

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

**BİR OTOMOTİV YAN SANAYİNDE ALTI SİGMA ÇALIŞMASI ve ELDE EDİLEN  
ALTERNATİF SONUÇLARIN MATEMATİKSEL MODELLE OPTIMAL SEÇİMİ**

**Pınar ÇOKÇAĞLAYAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BURSA-2010**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR OTOMOTİV YAN SANAYİNDE ALTI SİGMA ÇALIŞMASI ve ELDE EDİLEN  
ALTERNATİF SONUÇLARIN MATEMATİKSEL MODELLE OPTIMAL SEÇİMİ

Pınar ÇOKÇAĞLAYAN

Doç Dr. Cenk ÖZMUTLU  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR OTOMOTİV YAN SANAYİNDE ALTI SİGMA ÇALIŞMASI ve ELDE EDİLEN  
ALTERNATİF SONUÇLARIN MATEMATİKSEL MODELLE OPTİMAL SEÇİMİ

Pınar ÇOKÇAĞLAYAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 12.08.2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

    
Doç. Dr. Cenk ÖZMUTLU Yrd. Doç. Dr. Yurdun ORBAK Prof. Dr. Kemal SEZEN

Danışman

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Altı Sigmanın olumlu yanlarını anlatmak ve bunun yanında Altı Sigma iyileştirmelerinin her zaman finansal açıdan karlı olmayabileceğini göstermektir. İlk etapta Altı Sigma metodolojisi uygulamalı olarak kullanılmış ve daha sonrasında Altı Sigma çalışması sonunda ortaya çıkan değerler irdelenmiştir. Altı sigma süreç iyileştirme tekniğinin alternatif sonuçları matematiksel model kullanılarak finansal açıdan değerlendirilmiştir. Bu çalışma, farklı proses iyileştirme alternatiflerinin optimal seçimi için matematiksel bir model sunmaktadır. Uygulama, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilmiştir. Projenin konusunun şirketin stratejik hedefleri paralelinde olmasına özen gösterilmiş ve üzerinde çalışılacak problemin kaliteli ürün oranını arttırmak olmasına karar verilmiştir. Sürecin kapsamı, mevcut durum ve hedefleri tanımlandıktan sonra ayrıntılı süreç analizleri yapılmış ve süreç çıktısına etki eden kritik girdi parametreleri belirlenmiştir. Buna göre seçilen prosesler ve hata oranları üzerinde incelemeler yapılmış mevcut durum ve ortaya çıkan iyileştirme alternatiflerine göre öngörülen iyileştirme oranları belirlenmiştir. Altı sigma için ayrılan bütçe ve hata iyileştirme oranları dikkate alınarak her bir proses için alternatif iyileştirme sonuçlarından sadece biri seçilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Altı Sigma, Optimizasyon, Matematiksel Programlama, Proses İyileştirme

## **ABSTRACT**

The purpose of this study is to explain the benefits of Six Sigma and on the other hand to show that implementing Six Sigma may not be always financially beneficial. In the first stage, The Six Sigma methodology has been used and then the results of Six Sigma study have been examined. The alternative improvements of Six Sigma study are reviewed by using the mathematical model financially. This study also presents a mathematical model which be able to assist management to choose among different process improvement alternatives. This application has been done in an automotive firm. The project subject has been determined to be parallel with the firm's strategic targets and the problem has been decided to be the increasing ratio of better quality parts. After assigning the scope of process, the present situation and the targets, the detailed process analyzes are performed and the critical input parameters affecting process output are defined. The chosen processes and the rate of defects are examined according to this. And the prescribed improvement ratios are determined according to present situation and the improvement alternatives. Only one improvement for each process is chosen among Six Sigma alternative results considering the budget which is allocated for Six Sigma Projects by the management and the rate of improvement.

**Key Words:** Six Sigma, Optimization, Mathematical Programming, Process Improvement

**İÇİNDEKİLER**

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1 Altı Sigma Yaklaşımı.....	3
2.1.1 Altı Sigma' nın Tarihsel Gelişimi.....	3
2.1.2 Altı Sigma Nedir ? .....	5
2.1.3 Literatür Taraması .....	8
2.1.4 Altı Sigma Organizasyonunda Roller ve Sorumluluklar .....	21
2.1.5 Altı Sigma Adımları .....	24
2.1.5.1 Tanımlama .....	25
2.1.5.2 Ölçme.....	27
2.1.5.3 Analiz .....	30
2.1.5.4 İyileştirme .....	32
2.1.5.5 Kontrol.....	34

3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	35
3.1 Altı Sigma Uygulama .....	35
3.1.1 Tanımlama Aşaması .....	35
3.1.1.1 Proje Seçimi .....	35
3.1.1.2 Proje Tanımı .....	36
3.1.1.3 Hedefler .....	38
3.1.1.4 Proje Sınırları .....	38
3.1.1.5 Proje Ekibinin Oluşturulması .....	39
3.1.1.6 Proje Zaman Planının Yapılması .....	39
3.1.1.7 Proje Kazanımı .....	40
3.1.1.8 Süreç Haritası .....	40
3.1.1.9 Sebep-Sonuç Matrisi .....	43
3.1.2 Ölçme Aşaması .....	44
3.1.2.1 Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü .....	45
3.1.2.2 Terminal Çıkma Yüğü .....	49
3.1.2.3 Kılıfın Tıkalı Olması .....	52
3.1.3 Analiz Aşaması .....	53
3.1.4 İyileştirme Aşaması .....	54
3.1.5 Kontrol Aşaması .....	56
3.2 Matematiksel Model .....	57
3.2.1 Model Terminolojisi .....	57
3.2.2 Alternatif İyileştirme Sonuçlarının Optimizasyonu .....	59
3.2.3 Modelin Çözümü .....	62
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	64

5. KAYNAKLAR .....	66
6. ÖZGEÇMİŞ.....	69
7. TEŞEKKÜR .....	70
8. EKLER .....	71



**KISALTMALAR DİZİNİ**

<b>Kısaltma</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AR-GE</b> :	Araştırma-Geliştirme
<b>AKL</b> :	Alt Kontrol Limiti
<b>BOA</b> :	Bank of America
<b>CQI</b> :	Sürekli Kalite İyileştirmesi (Continuous Quality Improvement)
<b>GE</b> :	General Electric
<b>R&amp;R</b> :	Tekrarlanabilirlik ve Yeniden üretilebilirlik (Repeatibility and Reproducability)
<b>ÜKL</b> :	Üst Kontrol Limiti
<b>DMAIC</b> :	Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)
<b>PPM</b> :	Milyon Birimdeki Hata Sayısı.
<b>PPB</b> :	Milyar Birimdeki Hata Sayısı.
<b>TQM</b> :	Toplam Kalite Yönetimi (Total Quality Management)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Raporlanan Altı Sigma Maliyeti ve Buna Karşı Karı.....	4
Şekil 2.2	Normal Dağılım İç & Dış Alan ve Sigma Limitleri Arasındaki İlişki.....	7
Şekil 2.3	Sigma Seviyeleri ve Eşdeğer Oranları .....	7
Şekil 2.4	Altı Sigma Yapılanması .....	21
Şekil 2.5	Normal dağılım Eğrisi, $3\sigma$ için Alt ve Üst Limitler .....	30
Şekil 3.1	Süreç Haritası.....	41
Şekil 3.2	B Hattı Hata Tipleri Pareto Analizi .....	44
Şekil 3.3	Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü Grafikselle Analiz .....	46
Şekil 3.4	Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü Varyans Analiz Sonuçları .....	47
Şekil 3.5	Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü X-R Kontrol Grafiğı .....	48
Şekil 3.6	Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü Süreç Yeterlilik Analizi.....	49
Şekil 3.7	Terminal Çıkma Yüğü Grafikselle Analiz .....	50
Şekil 3.8	Terminal Çıkma Yüğü Varyans Analiz Sonuçları .....	50
Şekil 3.9	Terminal Çıkma Yüğü X-R Kontrol Grafiğı .....	51
Şekil 3.10	Terminal Çıkma Yüğü Süreç Yeterlilik Analizi.....	52
Şekil 3.11	Lineer Olmayan Fonksiyonun Lineer Fonksiyona Dönüştürülmesi.....	59

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Sigma, Hata Oranları (PPM) ve $C_{pk}$ ( $X_{ort} \pm 3\sigma$ ) Arasındaki Sayısal İlişki .....	6
Çizelge 2.2	Altı Sigma Adımları ve Yapılacak İşler .....	23
Çizelge 2.3	Kontrol Limit Hesabından Örnek Sayısına Bağlı Katsayı .....	30
Çizelge 3.1	Hata Tipleri ve Hata Sonunda Yapılabilen İşlem/ler .....	35
Çizelge 3.2	Hat Bazında Hata Oranları .....	36
Çizelge 3.3	Proje Zaman Planı .....	38
Çizelge 3.4	Seçilen Prosesler ve Hata Tipleri .....	43
Çizelge 3.5	Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü Girdiler ve Potansiyel Değerler .....	50
Çizelge 3.6	Terminal Çıkma Yüğü Girdiler ve Potansiyel Değerler .....	50
Çizelge 3.7	Kılıfın Tıkalı Olmasına Etki Eden Girdiler ve Potansiyel Değerler .....	51
Çizelge 3.8	İyileştirme Öncesi Hata Oranları .....	52
Çizelge 3.9	İyileştirme Sonrası Hata Oranları .....	52
Çizelge 3.10	Proseslerdeki Hata Oranları ve Kapasiteler .....	53
Çizelge 3.11	Modelin Sonucu, $x_{ik}$ değişkeni için .....	56
Çizelge 3.12	Modelin Sonucu, $T_i$ için .....	56
Çizelge 3.13	Bütçe Arttırıldığında Model Sonucu, $x_{ik}$ değişkeni için .....	57

## SİMGELER DİZİNİ

<b>Simge</b>	<b>Açıklama</b>
<b><math>B</math></b> :	Altı Sigma Uygulaması İçin Ayrılan Toplam Bütçe.
<b><math>C_p</math></b> :	Süreç Varyasyon İndisi.
<b><math>C_{pk}</math></b> :	Süreç Yeterlilik İndisi.
<b><math>D</math></b> :	Proses Talebi.
<b><math>f_i</math></b> :	$i$ . Proseste Hata Oranı.
<b><math>i</math></b> :	Proses Sayısı, $i : 1, \dots, n$ .
<b><math>k</math></b> :	Her Bir Aşamadaki Altı Sigma Uygulama Alternatifi. $k=1, \dots, q_i$
<b><math>M_{ik}</math></b> :	$i$ . Proseste $k$ . Alternatifin Uygulama Maliyeti.
<b><math>N</math></b> :	Alt Grup Adedi.
<b><math>N</math></b> :	Modelde Kullanılan Katsayı.
<b><math>n</math></b> :	Alt Grup İçindeki Örnek Sayısı.
<b><math>n</math></b> :	Modelde Yer Alan Proses Sayısı. $i=1, \dots, n$
<b><math>q_i</math></b> :	$i$ . Proseste Alternatif İyileştirme Sayısı.
<b><math>r_{ik}</math></b> :	$i$ . Proseste $k$ . Alternatif İçin İyileştirme Oranı.
<b><math>R</math></b> :	Dağılım Aralığı.
<b><math>S</math></b> :	İlk Proseste Kullanılabilecek Hammadde Miktarı.
<b><math>T_i</math></b> :	$i$ . Prosesine Giren Ürün Miktarı.
<b><math>W_i</math></b> :	$i$ . Prosesin Üretim Kapasitesi.

- $x_{ik}$  :  $i$ . Prosesteki  $k$ . Alternatifin Uygulanma Durumunu Gösteren İkili Değişken.
- $\sigma$  : Standart Sapma.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde üretim ve hizmet sektöründe rekabet avantajı sağlamak isteyen kuruluşların ana hedefleri; maliyet minimizasyonu, kar maksimizasyonu, müşteri tatmini ve pazar payının genişletilmesidir.

İşletmeler, üretimlerini müşteri beklenti ve ihtiyaçları doğrultusunda yaptıklarında olumlu sonuçlar elde edilmiştir, böylece ürün yerine müşteri odaklı olunmaya başlanmıştır. Müşteriler kendi kalite tanımını yaptıkça bunu sağlayan hatta ötesine geçen kuruluşlar başarılı olmuşlardır. Değişen rekabet koşullarında, müşteri odaklı üretim yapmayan işletmelerin ayakta kalması mümkün değildir.

Müşteri odaklı çalışma, tüm birimlerin katkısını gerektirmektedir. Bu süreçte ortaya çıkan Toplam Kalite Yönetimi, 1980-1990 yıllarında işletmelerde etkili olmuştur. Toplam Kalite Yönetimi, müşteri odaklı olmasına rağmen, müşterilerin dinamik ihtiyaçlarını yakalayamamış, bir kereye özgü ve kısa girişimler ortaya çıkarmıştır.

Bu bağlamda, daha sonra ortaya çıkan Altı Sigma yaklaşımı müşteri ihtiyaçlarının sürekli değişeceği felsefesiyle müşterilerin ihtiyaçlarına gerçek anlamda inebilmiş, böylece Toplam Kalite Yönetimini bütünleyebilmiştir. Altı Sigma metodu, Toplam Kalite Yönetimine veya diğer kalite sistemlerine alternatif bir yöntem olmaktan çok onları bütünleyen ve birlikte yürütülecek bir yöntemdir. Altı Sigma, müşterilerin beklentilerini karşılamada mükemmel yakın bir performans hedefidir.

Altı Sigma uygulayan firmalar, bu kapsamda yapılan projeler için belli bir bütçe ayırmaktadır. Yapılan bu yatırım, sonuçta elde edilecek kazançtan daha

küçük olmalıdır ki, iyileştirme sağlanabilsin. Özellikle kar marjı düşük işletmelerde projenin getirisi ve gerekli yatırım arasındaki fark daha fazla önem kazanmaktadır. Altı Sigma projelerinde yönetimin rolü projelere destek vermek ve proje seçimlerini yapmaktır. Proje seçimleri, Altı Sigma uygulayan bir işletme için oldukça Altı Sigma sonuçlarının başarısı açısından oldukça önemlidir. Her bir proje için potansiyel sonuçlar ve uygulama maliyetleri üzerinden değerlendirme yapılmalıdır. En iyi değerlendirme, sübjektif kararlar yerine sayısal sonuçların incelenmesiyle elde edilir. İyileştirme alternatifleri harcanacak uygulama maliyeti ve şirkete olan kazancının incelenmesi sonucu seçilmelidir. Proje sayısı çok olduğunda, ya da iyileştirme alternatifleri getiri ve yatırımlarıyla birlikte karmaşık bir durum aldığında karar vermek kritik bir süreçtir. Yanlış seçimler, uygulanan proje sayısı ve giderlerine bağlı olarak işletmeye büyük maddi kayıplar getirebilir. Bu durumda tüm koşulların kısıtlarla ortaya konduğu belirli bir amacın hedeflendiği modelleme yöntemi kullanılarak seçim yapılması en doğru yaklaşım olacaktır. Hazırlanan tezde, karar verici rolündeki yönetim için proje alternatiflerinin seçim işlemine yardımcı olan bir model geliştirilmiştir. İlk kısımda bir Altı Sigma çalışması uygulanmış, 2. Kısımda ise alternatif iyileştirme yöntemleri arasından bütçe ve üretim kısıtları göz önüne alınarak iyileştirme projesi seçimini sağlayan matematiksel model anlatılmıştır.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe çalışan bir firmada uygulanmıştır. Altı Sigma metodolojisine uygun olarak proje konusu seçilmiş, hedefler ve kapsam belirlenmiş ve tüm adımlar izlenerek iyileştirme sonuçları elde edilmiştir. İkinci kısımda ise Altı Sigma sonucunda elde edilen alternatif iyileştirme sonuçları ve bunlar için harcanan maliyetler düşünülerek sonuçlar, geliştirilen matematiksel modelde gözden geçirilmiştir. Elde edilen sonuç, kalite kazancı ve uygulama maliyetlerini göz önüne alarak, hangi aşamada hangi alternatifin seçilmesi gerektiğini göstermektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 Altı Sigma Yaklaşımı

#### 2.1.1 Altı Sigma'nın Tarihsel Gelişimi

Altı Sigma, 1980lerin ortasında Motorola tarafından, Japon kalite fikirleri ve kontrol sistemlerinin süreçlerde uygulanması için geliştirilmiştir.

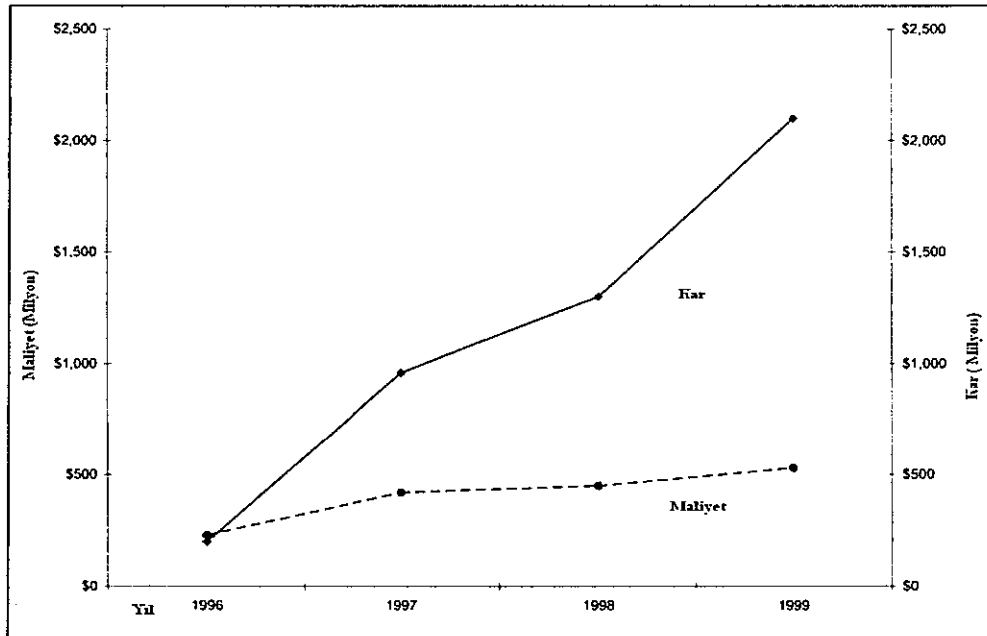
Motorola'nın başarısı başta otomotiv sektörü firmaları olmak üzere çok sayıda organizasyon tarafından takdir görmekteydi. IBM, Motorola'nın başarısının ardından Altı Sigma tekniklerini uygulayan ilk şirketlerden biridir. 1987 yılında Motorola'da çalışan Mikel Harry tarafından Altı Sigma Akademisi kurulmuş, IBM, SONY, Nokia gibi birçok kuruluşa yayılmıştır.

Motorola 1980lerde başlayan ve günümüze kadar süren Altı Sigma çalışmaları sonucunda, 1988 yılında "Malcolm Baldrige Ulusal Kalite ödülünü kazanan ilk şirket oldu. Motorola, Altı Sigma'yı, bir araç olmanın ötesinde, iletişim, eğitim, liderlik, ekip çalışması, ölçüm ve müşteriye odaklanma üzerine kurulu yeni bir iş modeli olarak uygulamıştır.

Altı Sigma tarihindeki diğer önemli olay, 1995'de General Electric (GE) 'in CEO'su Jack Welch'in Altı Sigma'yı uygulamaya başlaması ve 1996-1999 yılları arasında şirketin 2.2 milyar dolar kar etmesidir. Welch Altı Sigma'yı " *GE'nin bugüne kadar koyduğu en çetin ve abartılı hedef* " olarak nitelendirmişti (Pande 2003). Yine John F. Welch, GE için aşağıdaki yorumu yapmıştır:



“Altı Sigma, GE’yi sonsuza dek değiştirmiştir. Kara Kuşak eğitimlerinden ve ortaya çıkan Altı Sigma fanatiklerinden tutun da, mühendislere, yöneticilere ve bu şirketi yeni binyıla taşıyacak olan bilimcilere ve üst düzey liderlere varıncaya kadar, bu şirketteki herkes, bundan böyle bu şirketin çalışma yöntemi olan Altı Sigma’ya yürekte inandırmıştır.” (Pande 2003). Bu yorumdan sonra şirket hisseleri dşge geçmesi beklenirken tersine GE’de Altı Sigma’ya duyulan tutku daha da artmıştır. GE’in, Altı Sigma uyguladıktan sonraki maliyet ve karı Şekil 2.1’de görülmektedir. Uygulamanın ilk yılında (1996) , maliyet ve kar neredeyse aynı noktada, daha sonraki yıllarda bu farkın gittikçe açıldığı görülmektedir.



