



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALTI SİGMA SÜREÇ İYİLEŞTİRME TEKNİĞİ  
ve SANAYİDE BİR UYGULAMA

Fatih ÇIRKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALTI SİGMA SÜREÇ İYİLEŞTİRME TEKNİĞİ  
ve SANAYİDE BİR UYGULAMA

Fatih ÇIRKAN

Doç. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALTI SİGMA SÜREÇ İYİLEŞTİRME TEKNİĞİ  
ve SANAYİDE BİR UYGULAMA

Fatih ÇIRKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 28 / 08 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erdal EMEL

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Necmi GÜRSAKAL

Jüri Üyesi

Doç. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU

Jüri Üyesi / Danışman

## ÖZET

Bu çalışmada Altı Sigma süreç iyileştirme tekniği uygulamalı olarak tanıtılmaktadır. Uygulama, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilmiştir. Uygulama kapsamında, ayrıntılı süreç analizleri, ölçüm sistemleri analizi ve deneysel tasarım tekniklerinden yararlanılmıştır.

Uygulama konusu, şirketin stratejik hedefleri ile ilişkilendirilerek üzerinde çalışılacak problem belirlenmiştir. Sürecin kapsamı ve hedefler tanımlandıktan sonra ayrıntılı süreç analizleri yapılmış ve süreç çıktısına etki eden kritik girdi faktörleri belirlenmiştir.

Kritik girdi faktörleri için ölçüm sistemleri analizi ve normal dağılım testleri yapıldıktan sonra deney planları yapılmış ve uygulanmıştır. Ölçüm sistemleri analizi, elde edilen Uygulama sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiş ve çıktı faktörü ile girdi faktörleri arasındaki bağlantı oraya çıkarılmıştır.

Çıktı faktörünü istenilen düzeyde tutacak girdi faktörlerinin seviyeleri deneysel tasarım yoluyla belirlendikten sonra süreçte çalışan operatörlere gerekli eğitimler verilmiştir. Çalışanlara verilen eğitim, kalite birimi tarafından yenilenen talimat ve kontrol planları ile desteklenerek iyileştirilmiş sürecin sürekliliği sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Altı Sigma, Ölçüm Sistemleri Analizi, Deneysel Tasarım

## **ABSTRACT**

In this study, six sigma process improvement technique have been introduced with a case study. Case study is implemented to an automotive company. Statistical techniques like detailed process analysis, measurement systems analysis and design of experiments were used in case study.

The subject of case study is determined to help strategical targets of the company. After defining the targets and scope of the research detailed process analysis (process mapping, cause-effect matrices etc.) were done and critical input parameters were determined. Measuring systems analysis, normality tests, correlation analysis were applied to these input factors for providing statistically significant data and the accuracy of obtained results. After checking the normality and accuracy of the data, experiments were planned and conducted in manufacturing area.

After the data collection, statistical analyses were done. As a result of these analyses, regression equation which shows the mathematical relationship between input and output parameters were obtained.

For keeping output parameter in desired control limits, levels of input parameter were determined after obtaining this equation. The last step of the case study was training the operators after updating process and quality instructions. The aim was ensuring the sustainability of improved process.

**Key Words:** Six Sigma Methodology, Measurement Systems Analysis, Experimental Design

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Kalite Kavramının Zaman İçerisindeki Gelişimi.....	2
2.1. Altı Sigma Süreç İyileştirme Tekniği.....	5
2.2. Altı Sigmanın Tarihsel Gelişimi .....	7
2.3. Altı Sigma ve Değişkenlik.....	8
2.4. Altı Sigma Metodolojisi .....	9
2.4.1. Tanımlama Aşaması .....	10
2.4.2. Ölçme Aşaması .....	10
2.4.3. Analiz Aşaması .....	18
2.4.4 İyileştirme Aşaması.....	27
2.4.5. Kontrol Aşaması.....	28
2.8. Deneysel Tasarım.....	29
2.8.1 İstatistiksel Tasarımın Tarihsel Gelişimi .....	29
2.8.1 Deneysel Tasarımın Dayandığı Temel Prensipler.....	31
2.8.2 Deneysel Tasarımın Ana Hatları.....	32
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
3.1. Firma Tanıtımı .....	37
3.2. Firmada Altı Sigma Uygulamaları.....	37
3.3. Uygulama Adımları.....	38
3.3.1.Projenin Seçilmesi.....	38
3.3.2. Tanımlama Aşaması .....	40
3.3.3. Ölçme Aşaması .....	43

3.3.4. Analiz Aşaması .....	60
3.3.5. İyileştirme Aşaması .....	68
3.3.6. Kontrol Aşaması.....	76
3.7. Proje Fizibilite Analizi .....	79
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	82
5. KAYNAKLAR.....	84
6. EKLER.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7. ÖZGEÇMİŞ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8. TEŞEKKÜR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**KISALTMALAR DİZİNİ****Kısaltma****Açıklama****AKL:**

Alt Kontrol Limiti

**ASL:**

Alt Spesifikasyon Limiti

**DFSS:**

Design for Six Sigma (Altı sigma için tasarım)

**DMAIC:**Define – Measure – Analyse – Improve- Control  
(Tanımla – Ölç – Analiz et –İyileştir – Kontrol et)**DOE:**

Design of Experiment (Deney Tasarımı)

**DPMO:**Defect per Million Opportunities (Milyon  
Olasılıktaki Hata Sayısı)**FMEA:**Failure Modes and Effects Analysis (Hata Türleri  
ve Etkileri Analizi)**ISO:**International Organization for Standardization  
(Uluslar arası Standartlar Örgütü)**LSL:**

Alt Spesifikasyon Limiti

**PDCA:**Plan-Do-Check-Act (Planla-Uygula-Kontrol et-  
Harekete geç)***P. Aparatı:***İşletme tarafından gizlilik sebebiyle isminin  
verilmesi istenmeyen bir alt parça**R&R:**Repeatability and Reproducability  
(Tekrarlanabilirlik ve Yeniden Üretilirlik)**USL:**

