çalışma 3. adım olan fırın sürecini de incelemekte ve iyileştirme çalışmaları içine almaktadır.

Çalışmanın daha etkili olabilmesi için örnek bir ürün seçilerek iyileştirme çalışmaları o ürün üzerinden yapılmış ve diğer ürünler için de yaygınlaştırılması planlanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda SMT elektronik kart üretim sürecinde lehim ve montaj olmak üzere iki ana hata türü ve türevlerinin sıkça görüldüğü saptanmıştır.

Hataların kök nedenine inmek için ekip üyeleri ile oluşturulan SSM sonucunda montaj hatalarının genellikle cihazların bakım ve kalibrasyonları ile ilgiliyken, lehim hatalarının makine parametreleri ve lehim markası ile ilgili olduğu görülmüştür.

Çalışmada, 2 aşamalı iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. aşamada, cihaz ve personel kaynaklı hataların giderilmesi için cihaz bakımları ve personel eğitimleri planlanmıştır. 2. aşamada ise en iyi makine parametrelerinin ayarlanabilmesi için 3 faktörlü bir deney tasarımı yapılmıştır. Yapılan deney tasarımında SSM'den çıkan sonuçlara bakılarak fırının konveyör hızı, fırının en yüksek sıcaklığı ve lehim markası parametre olarak belirlenmiştir. Deney tasarımı sonucunda elde edilen parametre değerleri ve iyileştirme çalışmalarının ilk aşamasında belirlenen makine bakımları yapıldıktan sonra üretilen örnek

ürünün DPMO değerinin 10560'tan 5797'ye düşürülmesi ve sigma değerinin 3.8'den 4.025'e yükseltilmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın sonunda; SMT elektronik kart üretim sürecindeki hataların azaltılabilmesi için iki önemli nokta tespit edilmiş ve firmaya aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur:

- Üretimde kullanılan cihazların bakımlarının ve kalibrasyonlarının zamanında ve etkin yapılması çok büyük önem taşımaktadır. Bakım ve kalibrasyon işlemlerinin düzenli ve planlı olarak yapılmasının hata oranlarını azaltacağı öngörülmektedir.
- Fırın sıcaklığı, fırının konveyör hızı ve lehim markası SMT elektronik kart üretim sürecinde çıktıya etki eden önemli faktörlerden olduğu görülmüştür. Üretilen ürünlerin malzeme ve BDK özelliklerinin farklı olmasından dolayı bu faktörlere ait parametreler farklılık göstermektedir. Bu nedenle kart özelinde en uygun parametre değerlerinin bulunarak her üretiminde standart hale getirilmesinin hataları azaltacağı ve sürecin verimliliğini artıracığı düşünülmektedir.

SMT üretimlerde, fırın sürecinde kullanılan cihazlar birden fazla bölümden oluşmaktadır. Kart, fırının içinde ilerlerken, geçtiği her bölümde maruz kaldığı sıcaklık değeri değişebilmektedir. Bu tez çalışmasında; deney tasarımı yapılırken, fırın sürecinde karta uygulanan en yüksek sıcaklık değerleri faktör olarak belirlenmiştir. Çalışmanın, fırın sürecinde kullanılan cihazın tüm bölümleri kapsama alınarak, her bir bölümün sıcaklık değerinin ayrı bir faktör olarak belirlenmesiyle geliştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] K. Yang ve B. S. El-Haik, *Design for Six Sigma, A Roadmap for Product Development*, The McGraw-Hill Companies, 2009.
- [2] S. Taghizadegan, *Essentials of Lean Six Sigma*, Oxford: Elsevier, 2006.
- [3] K. Muralidharan, *Six Sigma for Organizational Excellence, A Statistical Approach*, Springer, 2015.
- [4] F. W. Breyfogle, *Implementing Six Sigma*, John Wiley & Sons, 1999.
- [5] G. Yang, J.Y. Li, L.S. Cheng, Z.H. Hu ve L. Xu, "Application of six sigma methodology to reduce pseudo soldering in smt process," *3rd International Conference on Management Science and Engineering*, 2017.
- [6] L. K. Teik, "Solder paste printing yield improvement for smt ultra fine pitch product by using six sigma technique," Technical University of Malasia Melaka, 2016.
- [7] M. H. R. Nascimento, P. F. Silva ve A. G. Jesus, "Reduced setup time for an smt line," *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, cilt 15, no. 04, 2018.
- [8] Sanusi ve S. Makalalag, "Penerapan metode six sigma menggunakan pendekatan metode taguchi untuk menurunkan tingkat kecacatan," Stt Ibnu Sina Batam University, 2016.
- [9] G. Dağlıoğlu, Ö. Görüroğlu Öztürk ve T. C. İnal, "Klinik laboratuvarında kalite yönetimi: altı sigma prosedürünün uygulanması," *Cukurova Medical Journal*, no: 2019;44, 2019.
- [10] H. Avunduk, "Yalın altı sigma: bir pet şişirme makinesinde süreç iyileştirme uygulaması," *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 18, no. 70, 2019.
- [11] K. Yazıcı, S. Boran ve S. H. Gökler, "Bir lojistik firmasında 6 sigma yöntemi uygulaması," *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*, cilt 7, no. 3, 2019.
- [12] Ö. Senger ve Ö. Cengiz, "Hizmet sektöründe altı sigma kalite felsefesinin uygulanması: bir turizm işletmesi örneği," *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*, cilt 6, no. 1, 2018.
- [13] M. Akyüz Çağlar ve M. Kurt, "Altı sigma yaklaşımı ve savunma sanayi sektöründe bir uygulama," *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, cilt 27, no. 3, pp. 13-24, 2016.