Şekil 2.1 GE’nin Raporlanan Altı Sigma Maliyeti ve Buna Karşı Karı (Pyzdek 2003)

Allied-Signal ya da 1999’dan sonraki adı Honeywell’de Altı Sigma çalışmalarından yüksek miktarlarda kar eden bir şirkettir. CEO Larry Bossidy, Altı Sigma’yı yalnızca bir sayı olarak algılamıyordu, “Altı Sigma, elimizin altındaki her türlü aracı kullanarak ve kullandığımız yöntemleri yeni baştan düzenlemekten asla çekinmeden, mkemmел standarda ulaşmaya olan inancımızın bir göstergesidir.” (Pande 2003). Örneklerden de anlaşıldığı gibi bu konuda başarılı olmuş şirketlerin, Altı Sigma’yı kültürel bir olgu ve davranış biçimi olarak algıladıkları görülmektedir.

### 2.1.2 Altı Sigma Nedir?

Sembol olarak Yunan alfabesindeki Sigma ( $\sigma$ ) harfidir, istatistikte bir topluluktaki standart sapmayı göstermektedir. Altı Sigma'da hedef, değişkenliği ve sapmayı sifıra yaklaştırmak, böylece ürün ve süreçleri mükemmel şekilde karşılayacak hale getirmektir.

Altı Sigma, Arthur, J.'e (2001) göre sonuca yönelik, proje odaklı bir kalite yaklaşımıdır. Müşteri ihtiyaçlarıyla direkt ilişkili ürün veya hizmet hatalarındaki düşüşü ölçen ve ayarlayan bir yöntemdir. Altı Sigma'nın diğer iyileştirme yöntemlerinden önemli farkı, sonuçlarının ölçülebilir olması, bir kısmın veya bölümün tekelinde kalmayıp tüm süreçleri içine alması ve şirket kültürünü değiştirmesidir.

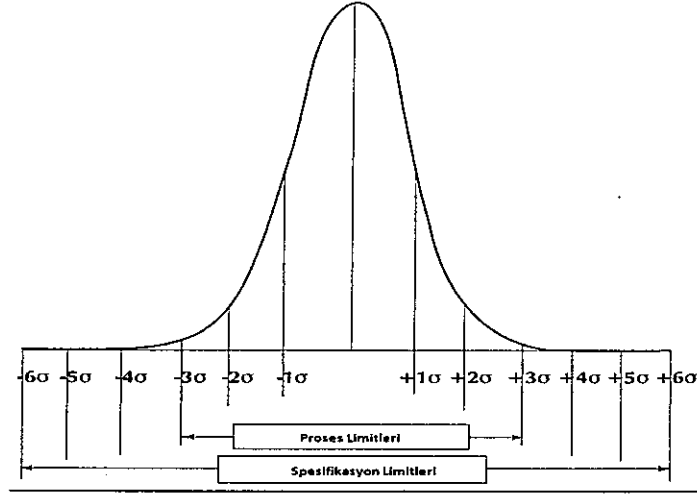
Altı Sigma, mühendisliğin ve istatistiğin bir arada bulunduğu, kendini kanıtlamış bir süreç iyileştirme ve yönetme metodolojisidir. Altı Sigma, karar verme süreçlerinde doğru verinin doğru analizi ile oluşabilecek risklerin yönetimini, yönetsel ve istatistiksel araçlar ile yöneten bir sistemdir.

Altı Sigma, istatistiksel olarak şu şekilde açıklanabilir; Sigma değeri, hatanın ne sıklıkta oluştuğunu gösterir. Sigma ( $\sigma$ ) alınan bir grup verinin standart sapmasıdır, bir başka ifadeyle bir veri kümesinde veya proseste ne miktarda değişkenliğin olduğunu tanımlayan istatistiksel bir kavramdır.

Altı Sigma'da hedeflerinden biri kusurların azaltılmasıdır. Tedarik edilen parçanın reddi, yeniden işleme ve hurdanın olması, müşteri şikâyetleri veya geri dönüşe neden olan tüm unsurlar hata olarak nitelendirilir. Altı Sigma yaklaşımı, milyonda 3.4 hatayı hedeflemektedir.

Şekil 2.2 'de tipik bir normal dağılım eğrisindeki ortalama  $X$  ve  $\pm 1\sigma$ ,  $\pm 2\sigma$ ,  $\pm 3\sigma$ ,  $\pm 4\sigma$ ,  $\pm 5\sigma$  ve  $\pm 6\sigma$  limitleri görülmektedir. Bir sürecin normal dağılımı ortalamadan  $\pm 3\sigma$  uzaklığında olmalıdır, yani verilerin % 99, 73'ü bu alandadır,

bu alan dışında kalan 0,00135'lik oran hatalı demektir. İki kuyruk için toplam % 0.27'lik bir oran ortaya çıkmaktadır. % 0.27'lik hata oranı küçük gibi gözükmesine rağmen 3 sigma seviyesiyle çalışmak demek, bir milyon parça üretiminde 2700 adet hatalı ürünün kabul edilmesi anlamına gelir.



Şekil 2.2 Normal Dağılım İç ve Dış Alan ve Sigma Limitleri Arasındaki İlişki (Bhote 2002)

Hedef hata oranını  $6\sigma$  seviyesine getirmek, Çizelge 2.1 ve Şekil 2.3'de görüldüğü gibi hata miktarını milyarda 2'ye düşürmektir. Sigma seviyeleri ve hata oranları arasındaki ilişki Çizelge 2.1 ve Şekil 2.3'de görülmektedir.

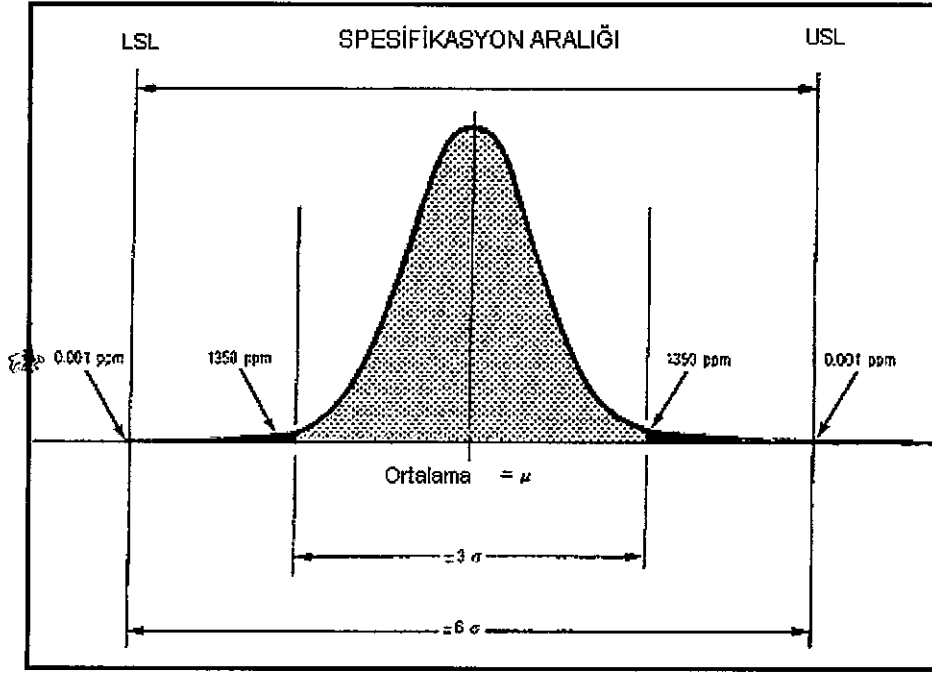
**Çizelge 2.1** Sigma, Hata Oranları (PPM) ve  $C_{pk}$  ( $X_{ort} \pm 3\sigma$ ) Arasındaki Sayısal İlişki (Bhote 2002 & Gürsakal ve Oğuzlar 2003 )

Spesifikasyon Limiti	Hata Oranı (%)	PPM	$C_{pk}$
1 $\sigma$	31,74	317.400	0,33
2 $\sigma$	4,56	45.600	0,67
3 $\sigma$	0,27	2.700	1,00
4 $\sigma$	0,0063	63	1,33
5 $\sigma$	0,00057	0,57	1,67
6 $\sigma$	0,0000002	0,002	2,00

Çizelge 2.1'de görülen PPM değeri (2.1) nolu formüldeki gibi,  $C_{pk}$  yeterlilik oranı ise (2.2) nolu formüldeki gibi hesaplanmaktadır.

$$PPM = \frac{\text{ToplamHataSayisi}}{\text{ToplamÜrünSayisi}} * 10^6 \quad (2.1)$$

$$C_{pk} = \text{Min}\left(\frac{|\bar{X} - ASL|}{3\sigma_{\bar{R}/d_2}}, \frac{|\bar{X} - ÜSL|}{3\sigma_{\bar{R}/d_2}}\right) \quad (2.2)$$



Şekil 2.3 Sigma Seviyeleri ve Eşdeğer Oranları ( Pyzdek 2003)

Çizelge 2.1 ve Şekil 2.3'de sigma seviyelerine denk gelen hata sayılarının literatürdekinden farklı olduğu görülmektedir. Örneğin Altı Sigma için literatürde milyonda 3.4 hata oranı olarak kullanılmaktadır. Bu durumda Sigma kalite düzeyiyle PPM arasındaki ilişkiyi iki durumda incelemek gerekmektedir. 1. durum, süreç ortalamasının merkezlendiğini gösterir ve kısa dönemli olup sürecin çıktığı en iyi durumu yani sürecin yeteneğini gösterir. 2. Durum ise uzun dönemli süreç performansını gösterirken normal dağılım ortalamasının  $1.5\sigma$  kaymasıdır. Uzun dönem verilerinde ortalama merkezlenmesinin mümkün olmamaktadır, bu durumda ortalama sağa ve sola toplam  $1.5\sigma$  kaymaktadır. Müşteri tatmini, iş hedefleri, proses ve ürün değişkenliği nedeniyle kısa dönem sigma değeri  $6\sigma$  yerine  $4.5\sigma$  hedeflenmektedir. Buna paralel olarak  $3\sigma$  düzeyinde milyon değerdeki hata oranı ise 66.807'ye çıkmaktadır.

Yönetimsel olarak Altı Sigma; Altı Sigma, etkili bir üretim ve yönetim sistemini de beraberinde getirmiş olur, bu felsefenin şirketçe benimsenmesi bir yönetim ve kültür değişikliğiyle ve bununla birlikte başarıyla sonuçlanır. Hatalar sadece süreç sonunda değerlendirilmesi dışında sürecin her evresinde

değerlendirilmiş olur. Altı Sigma uygulayan firmalar hemen hemen hatasız ürün üretmektedir, bununla birlikte müşteri hizmetleri, insan kaynakları, satın almayı da kapsayan tüm süreçlerinde bu yaklaşımı kullanmaları mümkündür.

### 2.1.3 Literatür Taraması

Çelik (2010) tez çalışmasında, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın üretim departmanlarından biri üzerinde veri madenciliği ( büyük hacimli verilerden yeni, değerli ve kullanışlı bilgiler çıkarma süreci) yaparak ortaya çıkan hatalar üzerine yoğunlaşmıştır. Öncelikle girdi değişkenlerinden anlamlı olanların ortaya çıkması için Ana Bileşenler Analizi (veri küçültme yöntemi), çıktı değişkenlerinin girdi değişkenleriyle birlikte etkilerini incelemek için Kanonik Korelasyon Analizi (girdi ve çıktı setleri arasındaki ilişkilerin bulunması) yapılmıştır. Hedeflenen çıktı değerlerine ulaşmak için girdi değişkenlerinin hangi değerleri alacağını bulmak için Çoklu Regresyon Analizi yapılmış, GAMS programı kullanılarak girdi seviyeleri tespit edilmiştir. Hangi girdi ve çıktı değişkenlerinin tüm veri içinde etkili olduğunu Kanonik Korelasyon Analizi'yle bulduktan sonra, nümerik sonuçlar elde etmek için Çoklu Regresyon Analizi uygulanmıştır. Sonuçta elde edilen model, analizler neticesinde katsayıları belirlenen girdilerle elde edilen çıktıların oluşturduğu kısıtlar ve hataların minimizasyonunu hedefleyen amaç fonksiyonundan oluşmaktadır. Kısıtlarda, regresyon denklemlerinin hedef değere eşitlenmesi için yapay değişkenler kullanılmıştır. Yapay değişkenlerin pozitif olması kısıtı ve sürekli değişkenlerin ise alt ve üst limitlerin içerisinde olmasını sağlayan kısıtlar tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu ise kullanılan yapay değişkenlerin minimum olmasını sağlamakta yani çıktı değişkenlerinin alacağı değerlerin hedef değerden sapma miktarını minimum yapmaya çalışmaktadır. Model, oluşturulan regresyon denkleminin hedef değerle sağlanmasını amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, veri çokluğu ve girdi-çıkı korelasyonu için ana bileşenler analizi yöntemi, kanonik korelasyon analizi ve çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Ele alınan süreçteki hataların minimizasyonu için veri madenciliği yöntemleri kullanılmıştır. Problemin belirlenmesi, müşteri açısından önem dereceleri de göz önünde bulundurularak hataların kaynağı tespit edilmiştir. Hataların en aza indirilmesi bir iyileştirme çalışması olarak modelleme yapılarak çözülmüştür. Kullanılan analizler sonucunda belirlenen hedef değerlere ulaşmak için oluşturulan model söz konusudur. Altı Sigma çalışması kullanılmadan yapılan bu alternatif iyileştirme çalışmasında, yine sistematik bir yöntem kullanılmış ve modelleme ile optimizasyon sağlanmıştır.

Sevi (2006) yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye'nin önde gelen otomotiv firmasında Altı Sigma sonuçlarının mali etkilerini incelemiştir. 2000 yılında Altı Sigma çalışmalarına başlayan firmanın son 10 yıllık toplam maliyet ve toplam gelirleri karşılaştırmıştır. Toplam maliyet, alt bileşenlerine ayrılmış; direk işçilik maliyeti, endirekt işçilik maliyeti, işletme malzemesi maliyeti, enerji maliyeti ve diğer üretim maliyetlerinin toplam maliyet üzerine etkisini görmek için regresyon analizi yapılmıştır. Buna göre tüm bağımsız değişkenlerin toplam maliyet üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu ve en yüksek katsayılı bileşenin endirekt işçilik maliyeti olduğu sonucuna varılmıştır. Tüm maliyetlerde ilk 5 yılda dalgalı bir yapı göze çarparken son 5 yılda genel bir düşüş gözlenmiştir. (2001 yılındaki ekonomik kriz nedeniyle sadece bu yıldaki bazı maliyet kalemlerinde yükselme vardır). Firma, Altı Sigma ile 23 siyah kuşak, 450 yeşil kuşak yetiştirerek, 153 proje uygulamış ve 20 milyon dolara yakın kar elde etmiştir. İşletme, Altı Sigma çalışmaları neticesinde % 77 lik bir iyileştirme elde etmiştir. Çelik (2006)'ya göre 2002 ve 2005 yıllarındaki toplam maliyetlerde ürün başına 40 EU'luk bir düşüş olmuştur, gelir ve maliyet arasındaki farktan elde edilen kazancın bir kısmı kapasite kullanım artışına aittir. Bu çalışmada, diğer maliyet bileşenleri gibi endirekt işçilik maliyetlerinde genel bir azalma olmasına rağmen, bu bileşen en fazla etkisi olan kalem olmuştur.

Firma genelinde uygulanan Altı Sigma çalışmaları eğitimlerle desteklenerek bilinçli olarak uygulanmış ve sonucunda iyileştirmeler ve gözle görülür azalan

maliyetler elde edilmiştir. Altı Sigma çalışmalarının başlatılması, danışmanlık ve eğitim giderleri ve buna ek olarak proje bazında karar verilen iyileştirme için harcanan giderlerden bahsedilmemesine rağmen maliyet bileşenleri içerisinde ayrıntılı gösterilmemiş veya imha edilmiş olabilir. Son 5 yılda çok sayıda proje uygulanması ve bu projelerin ilk kez uygulanması eğitim maliyetlerini ve ayrıca her bir iyileştirme maliyeti için harcanan giderleri de tolere etmiş gözükmektedir. Bu çalışmada Altı Sigma uygulamasının karlı sonuçlar doğurduğunu ancak her bir proje için kendi içinde ayrı bir değerlendirme yapmamızın daha doğru olabileceğini savunarak ilgili tezime yansıtılmış bulunmaktayım. Tez çalışmamda, Altı Sigma iyileştirme projeleri olduğundan elde edilen kazancın uygulama bütçesine ayrılan kazançla karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı alternatif çözümler ve getirileri sunularak ayrılan bütçeyi de aşmayacak şekilde çözüm arayışına gidilmiştir.

Kwak ve Anbari (2006), hazırladıkları makalede başarılı Altı Sigma çalışmalarını gözden geçirerek öğrenilen dersleri ve kilit noktalarını tanımlamış, Altı Sigma yaklaşımının yararları ve zorlukları üzerinde durmuşlardır. Kültürel bir değişim olduğunun ve sürekliliğinin disiplinli bir çalışmayla ve zaman ayırmakla mümkün olacağına altını çizmişlerdir. Buna göre Altı Sigma'da 2 yaklaşım vardır; Birincisi istatistiksel bakış açısı, ikincisi yönetsel bakış açısıdır. Altı Sigma'nın orijinali istatistikten gelmektedir. İstatistiksel olarak milyon değerinde 3.4 hata, yani % 99.9997 başarı oranı demektir. Yönetsel bakış açısı ise karlılığı arttırmak, müşterilerin beklenti ve isteklerini karşılamak ve aşmak için tüm operasyonların etkinliğini ve verimliliğini arttırmaya yönelik bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Altı Sigma'nın, DMAIC prosesini uygulayan sistematik ve diğer kalite girişimlerinden (TQM, CQI gibi) daha kapsamlı bir yaklaşım olduğunu vurgulamaktadır. Kwak ve Anbari'nin (2006) bildirdiğine göre Anbari (2002)'deki çalışmasında Altı Sigma metodunu aşağıdaki gibi özetlemiştir;

Altı Sigma = TQM (CQI) + Daha güçlü Müşteri Odaklanması + Ek Veri Analiz Araçları + Finansal Sonuçlar + Proje Yönetimi.

Kwak ve Anbari (2006), Altı Sigma metodunun, raporlanan karları olan birçok sektörde uygulaması olduğunu vurgulamışlardır.



Üretim sektöründe; örneğin Motorola, GE, Boeing, Dupont, Toshiba, Seagate, Allied Signal, Kodak, Honeywell, Texas Instruments, Sony, vb., finans sektöründe; örneğin BOA (Bank of America), American Express, GE Capital Corp., JP Morgan Chase ve Sun Trust Banks vb., sağlık sektöründe; sıfır hata hedefi sağlık için birebir hedeftir, toleransın sıfır olması ve potansiyel medikal hataların düşürülmesi gibi amaçlara uyduğundan sağlık hizmetlerinde başarılı projeler uygulanmıştır. Sağlık hizmetleri ulaşımının verimliliği, cerrahi aletlerin stok sürelerinin düşürülmesi ve ilgili maliyetler gibi projeler uygulanmış, Texas Üniversitesi MD Andersen Kanser Merkezi Radyoloji Film Laboratuvarı'nda yine bir Altı Sigma çalışması uygulanmış ve hizmet aktivitelerini büyük ölçüde iyileştirmiştir (Benedetto, 2003), mühendislik ve inşaat sektöründe; dünyanın en büyük mühendislik ve inşaat firmalarından biri olan Bechtel Corporation Altı Sigma uygulamış ve Altı Sigma Programı'na 30 milyon dolarlık bir yatırımla 200 milyon dolar kar elde etmiştir, araştırma ve geliştirme sektöründe; amaç maliyet azaltmak, pazar hızını arttırmak ve AR-GE proseslerini geliştirmektir. W.R. Grace firması yeni prototip yapımını 11-12 aydan 8-9 aya indirebilmiştir.