Üst Spesifikasyon Limiti

**ÜKL:**

Üst Kontrol Limiti



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

Çizelge 2. 1 Varyans analizinde bileşenlerin hesaplanması.....	17
Çizelge 2. 2 Yeterlilik İndeksi Değerlendirme Kriterleri .....	21
Çizelge 2. 3 Çoklu regresyonda varyans analizi tablosu .....	24
Çizelge 2. 4 Altı Sigma Metodolojisinde kullanılan teknikler ve elde edilen sonuçlar..	29
Çizelge 3. 1 Altı sigma aday proje değerlendirme tablosu .....	39
Çizelge 3. 2 Girdi ve çıktı değişkenlerinin ayrıntılı gösterimi .....	46
Çizelge 3. 3 Çalışma basıncı ölçüm sonuçları (bar) .....	48
Çizelge 3. 4 Çalışma basıncı ölçüm sonuçları ( $\mu\text{m}$ ) .....	50
Çizelge 3. 5 Yay yuvası derinliği ölçüm sonuçları (mm) .....	52
Çizelge 3. 6 Montaj momenti ölçüm sonuçları (N.m) .....	54
Çizelge 3. 7 Pul kalınlığı ölçüm sonuçları ( $\mu\text{m}$ ).....	56
Çizelge 3. 8 Yay sıkışma miktarı için ölçüm sistemi analizi sonuçları (mm).....	58
Çizelge 3. 9 Girdi faktörlerinin çıktı faktörü ile ilişkisi.....	65
Çizelge 3. 10 Deneysel Tasarımda Kullanılacak Girdi Faktörlerinin Belirlenmesi .....	66
Çizelge 3. 11 Deneysel tasarımda kullanılacak faktörler ve seviyeleri .....	68
Çizelge 3. 12 Fizibilite analizinde kullanılan maliyet verileri .....	80
Çizelge 3. 13 Projenin yıllık getiri hesabı .....	81

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 Prosesin oluşumunu etkileyen önemli değişkenlerin süzülmesi.....	19
Şekil 2. 2 Çoklu regresyonda matris yapısı.....	23
Şekil 3. 1 Firmanın organizasyon şeması.....	37
Şekil 3. 2 Firmanın Altı Sigma Organizasyonu.....	38
Şekil 3. 3 Proje ekibi organizasyon yapısı .....	40
Şekil 3. 4 P. basıncı tolerans dışı olan parçaların aylara göre dağılımı .....	41
Şekil 3. 5 Proje zaman planı .....	42
Şekil 3. 6 Makro süreç haritası .....	42
Şekil 3. 7 Mikro süreç haritası.....	43
Şekil 3. 8 Detaylı süreç haritası .....	44
Şekil 3. 9 Neden sonuç matrisinde toplam puanı 200'ün üzerinde olan süreç girdileri .	45
Şekil 3. 10 Çalışma basıncı ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları.....	49
Şekil 3. 11 Çalışma basıncı ölçüm sonuçları için grafiksel analiz .....	49
Şekil 3. 12 P. aparatı delik çapı ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları.....	51
Şekil 3. 13 P. aparatı delik çapı ölçüm sonuçları için grafiksel analiz .....	51
Şekil 3. 14 Yay yuvası derinliği ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları.....	53
Şekil 3. 15 Yay yuvası derinliği ölçüm sonuçları için grafiksel analiz .....	53
Şekil 3. 16 Montaj momenti ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları .....	55
Şekil 3. 17 Montaj momenti ölçüm sonuçları için grafiksel analiz .....	55
Şekil 3. 18 Pul kalınlığı ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları .....	57
Şekil 3. 19 Pul kalınlığı ölçüm sonuçları için grafiksel analiz .....	57
Şekil 3. 20 Yay yuvası ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları.....	59
Şekil 3. 21 Yay yuvası ölçüm sonuçları için grafiksel analiz .....	59
Şekil 3. 22 Çalışma Basıncı Normal Dağılım ve süreç yeterliliği analiz sonuçları .....	60
Şekil 3. 23 P. Aparatı Delik Çapı Normal Dağılım Testi .....	61
Şekil 3. 24 Yay Yuvası Derinliği Normal Dağılım Testi.....	62
Şekil 3.25 Montaj Momenti Normal Dağılım Testi v.....	63
Şekil 3. 26 Pul Kalınlığı Normal Dağılım Testi.....	63
Şekil 3. 27 Yay Sıkışma Miktarı Normal Dağılım Testi.....	64
Şekil 3. 28 Süreçlere ilişkin performans parametreleri (Mevcut Durum).....	64
Şekil 3. 29 Farklı montaj momentlerine karşılık gelen çalışma basınçları .....	67
Şekil 3. 30 Farklı yay yuvası derinliklerine gelen çalışma basınçları .....	67
Şekil 3. 31 Deney tasarımı için seçilen parametrelerin genel görünümü.....	68
Şekil 3. 32 Deneysel tasarım sonuç/grafik görünümleri verileri seçimleri.....	69
Şekil 3. 33 Etkileşimleri de içeren modelin istatistiksel analiz sonuçları.....	70
Şekil 3. 34 Standart etkiler için Pareto Diyagramı .....	71
Şekil 3. 35 Ana etkiler grafiği .....	71
Şekil 3. 36 Etkileşim grafiği.....	71
Şekil 3. 37 Etkileşimleri de içeren modelin artık analizi grafikleri.....	72
Şekil 3. 38 Etkileşimleri de içeren modelde artıkların normal dağılım testi ve grafiği..	72
Şekil 3. 39 İndirgenmiş model için tasarım ve grafik görünümleri verileri seçimleri....	73
Şekil 3. 40 İndirgenmiş modelin istatistiksel analiz sonuçları .....	74
Şekil 3. 41 İndirgenmiş modelin artık analizi grafikleri .....	75
Şekil 3. 42 İndirgenmiş modelde artıkların normal dağılım testi ve grafiği .....	75
Şekil 3. 43 İyileştirme sonrası moment uygulama süreci verileri .....	77
Şekil 3. 44 İyileştirme sonrası yay yuvası delme süreci verileri .....	78
Şekil 3. 45 İyileştirme sonrası montaj süreci (çalışma basıncı) verileri .....	78

**SİMGELER DİZİNİ****Simge** **$C_p$**  **$C_{pk}$**  **$\mu$**  **$R$**  **$\sigma$** **Açıklama**

Süreç yeterlilik oranı

Süreç ortalamasının nerede olduğunu belirtir

Süreç ortalaması

Dağılım aralığı

Standart sapma

## 1. GİRİŞ

Altı Sigma Metodolojisi, sistematik olarak süreçlerin iyileştirilmesi için istatistiksel teknikleri ve verileri kullanır (Pande ve Neumann, 2000). 1987 yılında Motorola tarafından milyonda 3,4 hata gibi zorlayıcı bir hedefe ulaşmak için geliştirilen bu yöntem, 1995 yılında General Electric firmasındaki başarılı uygulamalarla gelişimini sürdürmüştür (Harry, 1994).

Altı sigma tekniğinin yaygın olarak bilinen ilk rasyonel tanımlaması, tekniğin istatistiksel bir araç olduğunu vurgulamıştır. Altı sigma tekniğinin odak noktası süreçteki değişkenliği, 5 aşamalı bir yöntem kullanarak azaltmaktır (McClusky, 2000).

Bu çalışmanın amacı, Altı sigma tekniğini otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren bir şirkette adım adım uygulayarak tolerans dışı ürün üreten bir sürecin yeterliliğini arttırmaktır. Kaynak araştırması bölümünde, kalite kavramının ve bu kavramın geçmişten günümüze kadarki gelişimi, Altı sigma tekniği ile bağlantısını ortaya koyduktan sonra, Altı Sigma tekniğinin temelini oluşturan istatistiksel teknikler üzerine yoğunlaşmıştır.