- [14] S. Devecioğlu ve A. S. Yücel, "Spor sektörü ve altı sigma yönetim modeli," *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, no. 1, pp. 17-24, 2012.
- [15] R. Sharma, P. Gupta ve V. Saini, "Six sigma dmaic methodology implementation in automobile industry: a case study," *Journal of Manufacturing Engineering*, cilt 13, no. 1, pp. 42-50, 2018.
- [16] T. Allen, *Introduction to Engineering Statistics and Lean Six Sigma, Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems*, Springer, 2019.
- [17] F. Voehl, J. Harrington, C. Mignosa ve R. Charron, *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook, Tools and Methods for Process Accelaretion*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2013.
- [18] G. Brue, *Six Sigma for Managers*, Mcgraw-Hill, 2005.
- [19] W. Zhan ve X. Ding, *Lean Six Sigma and Statistical Tools for Engineers and Engineering Managers*, Momentum Press, 2016.
- [20] S.P.A.C. Danışmanlık, *Altı Sigma Mükemmellik Modeli Nedir?*, Ankara: S.P.A.C. Danışmanlık, 2003.
- [21] I. Bass, *Six Sigma Statistics with Excel and Minitab*, The McGraw-Hill Companies, 2007.
- [22] T. Konert ve A. Schmidt, *Design for Six Sigma Umsetzen*, Hanser, 2010.
- [23] S. Patel, *The Tactical Guide to Six Sigma Implementation*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2016.
- [24] R. Munro, G. Ramu ve D. Zrymiak, *The Certified Six Sigma Green Belt Handbook*, ASQ Quality Press, 2015.
- [25] T. McCarty, M. Bremer, L. Daniels ve P. Gupta, *The Six Sigma Black Belt Handbook*, The McGraw-Hill Companies, 2004.
- [26] D. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley & Sons, 2013.
- [27] R. S. Khandpur, *Printed Circuit Boards, Design, Fabrication and Assembly*, The McGraw-Hill Companies, 2006.
- [28] N. Tague, *The Quality Toolbox*, ASQ Quality Press, 2005.
- [29] R. Basu ve N. Wright, *Quality Beyond Six Sigma*, Butterworth-Heinemann, 2003.

- [30] T. M. Kubiak, *The Certified Six Sigma Master Black Belt Handbook*, ASQ Quality Press, 2012.
- [31] H. Duckworth ve A. Hoffmeier, *A Six Sigma Approach to Sustainability, Continual Improvement for Social Responsibility*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2016.
- [32] G. Plenert ve J. Plenert, *Strategic Excellence in the Architecture, Engineering, and Construction Industries, How AEC Firms Can Develop and Execute Strategy Using Lean Six Sigma*, Routledge Taylor & Francis Group, 2018.