Kwak ve Anbari (2006) tarafından bildirildiğine göre , Antony ve Banuelas'a (2002) göre başarılı bir Altı Sigma uygulamasının kilit noktaları aşağıdaki gibidir;

- Yönetimsel ilgi, alaka ve sorumluluk
- Altı Sigma metodolojisini, araçlarını, tekniklerini anlamak
- Yönetimsel stratejiyle ilişkilendirmek
- Müşterilerle ilişkilendirmek
- Proje seçimi, gözden geçirme ve takip etmek
- Organizasyonel altyapı
- Kültürel değişim
- Proje yönetim becerisi

- Altı Sigma'yı tedarikçilerle ilişkilendirme
- Eğitim
- Altı Sigma'yı İnsan Kaynakları'yla ilişkilendirme

Kwak ve Anbari (2006) tarafından bildirildiğine göre, Johnson ve Swisher'e (2003) göre Altı Sigma uygulaması için yararlı ipuçları şu şekildedir;

- Yönetimin görünür desteği ve sorumluluğu
- Yöneticilerin ve katılımcıların sürekli eğitimi
- Açık hedef belirlemek ve proje liderlerini yönetim becerilerini dikkate alarak seçmek
- Stratejik olarak önemli projeler seçmek ve toplamak

Kwak ve Anbari (2006), Altı Sigma'da öncelikli hedefin hatalara odaklanmak ve onları saymak olmadığını, tüm yönetsel performansın iyileştirilmesi olduğunu iddia etmişlerdir. Kwak ve Anbari (2006) makalelerinde, Altı Sigma çalışmasının kilit noktalarından özellikle üzerinde durdukları noktanın yönetimin desteği olması, tezimde de bu konuya ağırlık vermeme sağladı. Başarılı bir çalışma için yönetimin desteği kesinlikle gerekmektedir. Tezimde de Altı Sigma çalışması idari desteğin alınmasının önemi açısından uygulama maliyetleriyle birlikte incelenmiştir. Altı Sigma'nın sadece istatistiksel bir düzeltme olmadığı sonuçlarının alternatif çözümlere olan mali yönünün de değerlendirilmesi gerektiği ve tüm projeler de sistematik bir çözüm yöntemiyle birlikte tüm değişimlerin incelenmesi gerektiği ve buna paralel olarak bakış açısını geliştiren kültürel bir değişim olduğu vurgulandı.

Mukhopadhyay ve Ray (2009) makalelerinde, bir tekstil firmasında Altı Sigma metodunu uygulayarak iplik paketleme hatalarını azaltmaya yönelik yapılan bir projeyi anlatmışlardır. İpliğin sarıldığı koniklerin ağırlığının müşteri

tarafından farklı tartılması en büyük hata olarak tanımlanmış ve bu hatanın çözümü için Altı Sigma adımları uygulanmıştır. İlk aşamada, yaklaşık 6 aylık veri toplanıp bu veriler derlenerek, pareto analizi oluşturulmuş ve analizin sonucunda retlerin yaklaşık % 65'inin konik ağırlıklarıyla ilgili olduğu ortaya çıkmıştır. Ağırlığı istenenden fazla ve az olan konikler ayrı ayrı incelendiğinde, pareto analizinde en fazla fark tek çeşit iplikte ve onu izleyen birkaç tipte de yoğunlaşmakta olduğu görülmüştür. Satış payları için ayrı bir pareto analizi yapıldığında, en fazla hata oranına sahip iplik tiplerinin satış oranlarının da yüksek olduğu (toplam cironun % 75'ini oluşturduğu) görüldüğünden analiz yapılacak iplik tipleri bu incelemeye göre daraltılmıştır.

Ağırlığın değişimine neden olabilecek potansiyel sebepler belirlenmiştir, buna göre parametreler; iplik denyesi, boş konik ağırlığı, nem oranı, koniğe sarılan iplik uzunluğudur. Her bir iplik türü için veri toplanmıştır, toplanan verilerle mevcut sigma seviyesi hesaplanmıştır. Hata tanımı şu şekilde yapılmıştır; İplik ve konik ağırlıkları toplamı spesifikasyon limitlerinin dışında kalan koniklerdir. 2 ardışık prosesten veri toplanmıştır. Buna göre 2 ardışık prosesteki hata oranları birbiriyle çarpılarak mevcut sigma seviyesi 1.3 olarak bulunmuş, hedef değer ise 2 sigma olarak belirlenmiştir.

Her 2 ardışık operasyonda istenenden fazla ve istenenden az ağırlığı olan konikler ayrı ayrı hata olarak incelenmiştir. Buna göre yapılan hipotez testleri sonucunda şu çıkarımlar elde edilmiştir: Tartılan ortalama brüt ağırlıklar hedeflenen ağırlıklardan göreceli olarak yüksektir. Sarım makinelerinin 2 tarafı arasındaki ilişki incelendiğinde; F testine göre varyans farklılığı yoktur, t testine göre ortalamaları arasında anlamlı bir fark vardır (özellikle belirli bir makinedeki belirli bir iplik için). Boş koniklerle dolu konikler arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür, boş koniklerin renkleri ne olursa olsun toplam ağırlık üzerine etki yapmadığı anlaşılmıştır. İplik içeriği ve nem oranı arasındaki ilişki önemsizdir. Konik üzerine sarılan iplik uzunluğundaki ağırlık değişiminin potansiyel sebebi olarak gözükmektedir. Sonuç olarak makinenin her iki tarafı arasındaki önemli fark, iplik sarım makinesindeki iplik uzunluklarını tespit eden elektronik sayaçların incelenmesini gerektirmiştir. Elektronik olmasına rağmen

sayaçların yeterlilik değerleri incelendiğinde, % 44 ile %49 arasında değişkenlik çıkmıştır. Yeniden üretilebilirlik ve tekrarlanabilirlik değerleri sayaçların yeterli hassasiyette olmadığını göstermiştir, buna göre kalibrasyon prosedürleri uygulanmaya başlamış, sonucunda yeterlilik değerleri yükselmiştir. Varyasyonun azalması sonucunda, müşteriler fabrika yönetimi tarafından şirkete davet edilerek düzeltme faaliyetleri gösterilmiş, elektronik sayaçların kalibrasyonlarıyla ilgili bakım anlaşmaları imzalanmıştır. İplik ağırlıkları ve uzunlukları arasında % 95 güvenlik seviyesinde regresyon denklemi oluşturulmuştur. Mukhopadhyay ve Ray (2009) çalışmalarında, ortaya çıkan kalite probleminin çözümü, klasik Altı Sigma adımlarını takip ederken kök nedene ulaşılabilmiş ve çözüm geliştirilmiştir. Kalite probleminden yola çıkarak Altı Sigma adımlarının takibi, ilgili tez için kaynak olarak teşkil etmesi açısından önemlidir. Tezimde, Altı Sigma'nın tüm adımları tamamlanana kadar kök nedene ulaşılmamış, ancak sonucunda çeşitli alternatif çözümler ve bunlarla ilgili maliyetlerle elde edilecek katkı farklı bir uygulamayla değerlendirilmiştir.

Chakravorty (2009) çalışmasında Altı Sigma uygulamalarındaki artışa rağmen uygulamadaki başarısızlıklarıyla ilgili de artışların söz konusu olduğunu bunun da en büyük nedeninin Altı Sigma uygulamasında rehber alınacak başarılı bir modelin olmamasından kaynaklandığını savunmaktadır. Altı Sigma'nın başarılı olabilmesi için bir model geliştirilmiş ve bir network şirketinde uygulamayla birlikte açıklanmıştır. Buna göre başarılı bir Altı Sigma modeli için belirlenen 6 adım şu şekildedir; ilk dört adım stratejik adım, son iki adım taktiksel adımlardır. Birinci adım müşteri ve pazar odaklı stratejik analiz yapmak (uygulamada gelişen müşteri beklentilerini karşılamak için operasyonel mükemmellik adına Altı Sigma uygulaması), ikinci adım yüksek seviyede çapraz fonksiyonel takım oluşturmak, bu takım alt grubu seçecektir (uygulamada farklı departmanlardan yönetim becerisi olan, nitelikli katılımcı seçilmiştir), üçüncü adım kullanılacak tüm istatistiksel araçların tanımlanması (uygulamada istatistiksel proses kontrol araçları kullanmıştır,), dördüncü adım yüksek seviyeli bir proses haritası oluşturmak ve öncelikli iyileştirme fırsatları üzerine yoğunlaşmaktır. Bu adımda stratejik bir karar olan proje seçimi zor bir iştir, nasıl ve neye göre seçilmesi gerektiği belirlenmelidir, bir çok kriter (örneğin maliyet yarar analizi,

önceliklendirme paretosu gibi kriterler kullanılarak seçim yapılmalıdır (uygulamada giriş kontrolden sevkiyata kadar bir harita çıkarılmıştır, işçi ve yöneticilerden alınan öngörüsöl gelir bilgilerine göre en fazla maliyet düşüren ve kar getiren projeler önceliklendirilmiştir). Son iki adım uygulama adımları olup alt seviyeli iyileştirme takımları için detaylı bir plan geliştirmek ve altıncı adım ise uygulamak, dokümante etmek, gerektiğinde revize etmektir. Tezimde makaleden yararlanarak, proje seçiminden çok proje sonuçlarının seçimi için benzer bir yöntem kullanılmaktadır. Maliyet düşürme ve elde edilen karın yüksek olması durumunda ilgili çözüm önerisi seçilmektedir. Bu da Chakravorty'a (2009) göre Altı Sigma uygulamasının başarılı olmasını sağlayan adımlardandır.

Hu ve ark. (2008) makalelerinde üretim işletmelerinde çok amaçlı formülasyonlu proje seçim probleminde karar vermeye yardımcı bir model geliştirmişlerdir. Bu model işletmedeki potansiyel Altı Sigma ve Yalın Üretim projelerinin seçimi için geliştirilmiştir. Hu ve ark.'nın (2008) bildirdiğine göre Rowlands (2003) ve Fowler (2004) işletmede uygulanacak iyileştirme projelerinin seçiminin fazlasıyla zaman aldığını ve çaba gerektirdiğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda makalede, şirket yöneticileri tarafından proje seçim prosesinin karmaşık bir iş olduğuna inanıldığını belirtmişlerdir. Genelde, karar vericilerin kendi deneyimlerine ve sübjektif seçimlere göre karar verdiklerini ancak proje sayısı arttıkça sayısal dayanağı olmadan yapılan karar verme işleminin büyük bir risk taşıyabileceğini vurgulamışlardır. Hu ve ark.'a (2008) göre yazarlar en sayısal yöntemin modelleme ve optimizasyon araçları olduğunu bulmuşlardır. Şirketteki karar vericiler, proje uygulama maliyeti ve projenin getirisiyle ilgilenirler. Bu makalede, orijinal bir amaç fonksiyonu ve şirket yöneticilerinin esnek olarak ağırlıklarını belirledikleri amaçlarla oluşturulan çok amaçlı bir model kullanılmıştır. Öncelikle çok amaçlı bir fonksiyon oluşturulmuş, kısıtlar ve çözüm yöntemleri belirlenmiştir. Çözümün değerlendirilmesi üst yönetime sunulmuş ve yönetimsel bir seçimle sonuçlandırılmıştır.

Bu makalede, mevcut belirli bir sayıda proje olduğu kabul edilmiştir. Her projenin belirli alt hedefleri, kaynak kısıtları ve bütçesi söz konusudur. Aynı zamanda her proje belirli bir proje müdürü ve önceden belirlenmiş alt kategoride yer almaktadır. Diğer yandan karar vericiler, başarılı Altı Sigma uygulamaları için yatırımı minimize ederken karı maksimize eden projeleri seçmelidir. İki amaç fonksiyonundan birincisi; ikili değişken kullanılarak uygulanma durumuna göre eğer uygulanırsa uygulama maliyetiyle çarpılarak sonucu minimize edecek bir model, diğeri ise her bir projenin ağırlığıyla alt amaçlarına göre diğerleriyle normalize edilmiş performans skoru çarpımını maksimize edecek modeldir. İşletmenin belirli limitleri söz konusudur, buna göre ilk kısıt kaynak kısıtıdır. Kaynak kısıtı işçilik ve üretim kapasitesi olabilir. İşçilik için örneğin her projeyi yöneten bir kara kuşak vardır, proje yönetiminde harcanan zaman düşünüldüğünde projelerin belirli sayıda tutulması gerektiğinden bu bir kaynak kısıtıdır. Her bir proje indeksine bağlı belirli kritik kaynak indeksleriyle birlikte kısıt oluşturulmuştur. Belirli bir projenin belirli bir alt hedefi için gerekli kaynağın ilgili proje için olan kaynaktan az olması gerekmektedir. İkinci kısıt, aynı tip projelerin seçilmesini engelleyen çeşitlilik kısıtıdır. Projeler kategorilendirilir, genelde çok yakın olanlar aynı proje kapsamına alınır. Karar vericiler, aynı tip projelere sıcak bakmadığından uygulanacak farklı tipteki projeler için belirli bir sınır tespit edilmiştir. Üçüncü kısıt ise yönetim kısıtı olup proje yöneticilerinin belirli sayıda projeye ilgilenmesi gerektiğiyle ilgilidir.

Hu ve ark. (2008) hazırladıkları makalede kurulan modeli bir üretim işletmesinde örneklendirerek incelemişlerdir. Öncelikle her bir proje için uygulama maliyeti ve her bir projenin tek başına öngörülmesi belirlenmiştir. Amaç proje uygulama maliyetini azaltıp karı arttırmaktır. Buna göre N proje için  $2^N$  adet çözüm vardır, uygulamada bu sayı 100 adede indirilmiştir, buna göre projelerin seçilme sıklıkları incelenmiştir. Modelin çözümünde ilginç olan nokta sonucun iki amaçtan maliyeti düşük olanının seçilmesi hedefine daha hassas olduğu gözlemlenmiştir. Belirli bir uygulama bütçesi ayrılmış, genelde maliyeti bu bütçeye yakın projelerin daha az seçildiği gözlemlenmiştir. Maliyeti düşük getirisi yüksek olan bazı projelerin seçilmemesinin nedeni kaynak, çeşitlilik ve yönetimden oluşan diğer kısıtlardır. Bu makale, proje seçimleri için bir karar

verme aracı olarak kullanılabilir. Çok amaçlı matematiksel model ayarlanılır nitelikte esnek bir ağırlandırma sağlamaktadır. Proje seçilme olasılığı uygulama maliyeti yükseldiğinde ve potansiyel getirisi düştüğünde monotonik bir düşüş göstermemektedir. Modelde bu seçim diğer kısıtlarla birlikte değerlendirilir.

Hu ve ark.'nın (2008) hazırlamış olduğu makalede projelerin getirileri ve uygulama maliyetleri değerlendirilerek belirli kısıtlar altında optimum seçim yapılmıştır. Tezimde de benzer bir amaç ve paralel bir yöntem belirlenerek matematiksel model oluşturulmuştur. Tezimde, ilgili makaleden daha ayrıntılı bir model uygulanmış; Kalite iyileştirme oranlarının maksimizasyonu ve mevcut hataların minimizasyonu hedeflenmiştir. Yine makaledeki gibi her bir proje için uygulama maliyeti belirlenerek, belirli bir bütçe altında seçim yapılması sağlanmıştır.

Kumar ve ark. (2008) hazırlamış oldukları makalede üretim işletmelerinde her yıl binlerce Altı Sigma çalışmasının uygulandığını ve bu uygulamaların önemli yatırımlar gerektiğinin altına çizerek projenin getirisinin uygulama maliyetinden daha yüksek olması için ayrıntılı bir analiz gerektiğini belirtmişlerdir. Bu analizin özellikle küçük kar marjıyla çalışan işletmeler açısından oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. İlgili makalede proje iyileştirme fırsatlarının seçiminde yönetime yardımcı olacak iki optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Birinci model, Sigma kalite seviyesini maksimize ederken ikinci model ise aynı kısıtlar altında proje karını maksimize etmeye çalışmaktadır. Kumar ve ark.'nın (2008) bildirdiğine göre Dusherma'ya (2006) göre Altı Sigma diğer kalite iyileştirme yöntemlerinin arasında % 53.6 oranında en etkili teknik olup diğer tekniklerden önemli bir farkı üretim endüstrisi dışında da uygulanabilmesidir. Altı Sigma 5 adımlı bir iyileştirme tekniği uygular ve milyonda 3.4'ü aşmayacak kesin bir kalite hedefinin tanımlanmasını sağlar. Altı Sigma veya sigma kalite seviyesi, proses hata oranı ölçümüdür, yüksek olması düşük hata oranını, düşük olması yüksek hata oranını gösterir. Örneğin 3 sigma seviyesi 4 sigma seviyesine çıkan bir işletme milyon olasılıktaki hata sayısını (DPMO) 6210'dan 66,81'e düşürmüştür demektir. Benzer şekilde Sigma seviyesinin 5'den 6'ya çıkması da DPMO'nun 233'den 3.4'e düşmesi demektir.

Sigma seviyesinin iyileştirilmesi prosesteki değişkenliğin azaltılmasını gerektirir. Sigma seviyesindeki iyileştirme, düşük kaliteli hata maliyetini de azaltmaktadır. Düşük kalite maliyeti; yeniden işleme maliyeti, fazladan malzeme kullanımı, gereksiz kaynak kullanımı ve garanti maliyetlerinden oluşur. Bu makalede, yeniden işleme ve hurda maliyetleri kayıplarla doğrusal orantılı olarak alınmıştır.

Kumar ve ark. (2008), proses iyileştirilmesinin, bazen mevcut prosesin iyileştirilmiş yeni bir alternatif prosesle değişimini gerektirebileceğini, fakat bu değişimin de maliyetli olabileceğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, eğer bu değişim Sigma seviyesini istenilen kadar arttırmıyorsa, yatırımın önemli bir geri dönüşü olmayacaktır. Diğer kalite iyileştirmeleri gibi, Altı Sigma'da, eğer uygulama maliyeti ve etkileri yeterli değilse, başarısızlıkla sonuçlanabilir. İlgili makalede, 2 model sunulmaktadır; birincisi farklı proses alternatifleri arasından seçim yapmak konusunda yöneticilere yardımcı olacak bir matematiksel model, diğeri ise proses Sigma seviyesiyle onun getirisini de içine alan matematiksel bir ilişkidir. İlk modelde, proses alternatiflerinin uygulama maliyetleriyle birlikte getirilerinin değerlendirilip proses Sigma seviyesini maksimize etmektir. Proses iyileştirme alternatiflerinin seçimi çok kriterli bir karar verme problemi gibi ele alınır. Altı Sigma'nın proses iyileştirme temelli olmasına rağmen, iyileştirme alternatiflerinin seçimiyle ilgili az sayıda araştırma yapıldığını bildirmişlerdir. Kumar ve ark. (2008) hazırladıkları çalışmanın karın maksimizasyonunu sağlayan iyileştirme alternatiflerinden birini seçen sayısal bir model sunmakta olup literatürdeki bu boşluğu doldurduklarına değinmişlerdir. İkincisinde ise proses sigma seviyesi ve onun getirisi arasındaki matematiksel ilişki sunulmuştur. Bu makalede, kalite iyileştirmesi, yeniden işleme ve hurda oranlarındaki düşüş olarak tanımlanmıştır. 1. Modelde amaç fonksiyonu, sigma kalite seviyesini maksimize etmektir. İlgili indeksli alternatifin hata oranını düşürme oranını en fazla yükselten uygulama seçilmelidir. Kısıtlar ise, her bir aşamada tek bir iyileştirme alternatifi seçilmelidir. 2. Kısıt, uygulamanın belirli bir bütçeyi aşmamasını garanti etmektir. Diğer 3 kısıt birim miktarlarla ilgili kısıtlardır, kapasiteyi aşmaması, hammadden fazla üretilmemesi ve son proseste stok birikmesini önlemektir. 6. kısıt, her aşamadaki üretim miktarının bir öncekinden çıkan hatasız miktar kadar olmasıdır. Son kısıt ise, her proseste



tek çözümün olmasını sağlayan ikili değişkeni tanımlar. İlk modelde seçilen iyileştirme alternatifi sigma kalite seviyesini maksimize edecek bir seçim yapmaktadır, buna göre ilgili makalede, bu modelin karar verme aşamasında, en iyi araç olduğu bildirilmiştir. 2. Modelde ise, amaç fonksiyonu; karı maksimize etmek için oluşturulmuştur. En yüksek seviyedeki karı gösterir, bu da proses sonunda elde edilecek gelirle tüm aşamalarda oluşan maliyetini gösterir. Yapılan uygulamada ilk model çözümünde, her aşamada belirli bir iyileştirme alternatifi elde edilmiştir. 2. Model çözdürüldüğünde ise, en karlı seçimin hiçbir alternatifin seçilmemesi olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumda, her iyileştirme alternatifinin ekonomik olmadığı görülmektedir. Tezimde, ilgili makaledeki ilk model amaç fonksiyonu olarak belirlenmiş, benzer kısıtlarla model tanımlanmıştır. Üretim işletmelerinin Altı Sigma uygulamalarının maliyetlerini ortaya koyup kalite getirileriyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kumar ve ark. (2008) ve Hu ve ark.'nın (2008) değindiği gibi literatürde iyileştirme projelerinin seçimleriyle ilgili çok sayıda çalışma yer almamaktadır. Tezimi oluştururken öncelikle Altı Sigma çalışmalarını incelenmiştir. Literatürde görülen çalışmalarda Altı Sigma'nın sağladığı karlardan sıkça bahsedilmektedir, ancak Chakravorty (2009) ve Kwak ve Anbari (2006) çalışmalarında konu edilen Altı Sigma'nın uygulamasındaki sıkıntılar ve olası başarısızlıklar da dikkat çekicidir. Altı Sigma uygulamalarının ekonomik olarak değerlendirilmesi ve öngörülse sonuçlarına göre belirli kısıtlar altında karar verilmesi gerektiği açıktır. Bu konudaki literatür boşluğu da göz önünde bulundurulduğu tez konusu ortaya çıkmıştır. Buna göre ilgili tezde, Altı Sigma çalışmasının olumlu taraflarından bahsedilmesinin yanı sıra uygulamasının ekonomikliğinin de sayısallaştırılarak ortaya konulması hedeflenmiştir. İyileştirme alternatifleri arasında belirli kriterlerle en yüksek faydayı sağlayanın seçilmesi matematiksel bir modele dayandırılmıştır.