Uygulama aşamasında kullanılacak teknikler, Kaynak Araştırması bölümünde tanıtıldıktan sonra Materyal ve Yöntem bölümüne geçilmiştir. Uygulama konusunun seçilmesi ile başlayan Materyal ve Yöntem bölümü, altı sigma tekniğinin 5 adımı olan, tanımlama, ölçme, analiz etme, iyileştirme ve kontrol bölümlerinden oluşmaktadır. Ölçme kısmında, ölçüm sistemleri analizi ile süreçten alınan verilerin ölçüm hatasından arındırılması sağlanmış, analiz bölümünde normal dağılıma uyum testleri yapıldıktan sonra mevcut sistemin yeterlilik analizi yapılmıştır. Deneysel tasarımın girdi faktörlerinin belirlenmesi işlemi yapıldıktan sonra iyileştirme bölümüne geçilmiştir.

İyileştirme bölümünde yapılan istatistiksel analizler ve deneysel tasarım uygulaması ile iyileştirilmiş süreç tanımlanmıştır. Kontrol bölümünde, iyileştirilmiş sürecin dökümantasyonu, çalışanların eğitimi ve örnekleme planlarının güncellenmesi yapılmıştır. Kontrol aşaması ile tamamlanan uygulama kısmından sonra süreçteki iyileşme, istatistiksel olarak belirlenmiş ve fizibilite analizi ile maddi sonuçların görselleştirilmesi sağlanmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Kalite Kavramının Zaman İçerisindeki Gelişimi

Klasik kalite yaklaşımı kalite kavramının tarihsel gelişimini 13. yüzyılda loncalar tarafından gerçekleştirilen muayenecilik mesleği ile başlatmaktadır. 13. yüzyılda çıraklık ve esnaf loncaları gelişmiştir. Ustalar, hem eğitici, hem muayene görevlisi olarak ticareti, ürünlerini ve müşterilerini çok iyi tanıyorlardı ve yaptıkları iş ile birlikte kaliteyi inşa ediyorlardı. Bu aşamanın temel yaklaşımı tüketiciye hatalı ürünlerin gitmemesini sağlamaktır (EFİL, 2003).

19. yüzyılda modern sanayi sistemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Amerika'da Frederick Winslow Taylor, iş planlamalarını işçilerin ve şeflerin bakış açısından kırtarıp endüstri mühendislerinin ellerine teslim ederek bilimsel yönetimin öncülüğünü yapmıştır. Taylor, işletmelerdeki verimsiz ve israf içeren çalışmalara dikkati çekmiş ve bunun sorumlusunun bilimsel yöntemlerden yararlanmayı bilmeyen yönetim kadroları olduğunu söylemiştir. Bu bağlamda planlama ve üretimin birbirinden ayrılmasını, işin mühendisler tarafından en ince teferruatına kadar planlanmasını ve nasıl yapılacağıının işçilere anlatılmasının gerekli olduğunu savunmuştur.

Henry Ford, şirketine hareketli montaj hattını dünyada bir ilk olarak uygulamıştır. Montaj hattı üretimi ile karmaşık işler bölünerek vasıfsız işçiler tarafından da gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Bu da ileri teknoloji ürünlerin daha az maliyetle imal edilebilmesini sağlamıştır. Bu yapının sonucunda muayene elemanları yetiştirilmiş ve iyi- kötü parçaların ayrıştırılması sağlanmıştır. Ulaşılan bu noktada kalite imalatın görüş alanı içinde kalmıştır(Hirano 1996).

İmalat müdürlerinin önceliğinin kaliteli ürün elde etmek değil, siparişlerin karşılanması olduğu sonradan ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu yöneticiler karşılayamadıkları bir sipariştten ötürü işlerini kaybedebileceklerini bilmekteydiler; bununla birlikte ürün kalitesi kötü ise sadece azar işitiyorlardı. Dönemin önde gelen şirketlerinin üst yönetimi, ürün kalitesinin bu sistemden dolayı yetersiz olduğunu gördüğünde çözüm olarak kalite bölümünü bu sistemden ayırmışlardır (EFİL, 2003).

1920 ve 1940 yılları arasında sanayi teknolojisi hızla değişmiştir. The Bell System ve Western Electric, bölümler arası koordinasyon eksikliğinden ve hatalardan dolayı ortaya çıkan problemler ile ilgilenmesi için Muayene Mühendislik Bölümü'nü

kurmuştur. George Edwards, Kalite Güvence kavramını ortaya atmış ve kalitenin yönetimin sorumluluğunun bir parçası olduğunu savunmuştur (Hirano 1996).

1924 yılında Walter Shewhart'ın İstatistiksel Kalite Kontrol kavramını ileri sürmesi, seri imalat sistemlerinde daha ekonomik kontrol metotlarının geliştirilmesini sağlamıştır. Shewhart, bir kitabında okuyuculardan A harfini birkaç kez ve her seferinde mümkün olduğunca dikkat ederek yazmalarını; sonra yazdıkları A harflerini karşılaştırmalarını istemiştir. Bu basit uygulama bile süreçlerdeki değişkenlikler ile ilgili güçlü bir örnektir (Shewhart ve Deming 1986).

İkinci Dünya Savaşı ile birlikte kalite teknolojisinin gelişim hızı artırmıştır. Üretilen ürünlerin kalitesini geliştirme ihtiyacı, kalite kontrol teknolojisi çalışmalarını ve bilgi paylaşımını hızlandırmıştır. 1946 senesinde American Society for Quality Control (ASQC) kuruldu ve George Edwards ilk başkan olarak seçilmiştir. Bu ortamda temel kalite kavramları hızla yayılmış, pek çok firma tedarikçi sertifikasyon programlarını uygulamaya başlamıştır. Kalite güvence uzmanları hata analiz teknikleri geliştirmişler ve kalite mühendisleri ürünlerin tasarım ekiplerine dâhil edilerek, seri üretim öncesi deneme üretimlerine katılmışlardır. Ancak İkinci Dünya Savaşı sona erdikten sonra kalite alanındaki bu gelişim zayıflamıştır. Pek çok firma, bu gelişmeleri savaş zamanı faaliyeti olarak görmüş ve savaş sonrası için bu çalışmalara artık ihtiyaç olmadığını düşünmüşlerdir.