EKLER

EK 1: SEBEP SONUÇ MATRİSİ

		Hatanın önem derecesi	10	10	8	6	7	5	5	8	4	8			
			Mezar Taşı	Kısa Devre	Yetersiz Lehim	Lehim Topu	Eksik Malzeme	Malzeme Kaymış	Kalkmış Bacak	Lehimlenebilirlik	Fazla Lehim	Hasarlı Malzeme	TOPLAM	%	Kum. Top.
Süreç Adımı	Hata/Hata Kaynakları														
1	SMT Montaj Makinesi	Operatörlerin makine kullanım hataları	9	9	9	9	4	4	4	1	4	1	406	7,46	7,46
7	SMT Montaj Makinesi	Makine atığı nedeniyle malzemenin elle yerleştirilmesi	1	9	9	9	9	9	4	0	9	1	398	7,31	14,76
5	Krem Lehim Sürülmesi	Lehim markası	9	9	9	9	0	0	0	9	4	0	394	7,23	22,00
14	SMT Montaj Makinesi	Makine başlık hataları	9	9	0	4	9	9	4	0	0	4	364	6,68	28,68
2	Fırın	Fırının en yüksek sıcaklığının doğru olmaması	9	4	9	9	0	0	0	9	0	4	360	6,61	35,29
3	Krem Lehim Sürülmesi	Eleğin iyi temizlenmemesi	9	9	9	9	4	1	0	0	0	0	339	6,22	41,52
23	SMT Montaj Makinesi	Malzeme besleme arabası arızası	4	4	4	4	9	4	4	0	4	9	327	6,00	47,52
9	Krem Lehim Sürülmesi	Lehim miktar kontrolünün yapılmaması	9	0	9	4	4	4	4	4	9	0	322	5,91	53,43
11	Fırın	Fırının konveyör hızı	4	4	9	4	0	4	0	9	0	4	300	5,51	58,94
13	Krem Lehim Sürülmesi	Hatalı lehim muhafazası nedeniyle yapısının bozulması	9	1	9	9	0	0	0	9	0	0	298	5,47	64,41
16	Fırın	Fırının sıcaklık değerlerindeki hatalar	4	1	9	7	0	4	0	9	0	1	264	4,85	69,26
15	SMT Montaj Makinesi	Koordinat hatası	4	4	0	4	9	9	0	0	0	4	244	4,48	73,74
26	SMT Montaj Makinesi	Eski revizyonlu programın seçilmesi	4	4	0	9	9	9	0	0	0	0	242	4,44	78,19
21	Taşıma	Magazin yetersizliği	4	0	0	0	9	4	4	0	0	9	215	3,95	82,13
8	SMT Montaj Makinesi	Hatalı / Yanlış Malzeme kullanımı	4	1	0	0	9	0	4	0	0	1	141	2,59	84,72
18	Krem Lehim Sürülmesi	Yanlış lek temizleme sıvısının kullanımı	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	136	2,50	87,22
17	Krem Lehim Sürülmesi	Yanlış basılan PCBnin iyi temizlenmemesi	0	4	0	9	0	0	0	4	0	0	126	2,31	89,53

19	Taşıma	Magazinler arası aktarma	0	0	0	0	5	0	0	0	0	9	107	1,96	91,50
22	SMT Montaj Makinesi	Programın yanlış güncellenmesi	1	0	0	0	9	0	0	0	0	0	73	1,34	92,84
25	SMT Montaj Makinesi	Programın yanlış yazılması	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	63	1,16	94,00
27	Planlama Tarafından İş Emri Açılması	Eksik malzemeli iş emrinin açılması	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	63	1,16	95,15
28	Planlama Tarafından İş Emri Açılması	Hatalı revizyonlu iş emrinin açılması	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	63	1,16	96,31
24	SMT Montaj Makinesi	PCB destek ayarı	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	48	0,88	97,19
29	Fırın	Fırın modeli	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	32	0,59	97,78
30	Fırın	Elektrik kesintisi	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	32	0,59	98,37
31	SMT Montaj Makinesi	Elek revizyonu	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	33	0,61	98,97
32	SMT Montaj Makinesi	Doküman hatası	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	28	0,51	99,49
33	SMT Montaj Makinesi	PCB revizyonu	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	28	0,51	100,00
34	SMT Montaj Makinesi	Malzeme besleme arabasına yanlış malzeme takılması	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	100,00
Toplam			97	76	89	103	132	66	28	62	30	47	5446	100,00	