Genel olarak, Altı Sigma uygulamasının hedefleri aşağıdaki gibidir;

- Müşteri tatmininin artırılması
- Kusurların azaltılması

- Çıktının iyileştirilmesi
- İş veriminin yükseltilmesi
- Yeterliliğin artırılması
- Altı Sigma standartlarının belirlenmesi
- Süreç yeterliliği
- Tutarlı ölçüm yöntemi
- Rekabetin sağlanması
- Stratejik iyileştirmeler

#### **2.1.4 Altı Sigma Organizasyonunda Roller ve Sorumluluklar**

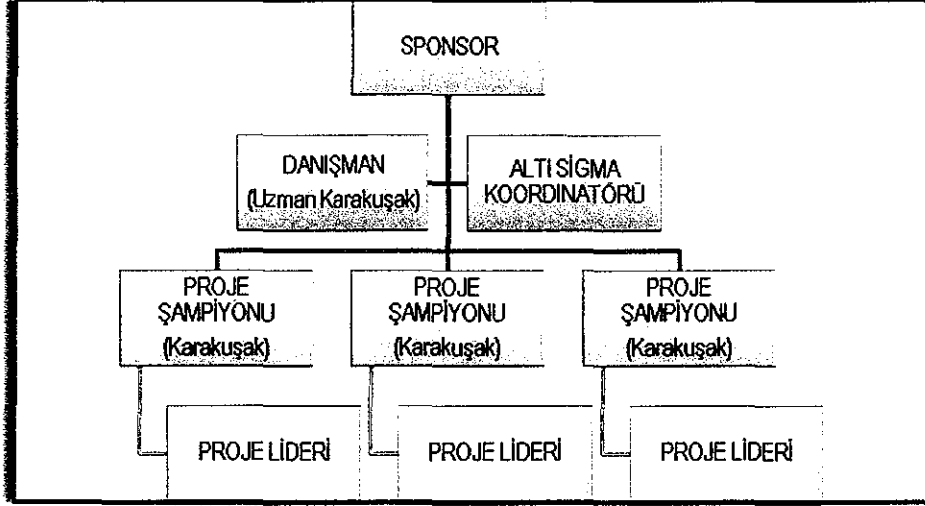
Altı Sigma projelerinin başarılı sonuçlanabilmesi için işletmelerde uygun alt yapının olması, üst yönetimin isteği ve desteği gerekmektedir. Bu organizasyondaki roller adlarını Uzakdoğu sporlarındaki kavramlardan almışlardır. Organizasyonun yapısı, uygulamanın kapsamı ve türlerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

Altı Sigma yapılanması genel olarak aşağıdaki rollerden oluşmaktadır;

- Lider
- Sponsor-Proje Sahibi
- Danışman-Uzman Kara Kuşak
- Kara Kuşaklar
- Yeşil Kuşaklar

- Yayılım Şampiyonları

Organizasyonel yapılanma genel olarak Şekil 2.4'deki gibidir;



Şekil 2.4 Altı Sigma Yapılanması

**Uzman Siyah Kuşaklar;** Altı Sigma'nın felsefesini ve amaçlarını kavramış, kara kuşakları gözden geçiren ve onlara teknik danışmanlık yapan uzmanlardır. Tam zamanlı çalışan rehberlerdir. Sorumlulukları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- İyileştirme takımlarına istatistik yöntemlerinin seçimi ve kullanımı konusunda teknik destek sağlamak, altı sigmanın teknik vizyonundan sorumlu olmak,
- Proje şampiyonlarına proje sürelerinin belirlenmesinde yardımcı olmak,
- İyileştirme projelerinden elde edilen sonuçları özetlemek konusunda sponsora yardımcı olmak,
- Altı Sigma'nın benimsenmesi için çalışmak ve kara kuşakların eğitiminden ve onlara koçluk yapmaktan sorumludur.

**Kara Kuşaklar;** Projeler için ekip oluşturur ve onlara öncülük eder. Altı Sigma hedeflerinden, maddi tasarruf, değişkenliğin azaltılması, hataların ve

kusurların azaltılması gibi gelişmeleri ortaya koymakla sorumludurlar. Diğer kara kuşaklarla bilgi ağı kurar ve işbirliği yaparlar. Proje sponsoruna rapor verirler. Tam zamanlı çalışırlar, orta yönetim ile birlikte çalışır ve önerilerde bulunurlar. Altı Sigma araçlarını kullanarak projeleri yürütmekten ve yeşil kuşakları eğitmekten ve onlara koçluk etmekten sorumludurlar.

Adams ve ark. (2003), bir işletmede kaç kara kuşak bulunmalı sorusuna proje sayısına bağlı olarak önerilerde bulunmuşlardır. Buna göre öncelikle kara kuşak sayısının belirlenmesine ihtiyaç duymak için Altı Sigma projeleri olmalı, proje sayısı kara kuşaklardan daha fazla olmalıdır. Yani buradaki önemli nokta kara kuşakları layıkıyla dolduracak sayıda tanımlanmış proje olmalıdır. Adams ve ark. (2003), işletmede olması gereken kara kuşak sayısı için yöneticilere 3 yaklaşım önermektedir;

- Kara kuşak sayısı:  $[(\text{satışlar}) * (0.2) * (0.5)] / [(5) * (\text{proje değeri}) * (\text{kara kuşak başına düşecek yıllık proje sayısı})]$
- Kara kuşak, direkt işçi sayısının yüzde 0.5'i ile 4'ü arasında olmalıdır. % 0.5 yüksek konsantrasyon gerektirir, % 4 ise hızlı uygulama planları sağlar.
- Yönetim öncelikle proje sayısını peşinen tanımlamalıdır, daha sonra proje bazında kara kuşak liderliğinin ne kadar zaman gerektirdiğini belirlemelidir. Günlük çalışma zamanına bölerek, gerekli sayı tespit edilebilir.

Ancak bu hesaplamalar belirli varsayımlar altında hesaplanılacaktır, proje kazancı, gerekli zaman ihtiyacı, vb kriterler önceden tahmin edilenden çok farklı olabilmektedir.

**Yeşil Kuşaklar-Ekip Üyeleri;** iyileştirme faaliyetlerini gerçekleştiren kişilerdir. Altı Sigma ölçüm araçlarını iyi bilen ve kara kuşak projelerinde takım elemanı olarak çalışan kişilerdir. Tam zamanlı çalışmak zorunda değildirler, ekibin başarısı için çalışmaları ve katkıda bulunmaları beklenir. Hedeflere

ulaşılmasını sağlamak için belirgin alanlarda yarı zamanlı çalışırlar. Bazen küçük projeleri üstlenebilirler.

**Sponsor;** Projelerin belirlenmesi, uygulanması, proje seçimleri, önceliklendirilmesi, hedefleri ve yaygınlaştırılmasından sorumludur. Sponsor, st yönetime programı raporlar. Süreç ile ilgili kaynakları kontrol eder. Bazı organizasyonlarda süreç sahibi veya şampiyon diye de adlandırılır.

**Kalite şampiyonu;** Kara kuşak olmalıdır. st kalite Konseyi adına projeleri gözlemleyen kişilerdir. şampiyonlar organizasyonun farklı düzeylerindeki yöneticilerdir ve projeleri tanımlarlar. Aktif olarak bir ekip elemanı değildir, etkinliklerde aktif rol oynamazlar. İyileştirme projelerini kalite konseyi adına gözlemleyebilen kişidir, st yönetime rapor verir. Hedeflere ulaşılıp dokümantasyon tamamlandıktan sonra resmi olarak projenin bittiğini açıklarlar ve st yönetime sunumun yapılmasını sağlarlar.

### 2.1.5 Altı Sigma Adımları

Altı Sigma, ilgili olunan herhangi bir süreç için uygulanabilir. rn tasarımı, üretimi, siparişlerin işlenmesi ve finansal tabloların oluşturulmasında kullanılabilir.

Süreçlerin iyileştirilmesi, tasarımı ve yönetimine odaklanan Altı Sigma “tanımlama, lme, analiz, iyileştirme ve kontrol” (Define, Measure, Analyze, Control-DMAIC) modelini kullanır. lme ve analiz, “süreç karakterizasyonu”; iyileştirme ve kontrol ise “süreç optimizasyonu” olarak adlandırılır. DMAIC döngüsel bir süreçtir, her adımın en iyi sonuç vermesi beklenir. Çizelge 2.2’de Altı Sigma adımları ve bu adımlarda genel olarak hangi çalışmaların yapıldığını göstermektedir.

Altı Sigma metodolojisi, süreçleri matematiksel olarak ilişkilendirmeye zorlar.

Çizelge 2.2 Altı Sigma Adımları ve Yapılacak İşler (Gürsaka1 2003)

TANIMLA : Problemi tanımla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projenin kritik kalite özelliklerini (CTQ) belirle.</li> <li>• Ekip bildirisini geliştir.</li> <li>• Süreç haritasını çiz.</li> </ul>
ÖLÇ: Değişkenleri ölç.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kritik kalite özelliklerini seç.</li> <li>2. Performans standartlarını tanımla.</li> <li>3. Veri toplama planını oluştur. Ölçme sisteminin geçerliliğini ve güvenilirliğini test et ve verileri topla.</li> </ol>
ANALİZ: Hipotezleri oluştur test ve analiz et	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Süreç yeterliliğini oluştur.</li> <li>5. Performans amaçlarını tanımla.</li> <li>6. Değişkenliğin kaynaklarını belirle.</li> </ol>
İYİLEŞTİR: Süreci iyileştir.	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. Potansiyel nedenleri gözden geçir.</li> <li>8. Değişkenler arasındaki ilişkileri belirle.</li> <li>9. Pilot çözümü oluştur.</li> </ol>
KONTROL ET: Süreci kontrol et.	<ol style="list-style-type: none"> <li>10. Ölçme sisteminin geçerliliğini incele.</li> <li>11. Süreç yeterliliğini belirle.</li> <li>12. Süreç kontrol sistemini uygula ve projeyi tamamla.</li> </ol>

### 2.1.5.1 Tanımlama

Altı Sigma metodolojisinin ilk adımıdır. Tanımlama aşamasında, projenin amacı ve kapsamı belirlenir, beklenen iyileştirmenin açık tanımı ve nasıl ölçüleceği net bir şekilde tanımlanır. Ayrıca iç ve dış müşterileri ile onlar için kritik olan değişkenleri belirlenir. Kalite değişkenlerinin şunlarla ilişkili olması gerekmektedir; müşterinin tepkisi, pazardaki rekabet durumu (fiyat, ürün, değer), zamanında ve eksiksiz teslimat, ürünün /hizmetin teknik performansı.

Yine bu aşamada süreç haritası oluşturulur ve projenin sınırları, ne zaman başlayıp ne zaman biteceği belirlenir.

Süreç Şeması oluştururken girdi sağlayacak çalışmalar S.I.P.O.C akışı ile belirlenir, bu akışın tanımını aşağıdaki gibidir;

*S* : *Tedarikçi (Supplier)*- ilgili proseste işlenen girdileri sağlayanı tanımlar.

*I* : *Girdi (Input)*-Proseste işlenecek malzeme veya veriyi tanımlar.

*P* : *Süreç (Process)*-Müşteri beklentisini karşılamaya yöneliktir.

*O* : *Çıktı (Output)*-Prosesten çıkan malzeme veya veriyi tanımlar.

*C* : *Müşteri (Customer)* -Prosesin çıktısını kimin aldığını tanımlar. (iç veya dış müşteri olabilir.)

Süreç şeması genellikle 6 adımdan oluşmaktadır;

- Tedarikçi listesi ve müşteri beklentileri oluşturulur.
- Genel girdiler ve müşteri isteklerini göz önüne alarak önemli çıktılar belirlenir.
- Çıktının kalitesini etkilemeyen adımlar belirlenir.
- Her süreç adımında temel girdi ve çıktılar tanımlanır, temel girdiler sınıflanır.
- Temel girdiler için kontrol edilebilir özellikler tanımlanır.

Temel süreçler tanımlanır, problemlerin öncelik sırasının belirlenmesi için pareto analizi yapılır. Ayrıca uygun kişiye atanması sağlanır.

Tanımlama aşamasında süreç şemasını oluşturduktan sonra ölçme adımına geçmeden önce tüm tanımlanan verileri matematiksel bir sonuca bağlamak için sebep-sonuç matrisi oluşturulur.

Sebep-sonuç matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur;

- Temel müşteri ihtiyaçlarının (çıktılar) tanımlanır.

- Çıktılar önceliklendirilir ve sıralanır.
- Süreç akış şemasındaki tüm süreç adımları ve malzemeler (girdiler) tanımlanır.
- Her bir girdi ile çıktı arasındaki korelasyon değerlendirilir; girdi değişkeninin çıktı değişkeni üzerindeki etkisine göre küçük veya büyük etki değeri verilir.
- Korelasyon değerleri ile öncelik faktörleri çarpılarak, her bir girdi için toplanır ve sonuca etkileri değerlendirilir.

Bu aşamanın sonunda; beklenen iyileştirmenin açık tanımı ve nasıl ölçüleceği net bir şekilde belirlenir. Süreç şeması oluşturulur ve problemin sınırları belirlenir, müşteri için önemli gereksinimler ölçülebilir kriterlere dönüştürülür ve problemi oluşturan muhtemel girdiler belirlenmiş olur.

### 2.1.5.2 Ölçme

Bu aşamada mevcut durum tüm yönleriyle açıklanması gerekmektedir. Amaç problemin kaynağının belirlenmesidir. Ölçme adımı, mevcut durumu farklı görsel araçlarla ortaya koymaya ve bir sonraki aşamada araştırmamız gereken potansiyel neden alanının daralmasına yardımcı olur. Hataların sıklığını tanımlar ve verilerin doğruluğunu tespit eder.

Ölçüm aşamasının sonucunun, projenin çıktılarının ve girdilerinin doğru ölçüldüğünden emin olunması ve mevcut durumun belirlenmesi olmasına rağmen somut bir sonuç elde edilmediğinden, diğer aşamalara göre göz ardı edilen bir aşamadır.

Belirli bir prosesteki iyileştirme fırsatlarını belirlemek için yapılacak analiz öncesinde, problemin neden olduğu alan doğru olarak belirlenmeli ve



kullanılacak yöntemler bu bilgilerle seçilmelidir. Bu nedenle, ölçme aşaması da en az diğerleri kadar önemlidir.

Bu aşamanın amaçlarından biri de sürecin mevcut yeterliliğinin hesaplanmasıdır. Bu aşamada kullanılan genel araçlar aşağıdaki gibidir;

- Veri Toplama Planı
- Grafiksiz Analizler
- Gage (R&R)
- Yeterlilik Analizi

Yaygın olarak kullanılan Gage (R&R) sisteminde, ölçüm indeksi, ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenliğin toplam değişkenliğe oranı olarak hesaplanır, endüstride % 30 dan düşük olması beklenir. %5 den küçükse hiçbir sorun yok demektir, en iyi durum %10 ölçüm sistemi uygun demektir. %10 ile %30 arasında olması uygulamanın önemi ve maliyet faktörüne dayanarak kabul edilebileceğini göstermektedir. %30'dan büyük olması ölçüm sisteminin iyileştirilmesi veya düzeltilmesi gerektiğini gösterir. Düşük olması, ölçüm sisteminin gerçek değişkenliği hesaplaması açısından yeterli olması demektir. Gage (R&R) ölçüm indeksi aşağıdaki gibi formülize edilir.

$$GageR \& R = \frac{\sigma_{\text{ölçüm}}(\text{standart sapma} - \text{ölçüm sistemi})}{\sigma_{\text{TOPLAM}}(\text{standart sapma} - \text{toplama})} \quad (2.2)$$

Ölçüm sisteminden oluşan değişkenlik ikiye ayrılır;

- Yeniden üretilebilirlik (Reproducibility): Aynı parça üzerindeki aynı parametrenin, aynı ölçüm cihazı kullanılarak farklı kontrol operatörleri tarafından ölçülmesi sonucu ortaya çıkan değişkenliklerdir.

- Tekrarlanabilirlik (Repeatability) : Aynı parçanın aynı karakteristiğinin, aynı cihazı kullanarak, bir kontrol elemanı tarafından, birçok defa ölçülmesi sonucu ortaya çıkan değişkenliklerdir.

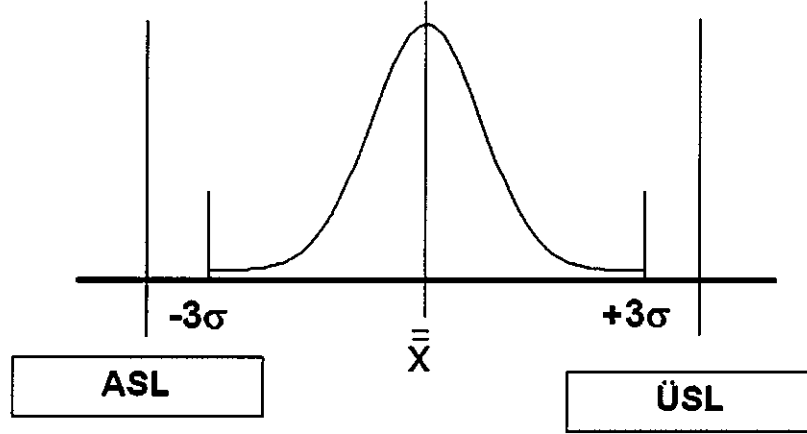
Süreç yeterliliğini ölçmek için yeterlilik analizinde, takip edilen 2 değişken vardır;  $C_p, C_{pk}$  değerleridir.

$C_p$ : İzin verilen değişkenliğin süreç değişkenliğine oranıdır. Proses varyasyon indisidir. 1.33'ten büyük olması beklenir. Ortalama değer dikkate alınmaz, sadece değişkenlik (standart sapma) önemlidir. Ortalama değer, spesifikasyon limitleri arasında olmasa bile bu indeks yüksek olabilir.

$$C_p = \frac{|USL - ASL|}{6\sigma} \quad (2.3)$$

$C_{pk}$ : Süreç ortalaması ve değişkenlik dikkate alınır. Kararlı bir süreç için kullanılır. Standart sapmanın tahmin edilmesi alt grup içerisindeki varyasyona dayandırılmıştır. Bir set verinin her alt-grubu içerisindeki proses varyasyonunu esas almaktadır.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{|\bar{X} - ASL|}{3\sigma_{\bar{R}/d_2}}, \frac{|USL - \bar{X}|}{3\sigma_{\bar{R}/d_2}}\right) \quad (2.4)$$



Şekil 2.5 Normal Dağılım Eğrisi,  $3\sigma$  için Alt ve Üst Limitler

$C_{pk}$  indeks değeri  $>1,67$  ise; Mevcut durumda süreç müşteri isteklerini karşılamaktadır.

$1,33 < C_{pk}$  indeks değeri  $<1,67$  ise; Süreç mevcut durumda kabul edilebilir durumdadır ancak bazı iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

$C_{pk}$  indeks değeri  $<1,33$  ise; Mevcut durumda süreç kabul kriterlerini karşılamamaktadır.