1950 yılında, istatistikçi ve aynı zamanda George Edwards ve Walter Shewhart ile Bell System'de çalışmış olan W. Edwards Deming, Japon Mühendisleri ve Bilim Adamları Birliği (Union of Japanese Scientists and Engineers- JUSE) tarafından, Japonya'nın önde gelen sanayicilerine bir konuşma yapmak üzere Japonya'ya davet edilmiştir. Bu sanayiciler, savaştan sonra Japonya'nın yeniden inşası, yabancı pazarlardaki payın artırılması ve düşük kaliteli ürünlerin kalite çıtasının yükseltilmesi konuları ile ilgilenmekteydiler. Deming, bu sanayicileri, savaş sonrası kısıtlara rağmen, kendisinin geliştirdiği metotları kullanarak Japon kalitesinin dünyada en iyi olacağı konusunda ikna etmiştir. Sanayiciler Deming'in öğretilerini kalpten benimsemişler ve sonraki yıllarda Japon kalitesi, üretkenliği ve rekabetçi pozisyonu muazzam biçimde geliştirmiştir. Deming, Japonya İmparatoru Hirohito tarafından, Japon ekonomisine olan katkılarından ötürü bir madalya ile ödüllendirilmiştir. Japonya'da her yıl, kalite alanında

en büyük ilerlemeyi gösteren şirkete ve istatistik teorisi alanında gelişme sağlayan kişiye Deming Ödülü verilmektedir. Bu ödülü kazanan Japon şirketleri arasında Nissan, Toyota, Hitachi ve Nippon Steel sayılabilir. Bu ödülü alan Japon olmayan ilk şirket Florida Power & Light Company'dir (Gittlow ve Oppenheim 2005).

1951 yılında Armand V. Feigenbaum Toplam Kalite Kontrol kitabını yayımlamıştır. Bu kitap ile tasarımdan satışa kadar işletmelerin tüm alanlarındaki kalite kontrol kavramını geliştirmiştir.

Kore Savaşı, bitmiş ürün testi ve güvenilirlik üzerine olan ilgiyi arttırmıştır. Bununla birlikte, fazladan test yapmak firmaların kalite ve güvenilirlik amaçlarına ulaşmasını sağlayamamıştır. Bu sebeple mühendislik ve imalat sahalarında, kalite konusunda farkında olma ve kalite iyileştirme programları ortaya çıkmaya başlamıştır. 1960'ların sonlarında, kalite programları Amerika'nın önde gelen firmalarının çoğunda yaygın olarak uygulanmaktaydı. Amerikan endüstrisi hala dünya pazarındaki zirve pozisyonunu korumaktaydı ve aynı dönemlerde Avrupa ve Japonya yeniden yapılanmaya devam ediyorlardı.

1970'lerde yabancı rekabet Amerikan şirketlerini tehdit ediyordu. Otomobil ve televizyon gibi pek çok üründe Japon kalitesi Amerikan mallarını geçmişti. Tüketiciler, satın alma kararlarında ürünlerin uzun kullanım ömürlerini dikkate almaya başlamışlardı. Yabancı rekabet ve tüketicilerin kalite konusuna olan yoğun ilgileri, Amerikan şirketlerini kalite konusuna daha fazla ilgili duymaya zorladı.

1970'lerin sonundan günümüze kadar firmalar tüm süreçlerinin üzerine odaklanarak kalite için mücadele etmişleridir. Azalan üretkenlik, yüksek maliyetler, grevler, artan işsizlik oranları, kalite iyileştirme çalışmalarını işletmelerin hayatta kalabilmesi için zorunlu faaliyetler haline getirmiştir.

Motorola 1980'lerin ortalarında Altı Sigma Yönetimi'ni dünyaya tanıttı. 1987'de ISO 9000 serisi kalite standartları yayınlandı ve dünyanın dört bir tarafına dağıldı. Bu standartlar, standardizasyon aktivitelerini firmaların bütününe taşıdı.

Amerika'da 1988 senesinde, Malcolm Baldrige adına ödüller vermeye başlandı. Bu ödülün ilk sahipleri arasında Motorola, Globe Metallurgical ve Nuclear Fuel Division of Westinghouse Electric firmaları yer almaktadır.

1990'lar ve 21. yüzyılın başlarında kalite yönetim sistemlerine, özellikle ISO 9000 serisi standartlara ve Altı Sigma'ya olan ilgi büyüktür. Motorola, General Electric, Dupont, Allied Signal ve diğer tanınmış organizasyonların başarısı Altı Sigma'nın popülaritesini artırmışlardır (Gittlow ve Oppenheim 2005).

Çalışma kapsamında uygulama örneği verilecek olan Altı Sigma süreç iyileştirme tekniği detaylı olarak incelenecektir.

### **2.1. Altı Sigma Süreç İyileştirme Tekniği**

Altı Sigma müşterilere mükemmel yakın ürünler sevk etmeye yardım eden yüksek disiplinli bir süreçtir. Altı Sigma Metodolojisinin altında yatan ana fikir şudur: Süreçlerde ne kadar hatanın olduğu ölçülebilir ise sistematik olarak bu hatalardan kurtulmak mümkün olabilir ve sıfır hataya yaklaşılabilir.

Altı Sigma, yüksek düzeyde müşteri memnuniyetine ulaşmak için dünya çapında kaliteyi ve sürekli iyileşmeyi sağlayan bir iş felsefesidir. Bu çerçevede yapılandırılan her faaliyet organizasyonun stratejik amaçları ve müşterilerinin ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda kurulmuştur.

Sigma ( $\sigma$ ), istatistiksel olarak bir sürecin ortalamadan ayrılışını ifade eden bir dağılım ölçüsüdür. İş dünyasında sigmanın anlamı ise, bir sürecin ne kadar iyi performans sergilediği ve bu süreçte hangi sıklıkla hata oluşabileceğini gösteren bir ölçüttür. Altı Sigma ise milyonda 3,4 hata sayısı ile mükemmelliğe ulaşmanın aracı konumundadır.

Altı Sigmanın ne olduğuna ilişkin farklı bakış açıları ve farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. İş dünyası Altı Sigma'yı genellikle mühendis ve istatistikçiler tarafından ürün ve süreçlerin iyileştirilmesi için kullanılan ileri derecede teknik bir yöntem olarak tanımlamaktadır. Ölçüm ve istatistik Altı Sigmanın anahtar bileşenleri olmakla beraber resmin bütünü değildir.

Müşteri ihtiyaçlarının kusursuzca yakın karşılanması da Altı Sigmanın bir diğer yaygın kullanılan tanımıdır. Altı Sigma, kusur/ hataların her milyon faaliyette 3,4'e kadar indirilmesini hedefler ki bu çok az şirket ya da süreçte ulaşıldığı söylenebilecek bir hedefdir (Hahn ve Hill 1999).



Altı Sigmanın bir diğere tanımı ise organizasyonun daha fazla müşteri tatmini, karlılık ve rekabetçi pozisyon için kültürel değişim gayretidir. Motorola, General Electric gibi Altı Sigmanın şirket çapında uygulandığı yerlerde kültürel değişim, Altı Sigma'yı tanımlamanın en doğru yoludur. Fakat Altı Sigmanın birtakım araçlarını, sadece bazı süreçlerini iyileştirmek amaçlı kullanan şirketler için bu tanım uygun olmayacaktır.