### 2.1.5.3 Analiz

Bu aşamada hataların neden, ne zaman ve nerelerde olduğu tespit edilir. Bu aşamanın amacı, süreç ve veri analiziyle problemin asıl nedenini tanımlamak ve bunların nedenlerini doğrulamaktır. Ölçüm aşamasında ortaya çıkan yüksek risk taşıyan girdiler tanımlanır. Ortalama, standart sapma, medyan veya oran vb. değerler kullanılarak güven aralıkları hesaplanır ve anlamlılık testleri yapılır.

Bu aşamada, örnekleme metotları kullanılarak, potansiyel değişkenlik nedenleri karşılıklı ilişkiler yöntemi ile gözden geçirilir. Problemin kritik faktörleri bulunduktan sonra, aşağıdaki yöntemler kullanılarak analiz yapılır;-

- Beyin fırtınası
- Kontrol grafikleri
- Çoklu regresyon ve korelasyon analizi
- Deney tasarımı
- Regresyon Analizi
- Hipotez tezleri
- Ki-kare testi
- T-testi
- F-testi
- ANOVA
- Sebep-Sonuç diyagramı
- Pareto şeması
- Örneklem
- Serpme diyagramı

Bu aşamanın çıktısı, test edilen ve doğrulanan hipotez olacaktır.

X-R Kontrol grafiğinde kullanılan terimler ve açıklamaları aşağıdaki gibidir;

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (2.5)$$

$$R = X_{enyüksek} - X_{endüsük} \quad (2.6)$$

**Çizelge 2.3** Kontrol Limit Hesabından Örnek Sayısına Bağlı Katsayı

$n$ örnek büyüklüğü	$A_2$
2	1,88
3	1,02
4	0,73
5	0,58
6	0,48
7	0,42
8	0,37
9	0,34
10	0,31

$$\bar{U}KL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (2.7)$$

$$\bar{A}KL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (2.8)$$

$X-R$  grafiğinde, proses ortalamaları, aralık değerleri ve Çizelge 2.3'de yer alan katsayılar kullanılarak kontrol limitleri belirlenmektedir.

#### 2.1.5.4 İyileştirme

Bu aşamada problemin kök nedenini ortadan kaldırmak için çözümler denenir. Teknoloji ve disiplinle problemleri tamamen kaldıran çözümler tasarlanır. Önemli girdilerin birbirleriyle etkileşimleri incelenir, önemli girdilerin değişik düzeylerdeki çıktılar üzerine yaptığı etkiler belirlenir, iyileştirme önerileri ve etkileri bulunur, iyileştirme planı yapılır ve uygulamaya geçilir. Problemin temel nedenini ortadan kaldırabilecek çözümler denenir, yapılacak iyileştirme;

daha iyi bir ekipman, daha iyi bir prosedür, daha iyi bir programlama, daha iyi bir tahmini içerebilir. İyileştirme sonunda, fayda / maliyet analizleri yapılır.

Süreçleri iyileştirmek için çıktıları oluşturan sebepleri ortaya çıkarmak ve nasıl süregeldiğini görmek gerekir, bunun için 2 yöntem uygulanabilir,

Sürekli Kontrol ve Gözlem; bu yöntemde problemin ortaya çıkması beklenir, problem çıktığında araştırma yapılarak önemli etkenler bulunmaya çalışılır, bu yöntem istatistiksel proses kontroldür.

Tasarlanmış Deneyler; Potansiyel girdilerin değişik derecelerinde aktif olarak manipülasyon yaparak olayın ortaya çıkmasını sağlamaktır.

Altı Sigma'nın önemli araçlarından biri olan deney tasarımı, proses çıktıları ile girdiler arasındaki ilişkiyi araştırır ve çıktıları etkileyen önemli az girdileri bulmaya yardımcı olur. Deney tasarımında amaç, Y - bağımlı değişkeni en fazla etkileyen kısmi değişkenleri bulmak ve optimize etmektir. X - değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini sayısallaştırabilmektir. Aynı zamanda deney tasarımı, maksimum bilgiyi minimum kaynakla elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Deney tasarımında kullanılan terminoloji;

**Faktör;** Deneyde tanımlı çıktı üzerinde etki edebilecek kontrol edilebilen değişkendir.

**Düzey;** Her bir faktörün deneyde tanımlı değerleridir.

**Ana etki;** Her bir faktörün çıktı üzerindeki diğerlerinden bağımsız etkisi.

**Etkileşim;** Faktörlerin birbirleriyle beraber çıktı üzerindeki etkisi.

Deney tasarımında, kesirli veya tam faktör deneyler kullanılabilir, kesikli faktöriyel deneylerde daha az sayıda deney yapılır. Tam faktöriyel için deney sayısı  $2^k$ , 2: faktör düzeyini, k: faktör sayısıdır. Çok fazla deney yapmak maliyet yüksekliği, zaman yetersizliği gibi nedenlerle özellikle sanayide oldukça zor olabilmektedir, bu tür durumlarda kesirli deneyler kullanılarak deney sayısı büyük ölçüde azaltılabilir.

### **2.1.5.5 Kontrol**

Süreci iyileştirdikten sonra bu şekilde kalmasını sağlamak için bu aşamanın uygulanması gereklidir. Bu aşamanın amacı, uygulanan iyileştirmeyi planını ve ulaşılan sonuçları değerlendirmek, bu kazançların sürdürülmesi ve artırılması için gerekenleri belirlemektir. Sürecin eskiye dönmesine izin vermeyecek şekilde, yürütülen planın geliştirilmesi, dokümantasyonu ve uygulamasını gerçekleştirmek gereklidir. Bu aşamanın çıktıları; sürecin son durumu, Elde edilen kazançlar, kazançları devam ettirmek için tavsiyeler ve süreci daha da geliştirmek için ortaya çıkan yeni fırsatlardır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Altı Sigma Uygulama**

Bu aşamada, otomotiv sektöründe çalışan bir yan sanayi firmasında, öncelikle Altı Sigma metodolojisine uygun adımlar izlenerek her bir aşamada hangi çalışmaların yapıldığı açıklanacaktır. Daha sonra çalışmanın sonucunda ortaya çıkan alternatif sonuçlar, oluşturulan matematiksel modelde irdelenecektir.

##### **3.1.1 Tanımlama Aşaması**

###### **3.1.1.1 Proje Seçimi**

Üst yönetim tarafından belirlenen şirket amaçları aşağıdaki gibidir;

- Müşteri memnuniyetini kendi isteklerinin üstünde tutmaktır.
- Sıfır hataya ulaşmak, çevreye verdiğimiz zararı ve iş kazalarını en aza indirmek için sürekli iyileştirmeler yapmaktır.
- Ortaklarımızın beklentilerini yerine getirmek, çalışanlarımızın geleceğini güvence altına almaktır.
- Tedarikçilerimizi sürekli geliştirmektir.



- Çevre ve iş güvenliği ile ilgili tüm yasa ve yönetmeliklere uymaktır.

Uygulama konusu, şirketin stratejik hedefleri ile ilişkilendirilerek problem belirlenecektir. Proje seçimi, şirket hedeflerine uygun olacaktır. Buna göre proje amacının sıfır hataya ulaşmak olmasına karar verilmiştir. 1. Kalite ürünlerinin artırılması ve bunun sonuncunun potansiyel etkisinin satışlardaki karlılığın artırılması olacağından proje amacı, aynı zamanda ortakların beklentilerini yerine getirmek ve çalışanların geleceğini güvence altına almak amacına da hizmet edecektir.

### **3.1.1.2 Proje Tanımı**

Projenin uygulanacağı alanı belirlemek için öncelikle mevcut kalite hataları incelenmiştir. Ek 1'deki tabloda geriye dönük 3 aylık veriler yer almaktadır. Tablodaki 21 tip hatanın bir kısmı yeniden işlem yapıp üretime aktarılarak, bir kısmı hurdaya ayrılarak, bazı hata tipleri ise hatanın derecesine göre ıskarta yerine tamir görerek yeniden üretime aktarılabilirler sonuçlanmaktadır. Buna göre Çizelge 3.1'de hangi hata tipinin ıskartayla sonuçlandığı, hangilerinin yeniden işlem yapılabilirdikleri gözükmemektedir, bazı hata tipleri hatanın derecesine göre ıskarta yerine yeniden işleme tabi tutulabilmektedir;

Çizelge 3.1 Hata Tipleri ve Hata Sonunda Yapılabilen İşlem/ler

No	Hata Tipleri	Iskarta	Yeniden İşleme
1	Kurs Boyu Hatası	√	
2	Kılıf Boyu Hatası	√	
3	Kılıf - Kaplama Hatası	√	
4	Kılıftaki diğer hatalar	√	√
5	Tel Boyu Hatası	√	√
6	Teldeki diğer hatalar	√	
7	Tüp boyu hatası	√	√
8	Tüpteki diğer hatalar	√	
9	Pozisyon / ölçüsel hata	√	
10	Hatalı Operasyon		√
11	Eksik Operasyon		√
12	Montaj yapılamıyor /Zor montaj		√
13	Sıkı / sesli çalışıyor		√
14	Çapaklı		√
15	Kırık, çatlak, çizik	√	
16	Eksik Enjeksiyon hatası	√	
17	K. Başlığı Çıkma Yüğü Uygunuz	√	√
18	Terminal Çıkma Yüğü Uygunuz	√	√
19	Kayma Yüğü Uygunuz		√
20	Markalama hatası		√
21	Tedarikçi kaynaklı uygunuz detay parça	√	

Bu çalışmada hata oranı olarak, tamir ve ıskarta oranlarının toplamı dikkate alınacaktır. Ek 1'de yer alan tablo, hat ve referans bazında 3 aylık genel hata miktarlarını göstermektedir. Ek 1'deki veriler analiz edilerek Çizelge 3.2'de yer alan hata oranlarına ulaşılmıştır.

Çizelge 3.2 Hat Bazında Hata Oranları

- Hat Bazında Hata Oranları -							
HAT	Hata Miktarı	Tamir Edilen Miktar	Iskarta Ürün Miktarı	Üretim Miktarı	Hata Oranı	Tamir Oranı	Iskarta Ürün Miktarı
A	73	6	67	2345	3,11%	0,26%	2,86%
B	405	86	319	8255	4,91%	1,04%	3,86%
C	59	17	42	3004	1,96%	0,57%	1,40%
D	40	9	31	2910	1,37%	0,31%	1,07%
E	87	20	67	3473	2,51%	0,58%	1,93%
F	3	1	2	579	0,52%	0,17%	0,35%
G	17	0	17	1802	0,94%	0,00%	0,94%
H	58	14	44	5907	0,98%	0,24%	0,74%
I	11	8	3	793	1,39%	1,01%	0,38%
J	6	0	6	1284	0,47%	0,00%	0,47%
K	79	8	71	3466	2,28%	0,23%	2,05%
	838	169	669	33818	1,86%	0,40%	1,46%
	Toplam				Ortalama		

Buna göre en yüksek hata oranının B hattında olduğu görülmektedir. Altı Sigma proje kapsamında B hattının incelenmesine karar verilmiştir.

Proje konusunun B hattındaki iç PPM miktarlarının düşürülmesi olmasına karar verilmiştir.

### 3.1.1.3 Hedefler

Proje hedefinin belirlenmesi için öncelikle mevcut durum tespiti yapılmalıdır. B hattının veri aralığı baz alınarak ortaya çıkan hata tipleri ve miktarları incelenmiştir. Buna göre B hattı için mevcut iç PPM oranı 49.061'dir, hesaplama (3.1) nolu formül baz alınarak yapılmıştır;

$$PPM = \frac{\text{ToplamHataSayisi}}{\text{ToplamÜrünSayisi}} * 10^6 \quad (3.1)$$

Ürünün A ve B tarafında ortaya çıkan hata tipleri tek hata tipi gibi hesaplanmış, buna göre potansiyel azaltılabilecek en yüksek hata tipleri belirlenmiştir. Potansiyel iyileştirme oranı % 40 olarak değerlendirilerek, diğer hata tiplerinde herhangi bir azalma olmayacağı kabul edilmiştir. Buna göre proje hedefi olarak, B hattının iç PPM oranında % 26'lık bir iyileştirme öngörülmüştür.

#### **3.1.1.4 Proje Sınırları**

B hattında incelenecek ürün, montaj hattına girmeden önce ürüne değer katan diğer aşamaları da göz önünde bulundurmak gerekecektir. Bu durumda proje kapsamını sınırlayabilmek için, çalışmanın sınırları, kılıf üretiminden B montaj hattı sonuna kadardır.

Diğer hatlar ve dış kaynaklı satın alma parçalarının üretim aşamaları kapsam dışındadır.

#### **3.1.1.5 Proje Ekibinin Oluşturulması**

Proje ekibi, kalite ve üretim bölümlerinden seçilmesine özen gösterilerek Ek 2'deki gibi oluşturulmuştur. Ek 2'de yer alan isimlerden oluşan ekip üyeleri, Altı Sigma proje yapılanması dikkate alınarak proje danışmanı, lideri, süreç sahibi ve üyelerin katılımı sağlanmıştır. Proje lideri ve süreç sahibi aynı kişi olabilirken bu çalışmaya özel farklı kişilerden oluşmuştur. Uzman kara kuşak, şirkette danışman olarak yer almakta ve tüm projeler için teknik destek sağlamaktadır. İlgili çalışmanın yönlendirilmesinde de teknik destek sağlamıştır.

### 3.1.1.6 Proje Zaman Planının Yapılması

Belirlenen proje için öncelikle aşamalar belirlenmiş, genel Altı Sigma adımları için öngörülen ve gerçekleşen süreler Çizelge 3.3'deki gibidir;

Çizelge 3.3 Proje Zaman Planı

Proje Adımları	Haftalar																																									
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50					
1 BAŞLANGIÇ	■	■	■	■	■																																					
2 TANIMLAMA						■	■	■	■	■																																
3 ÖLÇME											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
4 ANALİZ																																										
5 İYİLEŞTİRME																																										
6 KONTROL																																										

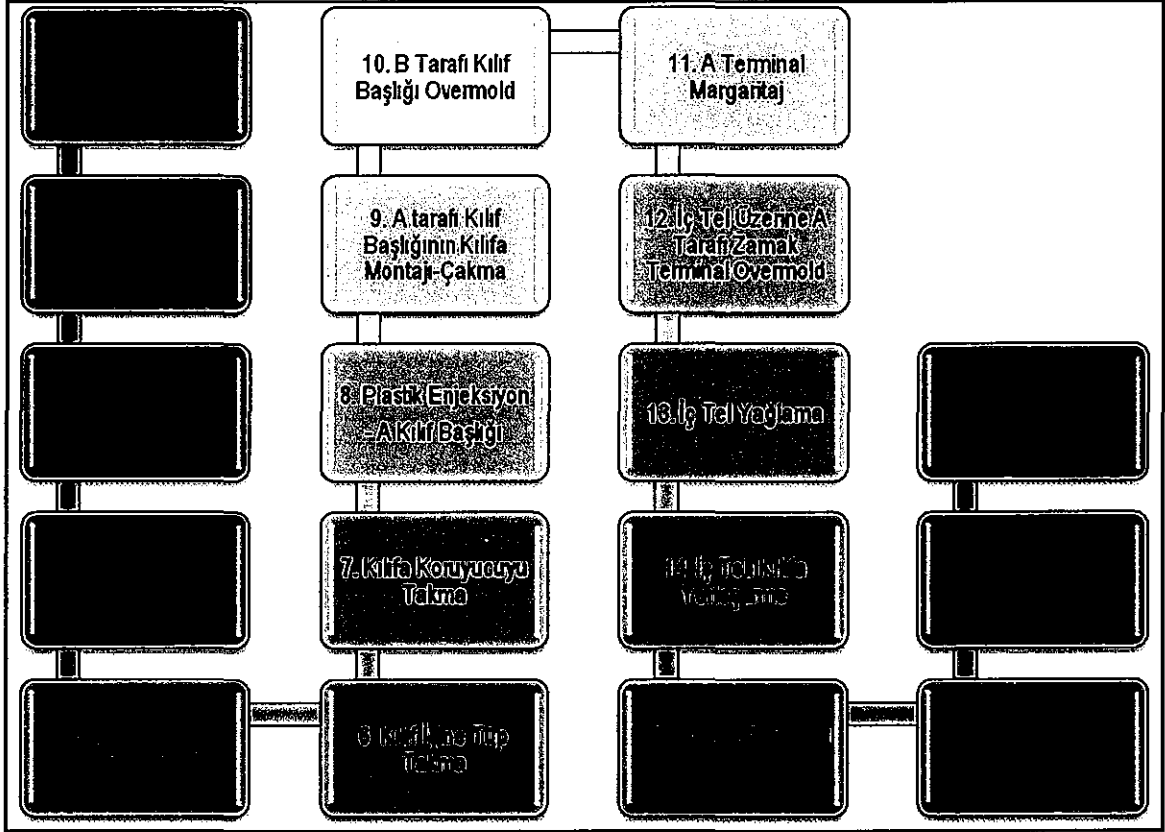
Planlanan ■  
Yapılan ■

### 3.1.1.7 Proje Kazanımı

İş sonuçları olarak, müşteri memnuniyeti, zaman tasarrufu (kalite, üretim sorumluları, lojistik ve muhasebe bölümü), tamirlerin azalması, ıskarta maliyetinin düşmesi, tek seferde üretim ve düşük PPM değerlerinin hat çalışanlarının motivasyonuna olumlu etkileri öngörülmüştür. Buna göre mali kazanç sadece B hattında öngörülen iyileştirme sayısına göre hesaplanmıştır, öngörülen iyileştirme için tüm kayıpların mali-yükü firmaya 1.923 €/yıl olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak hata oranının hesaplanamayan mali kayıplar getirdiği de göz ardı edilmemelidir, aynı zamanda firma için prestij kaybı, OEM'lerin yeni proje tedarikçi seçimlerinde tercih edilmeme riskinin yükselmesi de diğer kayıplardır.

### 3.1.1.8 Süreç Haritası

B hattının süreç haritası Şekil 3.1'deki gibidir;



Şekil 3.1 B Hattı Süreç Haritası

B hattında üretilen 2 tip ürün vardır, bu mamuller arasındaki tek fark tel ve kılıf boyları olduğundan ve temel hatalar üzerinde boyların etkisi olmadığı varsayıldığından bundan sonra tek ürün gibi yürütülecektir. B hattındaki kaput açma teli, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi paketlenme ve kontrol işlemleri dahil toplam 18 operasyondan oluşmaktadır. Bu operasyonlarda genel olarak aşağıdaki işlemler yapılmaktadır.

- **Proses 1;** Tüp üretimi, tüp belirli çaplara göre milin üzerinde plastik malzeme ekstruzyon yapılarak üretilir. Kılıfın dayanımını arttırmak için kılıf içine tüp yerleştirilmektedir.
- **Proses 2;** Kılıf içinde kullanılan spiral tel üretimi, 2 alt operasyondan oluşmaktadır. Öncelikle düz tel, silindirlerle belirli çaplarda ezilir, daha sonra ezilen tel spiral hale getirilir.
- **Proses 3;** Spiralli tel üzerine ekstruzyonla plastik malzeme kaplama yapılarak kılıf üretilmiş olur.
- **Proses 4;** Ürünün araç içindeki layoutuna uygun olarak müşterinin belirlediği boylarda iç tel, kılıf, tüp ve koruyucu kesilir.
- **Proses 5;** Havşalama operasyonu, kılıfın kesilmesi esnasında oluşan çapaklanmayı gidermek için yapılmaktadır. Bu operasyon kılıf içerisine yerleştirilen tüpün rahat montajı için temel bir adımdan ziyade ürünü bir sonraki aşamaya hazırlamaktadır.
- **Proses 6;** Kılıf içerisine kılıfın dayanımını arttırmak için tüp yerleştirilir.
- **Proses 7;** Kılıf üzerine kılıfın belirli bölgelerini araçtaki sıcaklık, basınç gibi olumsuz etkilerden korumak için koruyucunun müşterinin belirlediği pozisyonda yerleştirilmesidir.
- **Proses 8;** Ürün 2 adet kılıf başlığından oluşmaktadır. Sağ kılıf başlığı –A tarafı diye adlandırılmıştır. A kılıf başlığı, plastik hammadde dizayn edilen kalıba göre yatay plastik enjeksiyon makinesinde basılır.
- **Proses 9;** A tarafı kılıf başlığı çakma operasyonu ile kılıfa takılır. Basınçlı havayla kılıf başlığı kılıfa itirilerek monte edilir.
- **Proses 10;** B tarafı kılıf başlığı, dikey enjeksiyon makinesi diye adlandırılan makinede basılır. Kılıf üzerine direk enjeksiyon makinesinde monte edilmiş olur ve çıkma yükü açısından çakma operasyonundan daha güçlü bir etkiye sahiptir.

- **Proses 11;** İç tel ucu şişirilerek bir sonraki operasyondaki zamak hammaddenin tel içinde homojen bir dağılım göstermesi ve böylece daha sıkı birleşmesi sağlanır. Çıkma yükünün artması için yapılan bir operasyondur.
- **Proses 12;** İç tel üzerine zamak terminal kalıpla birlikte basılır, bu operasyon overmold diye adlandırılır.
- **Proses 13;** İç tel kılıf içerisinde rahat hareket edebilsin diye manüel olarak yağlanır.
- **Proses 14;** Yağlanan iç tel kılıf içersine yerleştirilir.
- **Proses 15;** B terminali tel üzerine elle itilerek pres makinasında basılır.
- **Proses 16;** Ürünün referansı, tarih ve seri numarası ürünün üzerine basılır.
- **Proses 17;** Final kontrolde varlık ve pozisyon kontrolü yapılır.
- **Proses 18;** Belirli sayıda ürün kutuya ve daha sonra kutular palete yerleştirilerek paketleme operasyonu tamamlanmış olur.

### 3.1.1.9 Sebep-Sonuç Matrisi

B hattındaki mevcut tüm operasyonlar baz alınarak sebep-sonuç matrisi oluşturulmuştur. Bazı operasyonlar, örneğin tel/tüp/kılıf/koruyucu kesme operasyonu çıktı üzerindeki etkisini detaylı görmek için alt operasyonlara ayrılarak incelenmiştir.

Tüm süreçler tabloya yerleştirildikten sonra her bir proseste oluşan girdiler yani hata üzerinde etkili olabilecek parametreler belirlenmiştir. Daha sonra çıktılar- hata tipleri belirlenmiş ve her bir çıktının değeri B hattı geçmiş verilere

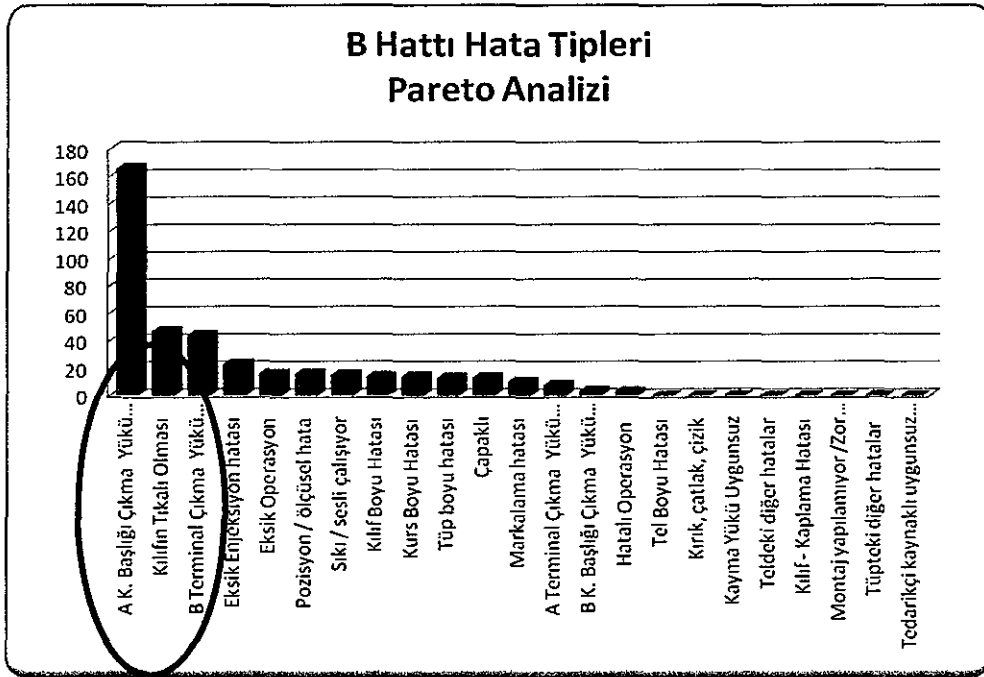


göre ağırlıklandırılmıştır. Bazı hata tipleri ağırlıklandırmanın sağlıklı olabilmesi için sağ/sol (A ve B tarafı) olarak 2 ayrı hata tipine ayrılmıştır. Proje ekibi, her bir prosesteki tüm girdiler ve çıktılar arasında puanlama yaparak iki girdi ve çıktılar arasındaki korelasyonu belirlemiştir. Sonuçlanan matris Ek 3'de yer almaktadır.

Bir sonraki aşamada, Ek 3'de yer alan matrise göre toplam ağırlığı en yüksek operasyonların incelenmesine karar verilmiştir.

### 3.1.2 Ölçme Aşaması

Problem B hattı için inceleneceğinden, bu hatta geçmiş 3 aylık verilere göre gerçekleşen hatalar için pareto analizi Şekil 3.2'deki gibidir;



Şekil 3.2 B Hattı Hata Tipleri Pareto Analizi

Tanımlama aşamasında sebep-sonuç matrisinden elde edilen sonuca göre 3 operasyonda ayrıntılı inceleme yapılmıştır. Şekil 3.2'de yer alan pareto

analizine göre seçilen hatalar ve Ek 3'deki sebep-sonuç matrisinde yapılan puanlama sonucuna göre incelenecek prosesler özet olarak Çizelge 3.4'de yer almaktadır. Sebep-sonuç matrisinde daha önce oluşan hatalar oluşma sıklığına göre ağırlıklandırılmıştır, hataların potansiyel sebeplerinin hangi proseslerden kaynaklanabileceği sonuçları ise daha önce çıkan hatalar ve ilgili olduğu proses üzerinde deneyimli kalite ve üretim liderlerinin bildirdiği puanlamayla tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.4** Seçilen Prosesler ve Hata Tipleri

Hatalar / Prosesler		Hata 4	Hata 17.1	Hata 18.2
		Kılıfın Tıkalı Olması	A Tarafı Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü Uygunuz	B Terminal Çıkma Yüğü Uygunuz
Opr. 5	Havşalama	√	-	-
Opr. 9	A tarafı Kılıf Başlığının Kılıfa Montajı-Çıkma	-	√	-
Opr.15	B tarafı Terminal Presleme	-	-	√

Ölçüm sisteminin yeterliliğini belirlemek için, bu 3 prosesdeki 3 hata tipinin ölçümleri üzerinde değerlendirme yapılacaktır.

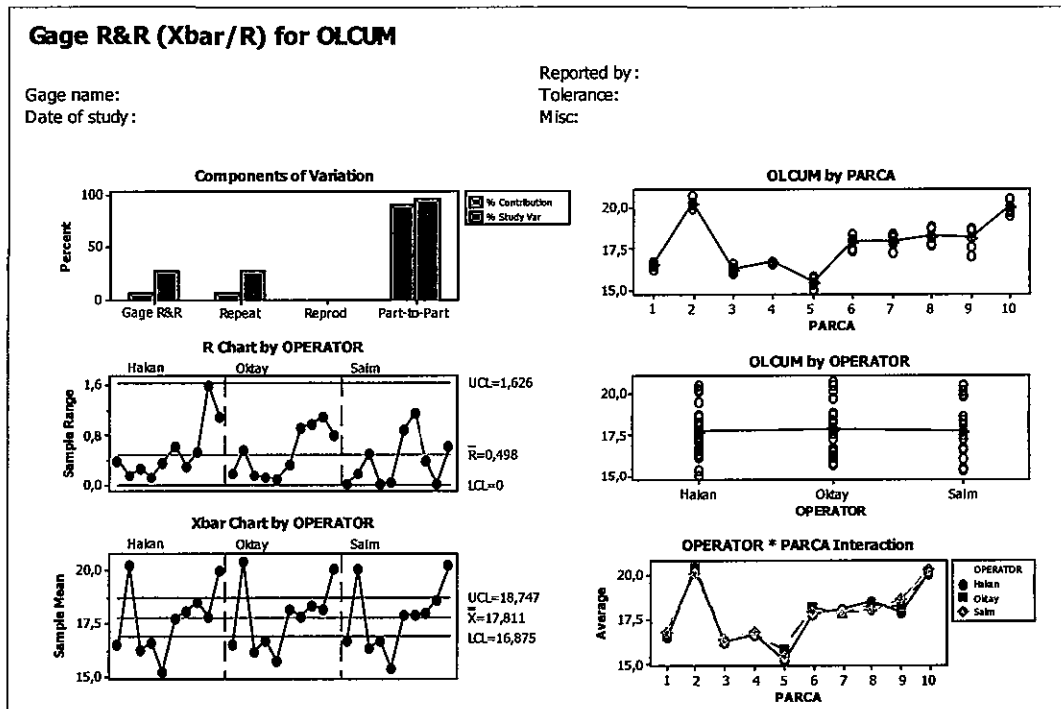
Öncelikle ölçüm sistemimizin doğruluğunu araştırmak amacıyla operatörden bağımsızlığını belirlemek gerekmiştir.

### 3.1.2.1 Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü

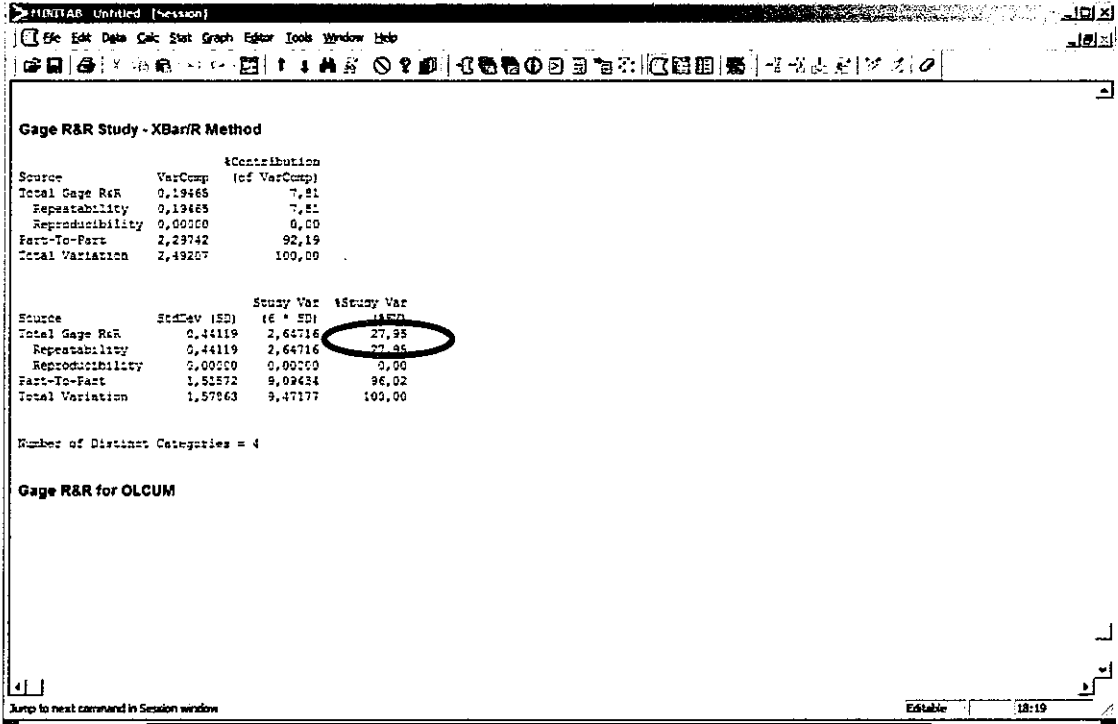
Çıkma yüğü kontrolü, hat sonunda pozisyon kontrolü yapıldıktan sonra örnekleme metoduyla seri başlarında 3'er parça alınarak laboratuarda yapılmaktadır.

Kılıf başlığı çıkma yükü için alınan ölçümlerle ilgili tablo Ek 4'de yer almaktadır. Kılıf başlığı çıkma yükünün müşteri talep değeri min 20 daN'dur, ancak çıkma yükü testinde ürünün deforme olması nedeniyle iç PPM kontrollerinde yük değerinin % 60'ı için test yapılmaktadır. Şekil 3.3'deki grafikte görüldüğü gibi 3 kontrol operatörü, 10 numune 2 ölçüm kullanılarak test yapılmıştır.

Buna göre kılıf başlığı için Gage R&R grafikleri Şekil 3.3'de, analiz sonuçları Şekil 3.4'deki gibidir;



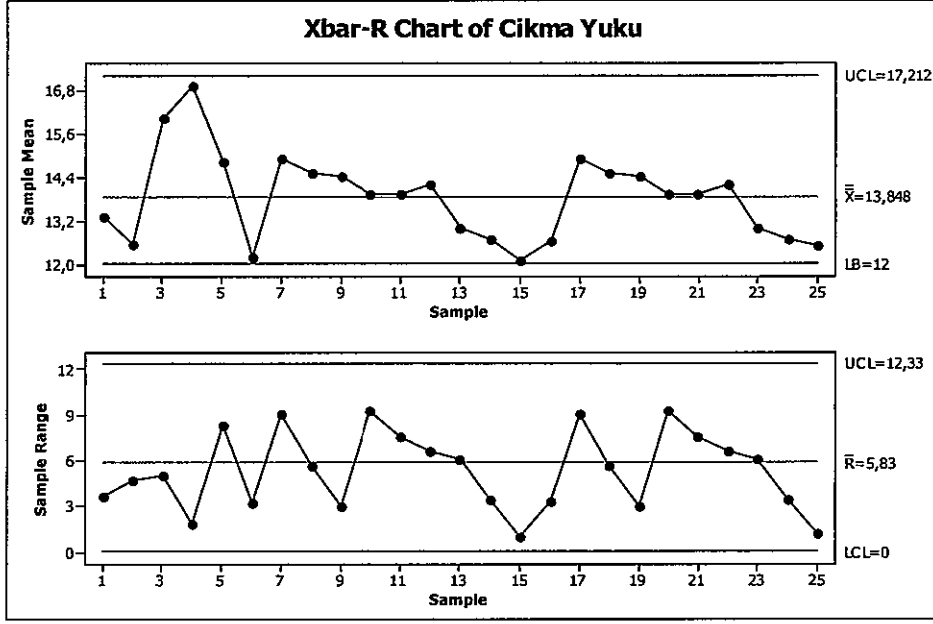
Şekil 3.3 Kılıf Başlığı Çıkma Yükü Grafikselsel Analiz



Şekil 3.4 Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü Varyans Analiz Sonuçları

Gage R&R değeri, Şekil 3.4'de görüldüğü gibi %30'un altında çıkmıştır, bu da operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediğini göstermektedir.

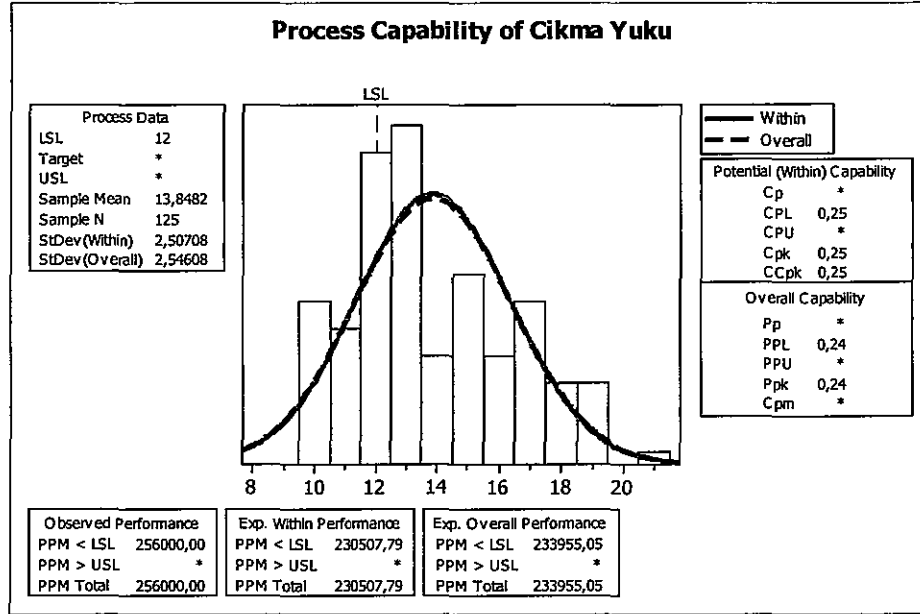
Mevcut durumdaki sistem yeterliliğini tespit etmek için veri toplanmış, öncelikle  $\bar{X}/R$  grafiği daha sonra da sistemin yeterlilik indeksi hesaplanmıştır.  $\bar{X}/R$  kontrol grafiği, yaklaşık 3 saatte bir ardışık 5'li gruptan oluşan 25 alt grupta yapılmıştır. Ek 6'de  $\bar{X}-R$  için kullanılan örnek form yer almaktadır. Buna göre kılıf başlığı çıkma yüküne ait kontrol grafiği Şekil 3.5'deki gibidir;



Şekil 3.5 Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü X-R Kontrol Grafiği

Şekil 3.5'de öncelikle R grafiğini incelendiğinde limit dışında değer görülmemiştir. Ortalamanın tek tarafında 7 noktaya göre incelendiğinde sürekli artan, azalan ve eşit nokta yoktur. X grafiğine bakıldığında, min çıkma yükü 12 daN alt kontrol limiti olarak belirlenmiştir. Limit dışında değer olmamakla birlikte alt limite çok yakın değerler söz konusudur. Herhangi bir özel neden olmadığı tespit edilmiştir. Proses kontrol altında ve kararlıdır.

Prosesin mevcut durumunu belirlemek için proses yeterlilik değeri hesaplanacaktır.

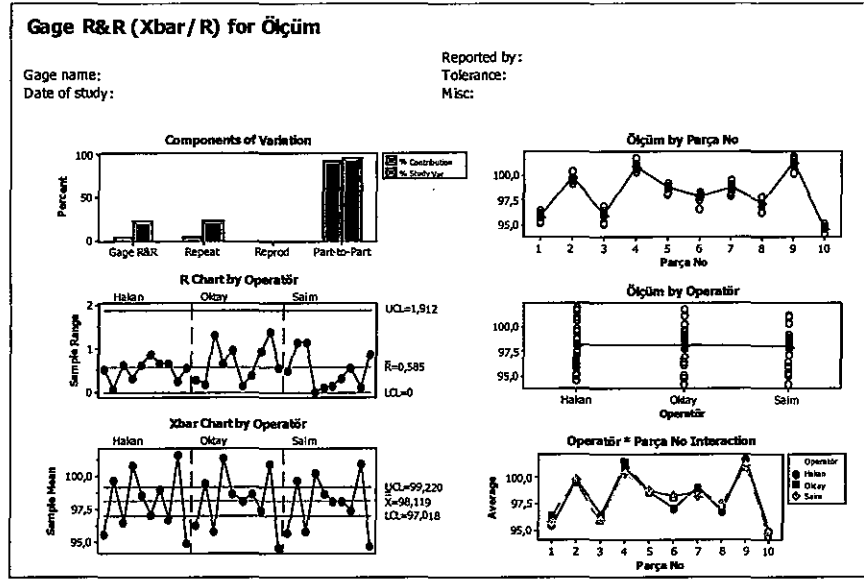


**Şekil 3.6 Kılıf Başlığı Çıkma Yuku Süreç Yeterlilik Analizi**

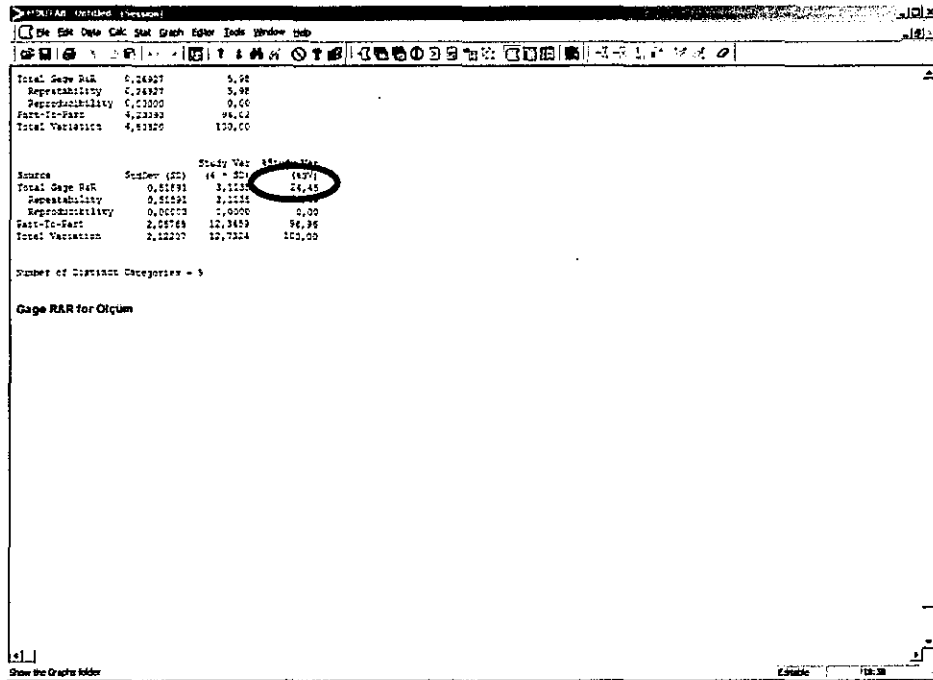
Sistemin yeterlilik indeksi,  $C_{pk}$  değeri 1,33 den düşük olduğundan ( 2. Bölüm Ölçme Aşamasında açıklanmıştır.) sürecin yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Normal dağılıma uymaması, alt limite yakın değerlerin daha fazla olması süreçte problem olduğunu göstermektedir.