Altı Sigma, iş başarısını sağlamak, sürdürmek ve maksimize etmek için kullanılabilen kapsamlı ve esnek bir sistemdir. Altı Sigma, sadece müşteri ihtiyaçlarının yakından anlaşılması, olayların, verilerin ve istatistiksel analizlerin sistematik kullanımı ve iş süreçlerinin yönetimi, iyileştirilmesi ve tekrar yapılandırılmasına özel önem verilmesi ile sağlanabilir (Pande ve Neumann, 2000).

Bu tanım organizasyonlara Altı Sigma potansiyelinin kilidini açması için gerekli altyapıyı sağlayacaktır. Gerçekleştirilebilecek iş başarıları, Altı Sigmanın çok farklı alanlarda kanıtlanan yararlarından dolayı oldukça geniştir.

Bunlardan bazıları;

- Maliyetlerde azalma
- Üretkenlikte artış
- Pazar payında artış
- Müşteri tatmininde artış
- Çevrim süresinde azalma
- Hata oranında azalma
- Olumlu kültürel değişim şeklinde özetlenebilir.

Altı Sigma, sistematik olarak süreçlerin iyileştirilmesi için istatistiksel teknikleri ve verileri kullanır. Süreç parametreleri, ortalama ve standart sapmanın spesifikasyonlar veya hedefler ile kıyaslanması temeline dayanarak değerlendirilir.

Proje odaklı yöntem yaklaşımı beş aşamadan oluşmaktadır: Tanımlama, Ölçme, Analiz Etme, İyileştirme ve Kontrol. Projeler, üst yönetim stratejileri ile ilişkili olmak üzere seçilir ve tanımlanır. Ölçme aşamasında, ölçüm sistemini doğrulamak ve süreci karakterize etmek için araçlar kullanılır. Analiz ve İyileştirme aşamalarında ise değişkenliğin kaynakları tanımlanır, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki istatistiksel ilişki kurulur ve süreç performansı optimize edilir. Kontrol aşamasında, süreç

iyileştirmelerini desteklemek için istatistiksel araçlar kullanılır. Önemli nokta, birbirleri ile tutarlı kilit süreç çıktılarını elde etmek için kilit süreç girdilerini kontrol etmektir (Hahn ve Hill 1999).

Özet olarak ifade edilirse Altı Sigma, daha sıkı çalışmak için değil; ancak daha akıllıca çalışmak için bir felsefe, iş stratejisidir (Wyper ve Harrison 2000). Altı Sigma, bir ürün veya hizmet üreten bir süreçte sıfır hataya yaklaşan optimize edilmiş bir performans düzeyidir. Dünya ölçeğinde bir performansa ulaşılmasını ve bu düzeyin sürdürülmesini ifade etmektedir (Wilson 1999).

## **2.2. Altı Sigmmanın Tarihsel Gelişimi**

Betimsel istatistiğin kökleri M.Ö. 4500–3000 yıllarına kadar geriye gitmektedir. Babilliler ve Mısırlılar bu dönemde nüfus sayımları yapıyorlardı. İngiltere’de Kral VII. Henry veba korkusu nedeni ile 1532 yılında ölümleri kaydettirmeye başlamış, Fransa’da hemen hemen aynı tarihlerde ölümler ve evlilikler kaydedilmeye başlanmıştır. 1620-1674 yılları arasında yaşayan John Grant, boş zamanlarında kadınların ve erkeklerin ölüm oranlarını inceleyerek bu oranlar arasındaki farklılıkları gözlemlemiştir. Grant’ın geçmişteki olayları gözlemleyerek gelecekteki olayları kestirmeye çalışmadaki başarısı, modern istatistiğin başlangıcını sayılabilir.

1854–1856 yılları arasında Osmanlı Devleti, İngiltere, Fransa ve Rusya arasında çıkan Kırım Savaşı’nda, Florans Nightingale, 38 hemşire ile birlikte Üsküdar’da, ölen İngiliz askerleri ile ilgili histogramlar hazırlamıştır. Bu grafiklerin etkili sunumu neticesinde, İngiliz basınında yer alan yoğun eleştiriler üzerine hastane koşulları iyileştirilerek ölüm oranlarında azalma sağlanmıştır (Gürsakar ve Oğuzlar 2003).

1980’lerde Motorola şirketi altı sigma konseptinin liderliğini yapmıştır. Motorola hücreli telefonlarının kalitesinin artması umuduyla altı sigma tekniklerini iç eğitimlerinde kullanmaya başlamıştır. 1981’de Motorola Şirketi’nin en önemli hedeflerinden birisi de 1986 yılından önce kalitesini on kat geliştirmektir. Bu hedefe ulaşmak için, Motorola’nın mobil ürünler sektöründe çalışan Bill Smith, şirket için takip edilmesi gereken parametreyi birim başına hata sayısının azaltılması olarak tanımlamıştır. Bu parametre Motorola’nın çalışmakta olduğu tüm iş sektörlerinde kusurları üniform olarak ölçmesini sağlamıştır.

1988 yılına gelindiğinde Motorola şirketi Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü'nü alan ilk şirket olmuştur. Şirketin 1988 yılındaki Genel Müdürü Bob Galvin'in, Beyaz Saray'da Malcolm Baldrige Kalite Ödülü'nü alırken, bu başarıyı Altı Sigma olarak adlandırdıkları bir yaklaşıma borçlu olduklarını söylemesi, Altı Sigmayı çok sayıda şirketin ilgi odağı haline getirmiştir (Gürsakal ve Oğuzlar 2003).

Motorola'nın stratejisi ve kendisini kaliteye adanması, bütün dünyada başta otomotiv sektörünün üyeleri olmak üzere sayısız organizasyon tarafından takdir görmekteydi. Şirketler, Motorola tarafından uygulanan teknikleri kullanmak ve kendi kalitelerini geliştirmek için yoğun çaba harcamaktadırlar. Bu tekniklerden faydalanabilmek için dikkat edilmesi gereken nokta, asıl faydanın bunların şirketin tüm kademelerinde etkin olarak kullanılması ile sağlanabileceğidir. Altı Sigmaya şirket bazındaki bu bağlılık ise beraberinde bir kültür değişimini getirmektedir (Harry 1994).

### **2.3. Altı Sigma ve Değişkenlik**

İstatistikte değişkenlik, verilerin ne ölçüde birbirlerinden farklı veya ne ölçüde birbirlerine benzer olduklarını anlatan bir kavramdır. Verilerin değerleri birbirlerine yakın olduğunda değişkenlik az, buna karşılık bu değerler birbirlerinden uzak olursa değişkenlik fazladır (Snee 2000).

Günlük hayatta değişkenliğin az olması istikrar sözcüğü ile ifade edilebilir. Bir işletmede değişkenliğe yol açan sebepler;

- Tedarikçiler,
- Girdiler,
- Süreçler,
- Çevrenin etkileri olarak sıralanabilir.