### 3.1.2.2 Terminal Çıkma Yuku

Terminal çıkma yuku ölçüleriyle ilgili tablo Ek 4'de yer almaktadır. Buna göre terminal çıkma yuku için Gage R&R grafiği Şekil 3.7'de, analizi ise Şekil 3.8'deki gibidir;



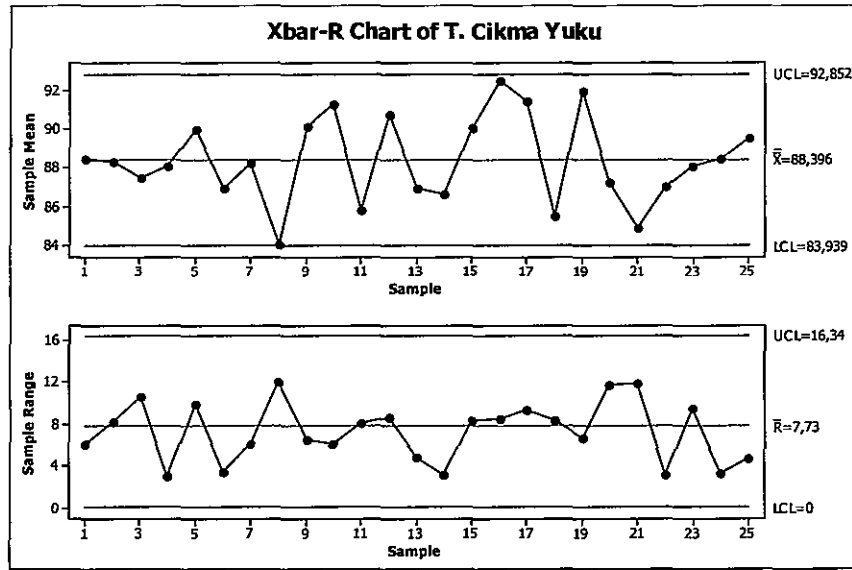
Şekil 3.7 Terminal Çıkma Yüğü Grafıksel Analiz



Şekil 3.8 Terminal Çıkma Yüğü Varyans Analiz Sonuçları

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi Gage R&R değeri, %30'un altında çıkmıştır, böylece operatörle terminal çıkma yükü arasında anlamlı bir etkileşim olmadığı sonucuna varılmıştır.

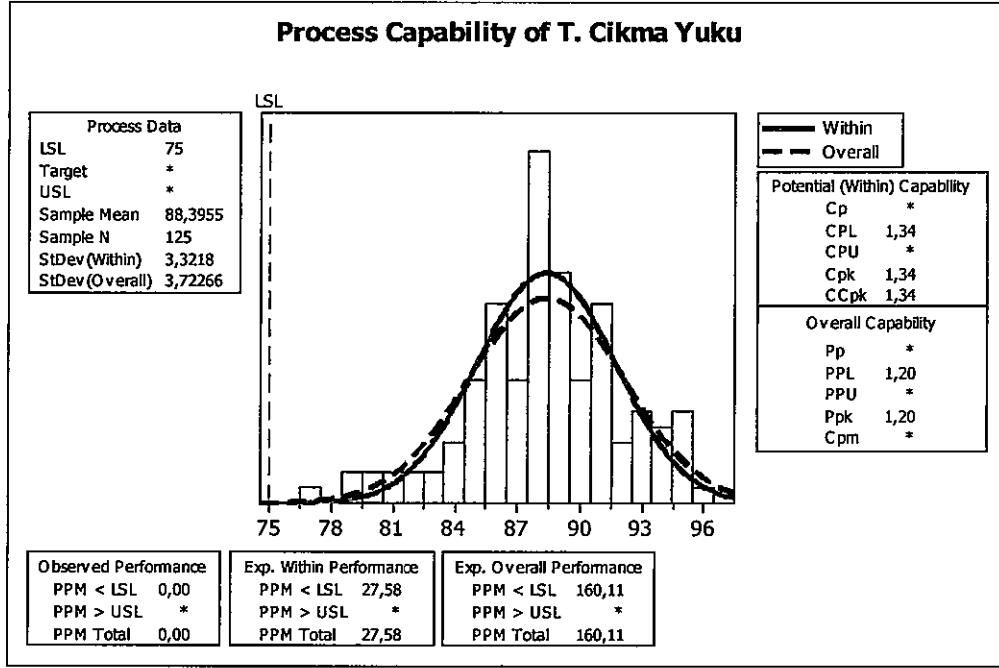
Terminal çıkma yükü için 25 alt gruptan oluşan 5'li veriler toplanarak kontrol grafiğine aktarılmıştır. Şekil 3.9'da kontrol grafiğinde görüldüğü gibi kontrol limitleri dışında değerler söz konusu değildir, üst limit üstündeki veriler çıkma yükü için önemsizdir, ancak üst limit dışında değer süreç kararsızlığını göstereceğinden incelemek gerekecekti. Projede üst limit dışında değer söz konusu değildir. Alt limit 75 daN olduğundan, alt kontrol sınırındaki değer çıkarılmamıştır. Alt veya üst tarafta kümeleşme olmadığından söz konusu olduğundan, sistemde özel bir sebeple limit altında değere rastlandığı söylenebilir.



Şekil 3.9 Terminal Çıkma Yükü X-R Kontrol Grafiği

Sistemin mevcut değişkenliğini kontrol etmek için aynı verilerle  $C_{pk}$  değeri hesaplanmıştır.





**Şekil 3.10 Terminal Çıkma Yüğü Süreç Yeterlilik Analizi**

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi  $C_{pk}$  indeksi 1,33-1,67 arasında olduğundan proses kabul edilebilirdir.

### 3.1.2.3 Kılıfın Tıkalı Olması

Kılıfın tıkalı olması hatası, Gage(R&R) ölçüm sistemiyle test edilmiştir, tıkalı olması 1, açık olması 0 değeri verilmiştir, buna göre yapılan test sonuçları Ek 5'de yer almaktadır. Kılıfın tıkalı olup olmamasına bağlı değerler nitel olduğu için Gage R&R analizi yapılamamaktadır. Laboratuarda tespit edilen sonuçla operatör sonuçları kıyaslandığında etkinlik değeri Ek 5'te de görüldüğü gibi % 100 çıkmıştır. Operatörün kılıfın tıkalı olup olmadığı sonucuna etkisinin anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır.

### 3.1.3 Analiz Aşaması

Bu aşamada hataların oluştuğu prosesler ayrıntılı incelenmiştir. Proseslerdeki hataya etki eden parametreler ekiple birlikte değerlendirilmiştir.

- **Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü**

Çizelge 3.5, kılıf başlığı çıkma yüküne etki eden faktörleri, etki etme derecelerini, her bir parametre için olası değerleri ve ekip kararıyla seçilen uygun değerleri göstermektedir. Buna göre 2 seçenekten daha uygun olan değerler koyu renkli olanlardır.

Çizelge 3.5 Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü Girdiler ve Potansiyel Değerler

Parametre	Puan	Uygun Değer Seçimi	
Kılıf Başlığı İç Çapı	10	7 mm	7,5 mm
Kılıf Malzemesi	4	KILIF ,EZME TELLİ,PP+%35 EPDM	KILIF,EZME TELLİ,PVC
Kılıf Başlığı Malzemesi	5	PVC	PP
Operatör	8	K.B.nın Yuvaya Düzgün Oturtulması	K.B.nın Yuvaya Düzgün Oturtulmaması
Başlık Ç.Aparatı Hava Basıncı	10	4-6 bar	6-7 bar

- **Terminal Çıkma Yüğü**

Çizelge 3.6'da, terminal çıkma yüküne etki eden parametreleri, etki etme derecelerini, her bir parametre için olası değerleri ve ekip kararıyla belirlenen uygun değerler görülmektedir. Seçilen uygun değerler koyu renkli olan hücrelerdir.

**Çizelge 3.6 Terminal Çıkma Yükü Girdiler ve Potansiyel Değerler**

Parametre	Puan	Uygun Değer Seçimi	
Pres Çalışma Basıncı	10	90	100
Terminal Malzemesi	5	9SMnPb28/Kap.FeZn 12 IV	Acier Inox
Kalip Çenesi	5	5 mm	6 mm
Operatör	7	Terminalin Yuvaya Düzgün Oturtulması	Terminalin Yuvaya Düzgün Oturtulmaması
Terminal İç Çapı	10	1,9 mm	2,1 mm
Terminal Dış Çapı	10	5 mm	6 mm

- **Kılıfın Tıkalı Olması**

Kılıfın tıkalı olmasına etki eden girdiler ve bu girdilerin etki etme dereceleri, her bir faktör için değiştirebilecek değerler ve ekip kararıyla belirlenen optimum sonuçlar Çizelge 3.7'de görülmektedir. Buna göre optimum değerler renkli olanlardır.

**Çizelge 3.7 Kılıfın Tıkalı Olmasına Etki Eden Girdiler ve Potansiyel Değerler**

Parametre	Puan	Uygun Değer Seçimi	
Pim Ucu Çapı	10	1 mm	2 mm
Operatör	10	Yeterli Süre Havşalama Yapması	Yeterli Süre Havşalama Yapması
Havşalama Süresi	8	3 sn	8 sn
Havşalama Makinesi	7	A	B
Havşa Redüktör Dönüş Yönü	5	Tek Yönde	Sağ ve Sol

### 3.1.4 İyileştirme Aşaması

Analiz aşamasında belirlenen optimum değerlerle alternatif iyileştirmelerin bir kısmı belirlenmiş olmaktadır. Parametrelerin optimum yapılmasının yanında prosesin değiştirilmesi veya ek proses gibi farklı alternatif iyileştirmeler de belirlenmiştir. Buna göre her bir hata tipi için aşağıdaki alternatif iyileştirme önerileri söz konusudur;

- Kılıfın Tıkalı Olması
  - Pim uç boyunun, dönüş yönü ve süresinin optimum yapılması
  - Havşalama yapılıp yapılmadığının kontrolü için sensör
  - Havşalama makinesinin değiştirilmesi
  
- A Tarafı Kılıf Başlığı Çıkma Yükünün Uygunsuz Olması
  - Kılıf İç çapının, malzemelerin, çapın ve hava basıncının optimize edilmesi
  - Kılıf başlığı üzerine bilezik presleme
  - Kılıf başlığı plastik overmold yapma
  
- B Terminal Çıkma Yükünün Uygunsuz Olması
  - Basıncın, çene ölçülerinin, terminal çapının optimize edilmesi
  - Terminal Malzemesini Değiştirme
  - Zamak Overmold Yapma

### 3.1.5 Kontrol Aşaması

Her bir alternatif iyileştirme önerisi için proje ekibinin tespitiyle iyileştirme sonrası öngörülen hata oranları tespit edilmiştir. Ek 1'de yer alan tablo analiz edilerek iyileştirme öncesi hata oranları Çizelge 3.8'deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 3.8 İyileştirme Öncesi Hata Oranları

		İyileştirme Öncesi ( $f_1$ )		
No	Proseslerde Oluşan Hatalar	Üretim Miktarı	Hata Miktarı	Hata Oranı
1	Kılıf Tıkalı	16510	123	0,75%
2	Kılıf Başlığı Ç. Yü kü		251	1,52%
3	Terminal Çıkma Yü kü		136	0,82%

Her bir proseste uygulanacak iyileştirme alternatifleri Ölçme Aşamasında tespit edilmişti, buna ek olarak seçeneklere hiçbir alternatifin uygulanmaması da eklenmiştir. Buna göre 4 iyileştirme alternatifi için öngörülen hata iyileştirme oranları ve her bir seçeneğin uygulanması halinde oluşacak maliyetler tespit edilmiştir. Her bir iyileştirme alternatifi sonucunda elde edilecek hata oranları ve iyileştirme önerileri için öngörülen uygulama maliyetleri Çizelge 3.9'daki gibidir.

Çizelge 3.9 İyileştirme Sonrası Hata Oranları

		İyileştirme Sonrası ( $f_2$ )												
No	Proseslerde Oluşan Hatalar	Üretim Miktarı	0. alternatif			1. alternatif			2. alternatif			3. alternatif		
			Hata Miktarı	Hata Oranı	Maliyet	Hata Miktarı	Hata Oranı	Maliyet	Hata Miktarı	Hata Oranı	Maliyet	Hata Miktarı	Hata Oranı	Maliyet
1	Kılıf Tıkalı	19977	0	0,00%	0 €	71	0,36%	746 €	66	0,33%	950 €	30	0,15%	1.650 €
2	Kılıf Başlığı Ç. Yü kü		0	0,00%	0 €	145	0,73%	2.397 €	124	0,62%	5.590 €	83	0,42%	2.665 €
3	Terminal Çıkma Yü kü		0	0,00%	0 €	90	0,45%	0 €	73	0,37%	2.316 €	51	0,25%	3.369 €

### 3.2 Matematiksel Model

Matematiksel modelin amacı; tüm aşamalardaki mevcut hata oranını en fazla azaltan alternatif iyileştirmenin seçilmesini sağlamaktır. Bir başka deyişle, alternatif iyileştirmenin hata oranına etkisini maksimize etmektir.

#### 3.2.1 Model Terminolojisi

Altı Sigma sonucunda ortaya çıkan alternatif iyileştirme önerilerinin değerlendirilmesi için bir matematiksel model oluşturulmuştur. Modelde kullanılan terminoloji simgeler dizininde aynı zamanda ilgili bölüm içerisinde de yer almaktadır.

Altı Sigma projesi için yatırım maksimum 7.500 EU'dur, B hattının günlük talebi 450 adettir. İlk proseste kullanabilecek hammadde miktarı ise 650 adet içindir. Her bir proses için günlük kapasite miktarları Çizelge 3.10'daki gibidir;

Çizelge 3.10 Proseslerdeki Hata Oranları ve Kapasiteler

Proses	$f_i$	$W_i$
1	0,75%	13158
2	1,52%	6579
3	0,82%	9399
4	0,00%	0

Kurulan model 3 proses, 3 hata tipi ve 3 alternatif iyileştirmeyi kapsamaktadır, 4. proses 3. prosesten çıkan miktarın tanımlanması için gösterilmiştir, 4. Alternatif ise hiçbir iyileştirme uygulanmamasıdır.

Modelde kullanılan terminoloji aşağıdaki gibidir;

**B** : Altı Sigma uygulaması için ayrılan toplam bütçe.

(Mevcut proje için 7.500 EU'dur.)

- $D$**  : Proses talebi.  
(Uygulamada, günlük talep 450 adettir.)
- $f_i$**  :  $i$ . prosesteki hata oranı.  
(Uygulamada hata oranları Şekil 3.10'daki gibidir.)
- $i$**  : Proses sayısı,  $i:1,\dots,n$ .
- $k$**  : Her bir aşamadaki Altı Sigma uygulama alternatifi.  
(Uygulama 4 alternatif içermektedir.)
- $M_{ik}$**  :  $i$ . prosesteki  $k$ . alternatifin uygulama maliyeti.
- $N$**  : Doğrusal olmayan fonksiyonu lineer fonksiyona çevirmek için kullanılan katsayı.
- $n$**  : Proses sayısı.  
(Uygulama 3 prosesi içermektedir.)
- $r_{ik}$**  :  $i$ . prosesteki  $k$ . alternatif için iyileştirme oranı.
- $q_i$**  :  $i$ . prosesteki alternatif iyileştirme sayısı.
- $S$**  : İlk prosesteki kullanılabilecek hammadde miktarı.  
(Uygulamada hammadde miktarı günlük 650 adettir.)
- $T_i$**  :  $i$ . prosesine giren ürün miktarı.
- $x_{ik}$**  :  $i$ . prosesteki  $k$ . alternatifin uygulanma durumunu gösteren ikili değişken.

$W_i$  : i. prosesin üretim kapasitesi.

(Mevcut proje için kapasite miktarları Çizelge 3.10'daki gibidir.)

### 3.2.2 Alternatif İyileştirme Sonuçlarının Optimizasyonu

Kurulan model için amaç fonksiyonu (Kumar ve ark. 2008) aşağıdaki gibidir:

$$MaxS = \prod_{i=1}^n \sum_{k=1}^{q_i} x_{ik} * (1 - f_i + r_{ik}) + T[1] \quad (3.1)$$

Amaç fonksiyonu, mevcut hata oranını minimizasyonu sağlayacak ve iyileştirme oranını maksimize edecek şekilde oluşturulmuştur. Buna ek olarak ilk prosese girecek üretim miktarını da minimum yapmaya çalışmaktadır. Kurulan amaç fonksiyonu doğrusal değildir. Doğrusal olmayan fonksiyon MPL programında çözdürebilmesi için doğrusal fonksiyona aşağıdaki gibi türevi alınarak dönüştürülmektedir.

$$\begin{aligned} & \max_{x_1, x_2, \dots} (\min_i (1 - \prod_j (1 - c_{ij})^{l_{ij}})) \\ & \max_{x_1, x_2, \dots} (\min_i (-\prod_j (1 - c_{ij})^{l_{ij}})) \\ & \max_{x_1, x_2, \dots} (-\max_i (\prod_j (1 - c_{ij})^{l_{ij}})) \\ & \max_{x_1, x_2, \dots} (-\max_i \sum_j l_{ij} \ln(1 - c_{ij})) \\ & \max_{x_1, x_2, \dots} (\min_i \sum_j p_{ij} l_{ij}), \quad p_{ij} = -\ln(1 - c_{ij}) \end{aligned}$$

Şekil 3.11 Lineer Olmayan Fonksiyonun Lineer Fonksiyona Dönüştürülmesi (Marquez ve ark.2004)



(3.1) nolu amaç fonksiyonu doğrusal olmayan bir denklemdir. Marquez ve ark.'nın (2004) Şekil 3.11'de görülen doğrusal fonksiyona dönüştürme yöntemi baz alınarak doğrusal bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Öncelikle sabit veriden oluşan parantez içindeki kısım  $z_{ik}$  olarak tanımlanmıştır. Buna göre türev alındığında  $z_{ik}$  tanımlı ifade logaritmik fonksiyona dönüşmektedir. Üst 1 olduğundan tüm ifadeye çarpan olarak gelir, aynı zamanda denklemin indisi çarpım işlemi denklemin toplamına dönüştüğünde doğrusal bir ifade elde edilmiş olur.  $y_{ik}$ , (3.3) nolu denklemde görüldüğü gibi eksi (-) değer aldığından amaç fonksiyonu maksimumdan minimuma dönüşmüştür. Buna göre amaç fonksiyonu (3.1) nolu denklem yerine (3.2) nolu denklem kullanılmıştır.

$$MaxS = \prod_{i=1}^n \sum_{k=1}^{q_i} x_{ik} * \overbrace{(1 - f_i + r_{ik})}^{z_{ik}} + T[1] \quad (3.1)$$

$$MinP = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q x_{ik} * y_{ik} + T[1] \quad (3.2)$$

$$y_{ik} = -\ln(1 - f_i + r_{ik}) \quad (3.3)$$

Model için oluşturulan kısıtlar aşağıdaki gibidir;

$$I. \quad \sum_{k=1}^{q_i} x_{ik} = 1, \quad \forall i \quad (3.4)$$

$$II. \quad \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{q_i} x_{ik} * M_{ik} \leq B \quad (3.5)$$

$$III. \quad T_1 \leq S \quad (3.6)$$

$$\text{IV. } T_i \leq W_i \quad T_i \in Z^+, \forall i \quad (3.7)$$

$$\text{V. } T_{n+1} = D \quad (3.8)$$

$$\text{VI. } T_{i+1} \leq T_i * \left( \sum_{k=1}^{q_i} x_{ik} * (1 - f_i + r_{ik}) \right), \quad \forall i, i = 1, \dots, n. \quad (3.9)$$

$$\text{VII. } x_{ik} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n. \quad k = 1, \dots, q_i. \quad (3.10)$$

(3.4) nolu denklem; ilk kısıt,  $x$  ikili değişken, her bir proses tek bir iyileştirmeye sonuçlanmalıdır.

(3.5) nolu denklem; 2. kısıt, uygulanacak iyileştirme maliyeti Altı Sigma için ayrılan bütçeyi aşmamalıdır.

(3.6) nolu denklem; 3. kısıt, ilk aşamadaki üretim miktarı en fazla hammadde miktarı kadardır.

(3.7) nolu denklem; 4. kısıt, her bir aşamadaki üretim miktarı, o prosesin kapasitesini geçemez.

(3.8) nolu denklem ; 5. kısıt, son prosesteki üretim miktarı, talep kadardır.

(3.9) nolu denklem ; 6. kısıt, her prosesteki üretim miktarı en fazla bir öncekinden çıkan hatasız miktar kadardır. Bu kısıt doğrusal olmayan bir fonksiyon içermektedir ve aşağıdaki gibi (3.11) ve (3.12) nolu 2 ayrı denkleme ayrıştırılarak lineer hale dönüştürülmüştür;

$$z_{ik} = 1 - f_i + r_{ik} \quad i = 1, \dots, n. \quad k = 1, \dots, q_i.$$

(3.11)

$$T_{i+1} - N * (1 - x_{ik}) \leq T_i * z_{ik} \quad i = 1, \dots, n. \quad k = 1, \dots, q_i. \quad (3.12)$$

(3.10) nolu denklem; 7. kısıt, her proseste sadece tek çözüm olmalıdır.

Yapılan çalışma için MPL programında oluşturulan model Ek 7'deki gibidir.

### 3.2.3 Modelin Çözümü

Modelin MPL programındaki çözümü Ek 8'deki gibidir. MPL çözümü Çizelge 3.11'de de görülmektedir;

Çizelge 3.11 Modelin Sonucu,  $x_{ik}$  değişkeni için.  $i=1, \dots, 4$  ;  $k=0, \dots, 3$ .

x	0	1	2	3
1	0,000	0,000	1,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000	1,000
3	0,000	0,000	0,000	1,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000

Program en fazla hata oranını düşüren seçenekleri seçmek isterken maliyet kısıtları nedeniyle birinci proseste ikinci, ikinci proseste üçüncü ve üçüncü proseste ise üçüncü alternatifi seçmiştir. Modelin çözümünde elde edilen üretim miktarları Çizelge 3.12'deki gibidir;

Çizelge 3.12 Modelin Sonucu,  $T_i$  için  $i=1,..4$ .

	$T_i$
1	455
2	454
3	452
4	450

Üretim miktarları tam sayı değişkeni olup, son prosesten çıkan ürün miktarı stok istenmediğinden talep miktarı kadar, ilk prosesteki ürün miktarı ise en fazla hammadde kadardır. Modelin çözümünde  $T_i$  değişkeni, üretildiği aşamada en fazla bir önceki prosesteki hatasız ürün miktarı kadar olacak şekilde Çizelge 3.12'deki gibi elde edilmiştir.

Modelin alternatif iyileştirme seçim sonuçlarına göre tekrar PPM değeri hesaplanmıştır. Buna göre hata oranı 29.051 PPM değerine düşürülmüştür, bu da öngörülen % 26 lık orandan daha yüksek bir oran olan % 41 iyileştirme oranına denk gelmektedir. İskarta ve yeniden işleme tabi olan ürünler için ayrı ayrı mali kayıp hesaplandı; İskarta olanlar için birim satış fiyatıyla hatalı miktar çarpılarak, yeniden işlem görenler için ise tamir süresiyle tamir edilen miktar çarpılarak hesaplanmıştır. Proje sonucunda azalan hata miktarı, azaldığı miktar kadar mali kazanç sağlamıştır. Elde edilen sonuca göre yeni hatalı miktar baz alınarak aynı hesaplama yapılmıştır. 6.984 EU uygulama maliyetidir. Hata oranındaki beklenen azalmanın daha fazla olması, mali kazancın da proje başlangıcında öngörülen 1.923 EU' luk kaybın getirisinden yüksek olmasına neden olmuştur, bu da 2.964 EU olarak tespit edilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Altı Sigma sonuçlarının her zaman ekonomik olmayabileceğini göstermektedir. Altı Sigma uygulayan firmalar başarılı olabildiği gibi, finansal değerlendirme yapmayan ve eksik uygulayan firmalar da sadece bu yüzden zarar edebilmektedir. Çalışmada kurulan modelin amacı kalite sigma seviyesini arttırmaya yönelik seçim yaparken bir bütçe belirlenmesini sağlamak ve karar alırken bunun aşılmasını garanti etmektir. Projede uygulanan model, üst yönetime yardımcı olacak iyileştirme alternatiflerinin seçimi için karar verme aracı olarak kullanılabilir.

Belirlenen bütçenin arttırılması durumunda, alternatif iyileştirme seçimleri de değişmektedir. Çizelge 3.13'de bütçenin 7.500 EU'yu geçmesi halinde elde edilen çözüm görülmektedir. Her 3 proseste de hata miktarını en fazla azaltan seçenek 3. alternatif olduğundan bütçeyi arttırdığımızda en fazla yatırım gerektiren olan seçenek seçilmektedir. Ancak her bir prosesteki bu iyileştirme seçeneği uygulama maliyeti diğerlerinden yüksek olup toplamda belirlenen kısıtlı bütçeyi aşan bir uygulama ile sonuçlanacaktır. Toplam maliyet 7.684 EU, toplam getiri ise 3.061 EU olacaktır.

Çizelge 3.13 Bütçe Arttırıldığında Model Sonucu,  $x_{ik}$  değişkeni için.  $i=1,..4$  ;  $k=0,..3$ .

x	0	1	2	3
1	0,000	0,000	0,000	1,000
2	0,000	0,000	0,000	1,000
3	0,000	0,000	0,000	1,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000

Bu proje için gelecekte üzerine katılacak çalışmalar vardır. Altı Sigma çalışması, deney tasarımı vb. araçlarla geliştirilebileceği gibi 2. model eklenerek aynı kısıtlarla karın maksimize edildiği amaç fonksiyonuyla farklı bir

bakış açısı da yaratılabilir. Altı Sigma aşaması ve model aşaması ayrı ayrı genişletilebilir, farklı hedefler için amaç fonksiyonu veya mevcut durumu daha iyi yansıtan farklı kısıtlar oluşturulabilir.

Bu projede, Altı Sigma çalışmasının sonucunda ortaya çıkan alternatif iyileştirmelerin optimum seçimi üzerinde durulmuştur. İlgili model iyileştirme sonuçları için seçim yaptığından, iyileştirme yönteminin Altı Sigma olması şart değildir, farklı iyileştirme sonuçları da kullanılabilir. Modelleme, içinde bulunan kısıtları ve istekleri en iyi şekilde yansıtabilecek bir araçtır. Üst yönetim, özellikle iyileştirme sayısı ve alternatiflerin çok sayıda olduğu durumlarda subjektif bir yargı yerine sayısal bir optimizasyon modelini kullanarak, en iyi seçimi yapmayı tercih edecektir. İlgili projede kullanılan model, optimal seçim konusunda üst yönetime yardımcı bir araç olarak kullanılabilir. Gelecekte üzerine yapılacak çalışmalarla kullanıldığı durumlara göre model amacı veya kısıtlarıyla geliştirilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

ADAMS, C.W. GRUPTA, P. WILSON, C.E. 2003. Six Sigma Deployment. Elsevier Science, USA, 290 p.

ARTHUR, J. 2001. Six Sigma Simplified. Lifestar, Denver, USA, 128 p.

BHOTE, K.R. 2002. The Ultimate Altı Sigma : Beyond Quality Excellence to Total Business Excellence. Amacom, New York, NY, 404 p.

CHAKRAVORTY, S.S.2009. Six Sigma Programs: An Implementation Model. Nt. J. Production Economics, 119:1-16.

ÇELİK, M. 2010. Bir Otomotiv Yan Sanayi Kuruluşunda Veri Madenciliği Uygulaması ( yayınlanmış ). Uludağ Üniversitesi, 112 s.

CROM, S. 2000. Implementing Six Sigma in Europe: A Cross-Cultural Perspective. Quality Progress,73:45-47.

GÜRSAKAL, N. OĞUZLAR A. 2003. Altı Sigma. Vipaş Yayınları, BURSA.

HU, G. WANG, L. FETCH, S. BIDANDA, B. 2008. A Multi-Objective Model For Project Portfolio Selection to Implement Lean and Six Sigma Concepts. International Journal of Production Research, Vol.46, No.3, 6611-6625.

<http://www.altisigma.gen.tr>, Erişim tarihi: 12.01.2010. Konu: Altı Sigma'nın geleceği, Altı Sigma Projelerini Seçmek Önemli Bir Konudur, Otomotivde Altı Sigma Kesinlikle Uygulanmalı, Üretimin Ötesinde Altı Sigma, Altı Sigma Evrimi.

İŞİĞİÇOK, E. 2005. Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol. Ezgi Kitabevi Yayınları, BURSA.

JONES, C.E. PARAST, M.M. ADAMS, S.G. 2010. A Framework for Effective Six Sigma Implementation. Total Quality Management and Business Excellence. Vol.21, No.4, 415-424.

KWAK, Y.H. ANBARI, F.T. 2006. Benefits, Obstacles and Future of Six Sigma Approach. Technovation, 26, 708-715.

KUMAR, U.D. NOWICKI, D. MARQUEZ, J.E.R. VERMA, D. 2008. On The Optimal Selection of Process Alternatives in a Six Sigma Implementation. International Journal of Production Economics, 111, 456-467.

MADENLİ, B. 2006. İmalat İşletmelerinde Altı Sigma Uygulama Gerekliliği: Alt Yapının Oluşturulması İçin Öneriler ve Bir Uygulama ( yayınlanmış ). Uludağ Üniversitesi, 103 s.

MARQUEZ, J.E.R. COIT, D.W. KONAK A. 2004. Redundancy Allocation for Series-Parallel Systems Using a Max-Min Approach. IEE Transactions, 36:9, 891-898.

MERİÇ, D. MERİÇ, E. 2006. Spc İstatistiksel Proses Kontrolü. Deniz&Emre Meriç Eğitim Notları, İSTANBUL.

MERİÇ, D. MERİÇ, E. 2008. MSA Ölçüm Sistemleri Analizi. Deniz&Emre Meriç Eğitim Notları, İSTANBUL.

MUKHOPADHYAY, A.R. RAY, SOUMIK. 2009. Reduction of Yarn Packing Defects Six Sigma Methods A Case Study. Quality Engineering, 18:189-206.

PARAST, M.M. 2010. The Effect of Six Sigma on Innovation and Firm Performance. International Journal of Project Management, 111 p.

PANDE, S.P. NEUMAN R.P. CAVANAGH R.R. 2003. The Six Sigma Way. McGraw-Hill, NY. 415 p.

POLAT, A. CÖMERT, B. ARITÜRK T. 2005. Altı Sigma Vizyonu. Pelin Ofset Matbaacılık, ANKARA, 176 s.



PYZDEK, T. 2003. The Six Sigma Handbook. McGraw-Hill, New York, USA. 830 p.

SEVİ, D. 2006. Altı Sigma Kalite Yaklaşımının İşletme Maliyetlerine Etkisinin Araştırılması ve Bir Üretim İşletmesindeki Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi (yayınlanmış). Osmangazi Üniversitesi, 86 s.

S.P.A.C. 2005. Altı Sigma Koordinatör ve Şampiyon Adayları Bilinçlendirme Eğitimi. Orhan Holding, BURSA.

ZU, X. FREDENDALL, L.D. DOUGLAS, T.J. 2008. The Evolving Theory of Quality Management : The role of Six Sigma. Journal of Operations Management, 26, 630-650.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Pınar Çokçağlayan, 16 Mart 1979 yılında doğdu, Bursa Kız Lisesini 1996 yılında lise üçüncülüğü derecesiyle 5 dönemde tamamladı. Aynı yıl Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde eğitimine devam etti. İngilizce hazırlık dönemiyle birlikte 5 yıllık üniversite eğitiminin ardından mezun oldu. Kendisi evli ve bir çocuk sahibi olup halen bir otomotiv şirketinde tam zamanlı olarak çalışmaktadır.

## 8. TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana en fazla ihtiyacım olan boş zamanı yaratarak verdiği büyük destek için anneme, daha sonra eşime ve babama, çalışmamda beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Cenk Özmütlu'ya, izinlerim konusunda problem yaşatmadığı için Sayın Müdürüme, bana verdiği motivasyon ve destek için arkadaşım Özlem Cihanlı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmam boyunca ihmal etmek zorunda kaldığım ve ilerde beni anlayacağını umduğum oğlumdan özür dilerim.



**Ekip Üyeleri -Organizasyon**

Proje Lideri	:	Pınar ÇOKÇAĞLAYAN-Yeşil Kuşak
Proje Danışmanı	:	Nihan ZENGİN-Uzman Kara Kuşak
Süreç Sahibi / Şampiyon	:	Gökben YALTA-Kara Kuşak
Üyeler	:	Oktay HASDEMİR
	:	Güliden EVİN
	:	Muammer İĞDECİOĞLU
	:	Elif ÖZTÜRK









76  
EK 4  
Nicel Gözlem Formu

**Kılıf Başlığı Çıkma Yüğü (T05084)**

**Min 12 DaN**

**Nicel Gage R&R Formu**

Parça	1. ÖLÇÜM			2. ÖLÇÜM		
	Hakan	Saim	Oktay	Hakan	Saim	Oktay
1	16,72	16,77	16,50	16,32	16,74	16,69
2	20,24	20,00	20,23	20,40	20,21	20,81
3	16,15	16,64	16,30	16,44	16,13	16,14
4	16,59	16,78	16,65	16,74	16,75	16,78
5	15,07	15,46	15,85	15,44	15,40	15,75
6	17,45	18,41	18,05	18,10	17,50	18,40
7	17,93	17,33	18,30	18,24	18,49	17,37
8	18,28	17,80	18,85	18,84	18,21	17,87
9	18,71	18,65	17,64	17,09	18,67	18,74
10	20,63	19,97	19,75	19,52	20,60	20,57

**Terminal Çıkma Yüğü (T07836)**

**Min 75 DaN**

**Nicel Gage R&R Formu**

Parça	1. ÖLÇÜM			2. ÖLÇÜM		
	Hakan	Saim	Oktay	Hakan	Saim	Oktay
1	95,86	95,51	96,21	95,32	96,01	96,52
2	99,88	100,41	99,48	99,77	99,24	99,67
3	96,24	95,31	96,57	96,9	96,48	95,22
4	101,09	100,36	101,83	100,76	100,4	101,15
5	98,29	98,84	98,22	98,95	98,72	99,21
6	97,57	98,3	98,22	96,67	98,13	98,07
7	98,76	98,05	98,58	99,46	98,38	98,99
8	97,12	97,22	96,96	96,43	97,79	97,92
9	101,91	101,01	101,70	101,63	101,14	100,29
10	95,21	95,19	94,26	94,63	94,3	94,83

# NİTEL MSA RAPORU

Tarih : 26.08.2009

Hazırlayan : Pinar ÇOKÇAĞLAYAN

Rapor no :

Parça adı: Kılıf Parça No: 3461-A

Karakteristik : Kılıfın Tıkalı Olup Olmadığı

Alet No : Telle

PARÇA	ÖLÇÜMCÜ A			ÖLÇÜMCÜ B			ÖLÇÜMCÜ C			UZMAN
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										

**SONUÇ**  
ÖLÇÜM SİSTEMİ UYGUN

D: DOĞRU (İYİ PARÇA)  
Y: YANLIŞ (KÖTÜ PARÇA)

ÖLÇÜMCÜLER  
A: HAKAN  
B: SAİM  
C: OKTAY

KABUL KRİTERLERİ	ETKİNLİK	KAÇIRMA	YANLIŞ ALARM
	ŞARTLI KABUL	MIN %90	Max %2
RED	MIN %80	Max %5	Max %10
%	< %80	> %5	> %10
	100,00	0,00	0,00

Toplam Parça Sayısı	10
Kötü Parça Sayısı	1
İyi Parça Sayısı	0

X	İYİ PARÇAYA İYİ DEME
Y	KÖTÜ PARÇAYA İYİ DEME
Z	İYİ PARÇAYA KÖTÜ DEME

ÖLÇÜM SİSTEMİ UYGUN



TITLE Alti Sigma;

INDEX

i := 1..4;

k := 0..3;

DATA

r[i,k] := (0,0.0039,0.0041,0.0059,  
0,0,0079,0.0090,0.0110,  
0,0.0037,0.0046,0.057,  
0,0,0,0);

f[i] := (0.0075,0.0152,0.0082,0);

M[i,k] := (0,746,950,1650,  
0,2397,5590,2665,  
0,0,2316,3369,  
0,0,0,0);

W[i] := (13158,6579,9399,0);

y[i,k] := (0.007,0.004,0.003,0.002,  
0.015,0.007,0.006,0.004,  
0.008,0.005,0.004,0.003,  
0,0,0,0);

z[i,k] := (0.993,0.996,0.997,0.998,  
0.985,0.993,0.994,0.996,  
0.992,0.995,0.996,0.997,  
1,1,1,1);

B := 7500;

S := 650;

D := 450;

N := 15000000000;

BINARY VARIABLES

x[i,k];

DECISION INTEGER VARIABLES

## MPL PROGRAMINDA YAZILAN MODEL

T[i];

MODEL

MIN P = SUM(i:SUM(k:(x\*y)))+T[1];

SUBJECT TO

S1[i] : SUM(k:x where i <> 4) = 1;

S2 : SUM(i:SUM(k: x \* M )) <= B;

S3 : T[1]<=S;

S4[i] where i <> 4 : T[i]<=W;

S5 : T[4]=D;

S6[i,k] where i <> 4 : T[i+1]-(N\*(1-x))<=T[i] \* z;

END

MPL Modeling System - Copyright (c) 1988-2009, Maximal Software, Inc.

---

MODEL STATISTICS

Problem name: Alti Sigma  
Filename: Altı Sigma06.02.10-Dintgr (16agust-2.mpl)  
Date: August 17, 2010  
Time: 08:06  
Parsing time: 0.89 sec  
Solver name: CPLEX (11.2.1)  
Objective value: 455.01000000  
Integer nodes: 47  
Iterations: 89  
Solution time: 0.75 sec  
Result code: 101  
Constraints: 21  
Variables: 16  
Integers: 20  
Nonzeros: 61  
Density: 18 %

SOLUTION RESULT

Optimal integer solution found

MIN P = 455.0100

DECISION VARIABLES

VARIABLE x[i,k] :

i	k	Activity	Reduced Cost
1	0	0.0000	0.0070
1	1	0.0000	0.0040
1	2	0.0000	0.0030
1	3	1.0000	0.0020

---

82  
EK 8  
MODELİN ÇÖZÜMÜ

2 0	0.0000	0.0150
2 1	0.0000	0.0070
2 2	0.0000	0.0060
2 3	1.0000	0.0040
3 0	0.0000	0.0080
3 1	0.0000	0.0050
3 2	1.0000	0.0040
3 3	0.0000	0.0030

-----  
VARIABLE T[i] :

i	Activity	Reduced Cost
1	455.0000	1.0000
2	454.0000	0.0000
3	452.0000	0.0000
4	450.0000	0.0000

-----  
CONSTRAINTS

CONSTRAINT S1[i] :

i	Slack	Shadow Price
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000

-----  
PLAIN CONSTRAINTS

Constraint Name	Slack	Shadow Price
S2	869.0000	0.0000
S3	195.0000	0.0000

-----

CONSTRAINT S4[i] :

i	Slack	Shadow Price
1	12703.0000	0.0000
2	6125.0000	0.0000
3	8947.0000	0.0000

PLAIN CONSTRAINTS

Constraint Name	Slack	Shadow Price
S5	0.0000	0.0000

CONSTRAINT S6[i,k] :

i	k	Slack	Shadow Price
1	0	1499999997.8150	0.0000
1	1	1499999999.1800	0.0000
1	2	1499999999.6350	0.0000
1	3	0.0900	0.0000
2	0	1499999995.1900	0.0000
2	1	1499999998.8220	0.0000
2	2	1499999999.2760	0.0000
2	3	0.1840	0.0000
3	0	1499999998.3840	0.0000
3	1	1499999999.7400	0.0000
3	2	0.1920	0.0000
3	3	1500000000.6440	0.0000