İstatistiksel olarak değişkenlik çeşitli ölçülerle hesaplanabilir. Bunların arasında en sık kullanılanlar değişim aralığı, standart sapma ve standart sapmanın karesi olan varyanstır.

Altı Sigmanın en önemli kavramlarından birisi değişkenliktir. Çünkü değişkenlikler ürün veya süreçlerde hataların oluşmasına neden olmaktadır. Buna karşın, ne yazık ki değişkenliğin olmadığı bir süreç düşünülemez. Her süreçte değişkenlik vardır, önemli olan ise değişkenliğin niteliği ve büyüklüğüdür. Süreçlerin

yeterliliğini ifade etmek için sadece süreç ortalamalarının değil, ortalama ve değişkenliğin birlikte kullanılması gereklidir.

Bir tasarımcı, müşteri beklentisi doğrultusunda tasarım ölçülerini belirtmektedir. Fakat süreçte değişkenlik olacağını düşünerek, değişkenlikleri sınırlandırmak amacı ile tasarım ölçüsüne alt ve üst limitler koymaktadır. Hatalar ise bu alt ve üst limitlerin dışında kalan üretimler ile oluşmaktadır. Amaç, değişkenlikleri az, ortalamaları ise hedefte olan süreçler geliştirebilmektir (Serper, 2004).

Altı Sigmanın öncelikli ve en önemli amaçları arasında değişkenliklerin, hataların, yanlışların ve kusurların azaltılması yer almaktadır. Önemli olan süreçlerdir, süreçler ise değişkendir ve değişkenlik ölçülmelidir. Bu noktada süreçler üzerinde yoğunlaşarak değişkenliğin azaltılması Altı Sigma hedefine ulaşmak için çok önemlidir.

İstatistiksel düşüncenin temel elemanları süreç, değişkenlik ve veridir. Süreç bize çözülecek problemin içinde bulunduğu ortamı sağlar. Değişkenlik pek çok problemin kaynağıdır ve çözümler için yol gösterir. Veri, değişkenliği nicel hale getirmemize ve etkin süreç iyileştirme yaklaşımları geliştirmemize yardımcı olur (Snee 2000).

#### 2.4. Altı Sigma Metodolojisi

Altı Sigma metodolojisi, endüstriyel süreçleri optimize ve karakterize etmek için kullanılan, 5 safhaya bölünmüş bir araçlar kümesidir. Her proje kronolojik sıralaması ile bu beş aşamayı tamamlamak zorundadır. Bu aşamalar aşağıda sıralanmıştır:

1. **Tanımlama Aşaması (Define Phase):** Problemin kaynağı nedir?
2. **Ölçme Aşaması (Measure Phase):** Sürecin yeterliliği ne seviyededir?
3. **Analiz Aşaması (Analyze Phase):** Hatalar nerede ve ne zaman ortaya çıkar?
4. **İyileştirme Aşaması (Improve Phase):** Süreç yeterliliği nasıl Altı Sigma olabilir?
5. **Kontrol Aşaması (Control Phase):** Kazancın sürekli olması için nasıl bir kontrol sağlanmalıdır?

Altı Sigma, metodun adımlarının İngilizce isimlerinin baş harflerinden oluşan kısaltma ile de anılmaktadır. Bilimsel metodun işletme faaliyetlerine uygulanmasında kullanılan çok sayıda iyileştirme modeli bulunmaktadır. Fakat bu modellerin hemen hemen hepsinin W. Edwards Deming'in PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al) döngüsüne dayandığı söylenebilir. Temel olarak PUKÖ modelinden büyük bir farklılık

göstermeyen DMAIC modelinde sadece ölçme ve iyileştirme süreçleri özel olarak vurgulanmış ve bu süreçler ayrı birer aşama olarak ifade edilmiştir. Bu adımlar ile ilgili daha geniş bilgi aşağıda verilmiştir:

#### **2.4.1. Tanımlama Aşaması**

Bu aşamada, müşteri ihtiyaçları tespit edilir ve iyileştirilecek süreç ve ürünlerle birlikte projenin amaç ve kapsamı tanımlanır. Süreç ve müşteri hakkında bilgi toplanır. Seçilen ve tanımlanan projenin daha yüksek bir kalite yaratma ve maliyetleri azaltma olasılığının yüksek olması önemlidir. Tanımlama aşamasında öncelikle problem ifadesi oluşturulur. Bu maksatla müşteri istekleri, iyileştirilecek süreçlerin kapsamı ve Altı Sigma projesinin amaçları tanımlanır. Proje planı ve ekibi bu aşamada oluşturulur.

Bu aşama, araştırma yöntemleri çerçevesinde ele alınan bir araştırma probleminin tanımlanmasına benzer. Nasıl bir araştırma probleminin ne çok geniş ne de çok dar kapsamlı olması istenmezse, aynı olgu altı sigma projesi için de geçerlidir. Kimlerin müşteri olduğu, bir firmanın iç ve dış müşterilerinin ürün ve hizmetlerden beklentilerinin neler olduğu, projenin sınırları, ayrıntılı zaman ve kaynak planlaması, kritik kalite değişkenlerinin belirlenmesi, süreç haritaları geliştirilecek temel süreçlerin tanımlanması bu aşamada gerçekleştirilir (Gürsakal ve Oğuzlar 2003)

#### **2.4.2. Ölçme Aşaması**

Bu aşama, sürecin ana hattını ve hedef performansını belirtir, sürecin girdi/ çıktı değişkenlerini tanımlar ve ölçüm sistemlerini doğrular. Bu aşamada mevcut durumu tüm yönleriyle açıklayan bilgiler toplanır. Geçerli ve doğru ölçümler olmaksızın sürecin mevcut performansını ve yapılan iyileştirmelerin etkinliklerini belirlemek mümkün değildir (Dale 1994).

Bu aşamadaki en kritik faktör ise neyin ya da nelerin ölçüleceğinin doğru belirlenmesidir. Aksi takdirde harcanacak emek ve kaynakların karşılığı, hiçbir kullanım alanı olmayan sayfalarca veri olacaktır.

Belli bir süreçteki hataları (iyileştirme fırsatlarını) belirlemek için yapılacak analizler öncesinde, problem sahaları doğru olarak belirlenmeli ve kullanılacak yöntemler bu bilgilerin ışığında seçilmelidir.

Altı Sigma metodolojisinin adımları içerisinde, verilen önem ve değer, harcanan para ve zaman açısından en fazla göz ardı edilen aşamanın ölçme aşaması olduğu

söylenbilir. Ölçüm sırasında somut bir sonuç elde edilmediğinden bu aşama diğer aşamalar ile kıyaslandığında parlayan bir basamak değildir. Bu nedenle bu basamağı bir an önce geçme eğilimi yaygındır. Fakat bu doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü nicel veriler Altı Sigmanın temelini oluşturur.

#### **2.4.2.1. Ölçüm Sistemleri Analizi**

Ölçüm verileri pratikte sıkça ve değişik şekillerde kullanılmaktadır. Örneğin, bir üretim sürecinde ayarlama yapılıp yapılmayacağına kararı genellikle ölçüm verilerine dayandırılmaktadır. Ölçüm verileri veya bunlardan hesaplanan bazı istatistikler, sürecin kontrol limitleri ile karşılaştırılır ve eğer karşılaştırma, sürecin istatistiksel olarak kontrol dışına çıktığını gösterirse, gerekli ayarlamalar yapılır. Eğer kontrol altında ise sürecin ayarlama yapılmadan yürümesine izin verilir (Shewhart ve Deming 1986).

Ölçüm verilerinin başka bir kullanımı da, iki değişken arasında belirli bir ilişki olup olmadığını belirlemektir. Bu olası ilişki, regresyon ve korelasyon analizleri gibi istatistiksel bazı yöntemler izlenerek incelenebilir.

Bu tür ilişkileri araştıran çalışmalar, Dr. W. Edwards Deming'in bahsettiği analitik çalışmalara örnektir. Genelde analitik çalışmalar, süreci etkileyen sebepler sistemi hakkında bilgi seviyemizi artırır. Analitik çalışmalar, sürecin daha iyi anlaşılmasına yardımcı oldukları için, ölçüm verilerinin önemli kullanım sahasını oluşturmaktadırlar.

Veri temelli bir yöntem kullanmanın yararı, büyük ölçüde, kullanılan ölçüm verisinin kalitesiyle ilişkilidir. Eğer veri kalitesi düşükse, benzer şekilde, uygulanan yöntemin sonuçları, süreç hakkında zayıf ve hatta kimi zaman yanlış bilgiler sağlayacaktır. Aynı şekilde, eğer veri kalitesi yüksekse yöntemin sağladığı sonuçlar daha etkili bilgilere ulaşılmasını sağlayacaktır. Ölçüm verilerini kullanarak sağlanacak yararın, veriyi elde etmenin maliyetinden daha büyük olmasını garanti altına almak için, verilerin kalite düzeyine büyük dikkat sarf edilmelidir.

#### **Ölçüm verilerinin kalitesi**

Ölçüm verilerinin kalitesi, kararlı koşullarda çalışan bir ölçüm sisteminden elde edilen çoklu ölçümlerin istatistiksel özellikleriyle ilgilidir. Örneğin, kararlı koşullarda çalışan bir ölçüm sisteminin, belirli bir karakteristik için çeşitli ölçümler elde etme

sürecinde kullanıldığını kabul edelim. Eğer bu karakteristik için ölçümlerin hepsi master değere “yakın” ise veri kalitesi “yüksek” denebilir. Aynı şekilde eğer ölçümlerin bazıları veya hepsi master değere “uzak” ise veri kalitesi “düşük” denebilir.

Veri kalitesini karakterize etmek için kullanılan istatistiksel özellikler, genellikle eğilim ve varyanstır. Eğilim olarak adlandırılan özellik, master değere göre verinin konumunu gösterir. Varyans olarak adlandırılan özellik ise verinin dağılımını gösterir. Fakat diğer istatistiksel özellikler, örneğin hatalı sınıflandırma oranı, bazı durumlar için daha uygun olabilir.

Veri kalitesinin düşük olmasının sebepleri arasında en yaygın olanlarından biri verilerin sahip olduğu değişkenliğinin çok fazla olmasıdır. Örneğin, bir tankın içindeki sıvı hacmini ölçmek için kullanılan bir ölçüm sistemi, kullanıldığı ortamın sıcaklığına aşırı duyarlı olabilir. Bu durumda, verideki değişkenlik hem sıvı hacminin değişmesinden, hem de ortam sıcaklığındaki değişikliklerden kaynaklanır. Bu durum ise verinin yorumlanmasını daha zor ve ölçüm sistemini daha az kullanışlı duruma getirir.

Bir ölçüm setindeki değişkenliklerin birçoğu, ölçüm sistemi ve çevre koşullarının etkileşiminden meydana gelir. Eğer etkileşim çok fazla değişkenlik meydana getiriyorsa, veri kalitesi kullanılamayacak kadar düşük olur. Örneğin, büyük miktarda değişkenlik içeren bir ölçüm sistemi üretim sürecini analiz etmek için uygun olmayabilir, çünkü ölçüm sisteminin varyansı, üretim sürecinin varyansını gizleyebilir. Eğer veri kalitesi kabul edilebilir değilse, veri geliştirilmelidir. Bu ise genellikle verinin kendisini geliştirmek yerine ölçüm sistemi geliştirilerek başarılır.

### **Ölçüm İşlemi**

“Ölçüm” terimi, belirli bir özelliğe göre, birbirleri arasındaki etkileşimi temsil etmesi için malzemelere sayılar tayin etmek şeklinde tanımlanabilir. Sayıları tayin etme işlemi ölçüm işlemi, tayin edilen değer ise ölçüm değeri olarak bilinir. Bu tanımlardan anlaşılmaktadır ki ölçüm işlemi, çıktı olarak rakamlar (veriler) üreten bir üretim süreci olarak görülmelidir.

#### **2.4.2.2. Ölçüm sistemlerinin istatistiksel özellikleri**

Ölçüm sistemlerinin sahip olması gereken belirli özellikler vardır. Bu özellikleri sağlamayan ölçüm sistemleri ile elde edilen veriler sistemin gerçek değişkenliği

hakkında yanıltıcı sonuçlara ulaşılması riskine sahiptir. Bahsedilen özellikler aşağıda belirtilmektedir:

- Ölçüm sistemi istatistiksel olarak kontrol altında olmalıdır.
- Üretim sürecinin değişkenliğiyle karşılaştırıldığında ölçüm sisteminin değişkenliği daha küçük olmalıdır.
- Spesifikasyon limitleriyle karşılaştırıldığında değişkenlik küçük olmalıdır.

Ölçülen parçalar farklılaştıkça, ölçüm sisteminin istatistiksel özellikleri değişebilir. Bir ölçüm sisteminin değerlendirilmesinde birinci basamak, doğru değişkenin ölçüldüğünü teyit etmektir. Eğer yanlış değişken ölçülüyorsa, ölçüm sisteminin ne kadar doğru veya hassas olduğu önemli değildir. Bu, yarar sağlamaksızın kaynakların tüketilmesi anlamına gelecektir. Bir sonraki basamak ölçüm sisteminin kabul edilebilir olması için hangi istatistiksel özelliklere sahip olduğunu belirlemektir. Bu belirlemeyi yapmak için, verilerin nasıl kullanılacağını bilmek önemlidir. Bunu bilmeden, uygun istatistiksel özellikler belirlenemez. İstatistiksel özellikler belirlendikten sonra ölçüm sisteminin bu özelliklere sahip olup olmadığını değerlendirmek gerekir. Ölçüm sisteminin değerlendirilmesi genellikle iki aşamada yapılır.

Birinci aşamada gerçekleştirilecek faaliyet, ölçüm sürecini anlamak ve ihtiyaçları karşılayıp karşılamayacağını belirlemektir ve bu aşamanın iki hedefi vardır. Birincisi ölçüm sisteminin ihtiyaç duyulan istatistiksel özelliklere sahip olup olmadığını belirlemektir. Bu tip testler ölçüm sistemi kullanılmaya başlanmadan önce gerçekleştirilmelidir. Eğer test, ölçüm sisteminin uygun özelliklere sahip olduğunu gösterirse, sistem amaçlanan kullanım için kabul edilebilir sayılır ve kullanılabilir. Diğer tarafta, eğer ölçüm sisteminin doğru özelliklere sahip olmadığı görülüyorsa, kullanılmamalıdır. Genelde, bir ölçüm sisteminin kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için çeşitli testler gerekmektedir.

Bu aşamanın ikinci hedefi, hangi çevre faktörlerinin ölçüm sistemi üzerinde kayda değer bir etkisi olduğunu keşfetmektir. Örneğin, birinci aşama testi, ortam sıcaklığı faktörlerden birisi olmak üzere, değişik seviyelerde çeşitli çevresel faktörler içerir. Eğer birinci aşama testi, ortam sıcaklığının ölçümlerin kalitesini belirgin bir şekilde etkilediğini gösterirse, ölçüm sisteminin atmosfer kontrollü bir ortamda uygulanması



gerekebilir. Diğer tarafta, eğer test, ortam sıcaklığının fark edilebilir bir etkisi olmadığını gösterirse, ölçüm sistemi kaygı duyulmadan atölyede kullanılabilir.

İkinci aşama testinin hedefi, kabul edilebilir olarak gözüken bir ölçüm sisteminin uygun istatistiksel özelliklere sahip olup olmadığını belirlemektir. “Ölçüm R&R” olarak adlandırılan çalışma ikinci aşama testinin bir biçimidir. Bu test genellikle normal kalibrasyon programı, bakım programı ve metroloji programının rutin bir bölümü olarak gerçekleştirilir; ancak bunlardan bağımsız olarak da yapılabilir. R&R ifadesi “repeatability (tekrarlanabilirlik)” ve “reproducibility (tekrar üretebilirlik)” kelimelerinin baş harfleridir.

Test prosedürü tamamen belgelenmelidir. Belgeleme aşağıdaki hususları içermelidir:

- Örnekler
- Ölçülecek kalemlerin seçimi ve test yönteminin uygulanacağı çevre şartlarının spesifikasyonları (Bu spesifikasyonlar istatistiksel deney tasarımı formunda olmalıdır.)
- Spesifikasyonlara uygun olarak verilerin nasıl toplandığı, kaydedildiği ve analiz edildiği
- Anahtar terim ve kavramların uygulamayla ilgili tanımları
- Eğer prosedür veya özel standartların kullanımına ihtiyaç duyarsa, test belgelenmesi bu standartların depolanma, korunma ve kullanım açıklamalarını içermelidir.

Değerlendirmenin zamanlaması, yönetimi ve değerlendirme sonuçlarının yansıtılmasının usulü ve sorumluluğunun kime ait olacağı açık olarak yönetim tarafından belirlenir. Ölçüm sistemini değerlendirmek için geliştirilen yöntemler, otomotiv endüstrisinde, ölçüm sistemlerini üretim ortamında analiz etmek için kapsamlı olarak kullanılmaktadır.

İstatistiksel yöntemler, ölçüm sistemlerini çoğunlukla aşağıda belirtilen özellikler açısından değerlendirir:

- Tekrarlanabilirlik,
- Tekrar üretebilirlik,
- Çözünürlük.

Ölçüm sistemlerini değerlendirmek üzere geliştirilen istatistiksel yöntemler “Ölçüm R&R” yöntemleri olarak adlandırılırlar, çünkü ölçüm aletinin çözünürlük değeri sabittir ve istatistiksel ölçüm yapmayı gerektirmez. Bu yüzden istatistiksel teknikler ve yazılımlar, tekrarlanabilirlik ve tekrar üretebilirlik istatistiksel özelliklerini değerlendirmek için kullanılır. Yazılım ve paket programlarındaki yöntemler, istatistiğe dayalı oldukları halde, istatistikçi olmayanların da kullanabileceği şekilde sunulmuştur.

İstatistiksel yazılımlar ve paket programları tarafından yapılan analizlerin tutarlılığının test edilmesi ve değişkenlik kaynaklarının yorumlanabilmesi için istatistik bilgisi gerekli ve önemlidir. Bu aşamada, ölçüm sistemleri analizinin istatistik temelleri özetlenecektir.

#### 2.4.2.2. Ölçüm Sistemleri Analizinin Teorik Çerçevesi

İlgilenilen süreç/ürün karakteristiğine ait verilerin istatistiksel açıdan etkili bir analizinin yapılabilmesi öncelikle elde edilen verilerin güvenilir olup olmadığı belirlenmeli, diğer bir deyişle ölçüm sistemleri analizi yapılmalıdır. Bir ölçüm sistemi ölçüm cihazlarını, ölçüm yapan operatörleri, ölçüm ortamını, ölçüm prosedürlerini ve ölçüm için kullanılan yardımcı ekipmanları içerir.

Ölçüm sistemleri analizi, ölçüm cihazından ve ölçüm cihazının kullanımından kaynaklanan değişkenliği bulma, mühendislik toleransı ile ölçüm değişkenliğinin etkisini karşılaştırma ve ölçüm prosesini iyileştirerek toplam değişkenliği azaltmayı amaçlar (Montgomery 2003).

Değişkenlik, sürecin gerçek değişkenliği ve sürecin ölçüm değişkenliği olmak üzere 2.1 numaralı eşitlikte gösterildiği gibi iki grupta incelenir.

$$\sigma_{toplam}^2 = \sigma_{süreç}^2 \oplus \sigma_{ölçüm\_sistemi}^2 \quad (2.1)$$

Sürecin gerçek değişkenliğini ortaya çıkarmak için öncelikle ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenlik tanımlanmalı ve sürecin değişkenliğinden ayrıştırılmalıdır. Ölçüm yeterliliği çalışmasında, birden fazla operatör birden fazla parçanın aynı özelliğini birden çok kez ölçerler. Ölçüm sonuçlarının istatistiksel anlamlılığının sağlanması için, 2 operatörün 5 parçayı 3'er kez ölçmesi önerilmektedir (Mason,2003).

Ölçümlerde rassallığın sağlanması kritik öneme sahiptir. Ölçüm sonuçları elde edildikten sonra toplam değişkenliğin süreç ve ölçüm sistemleri olmak üzere ayrıştırılmasını sağlamak için varyans analizi yapılmalıdır. Analiz için güven düzeyini temsil eden  $\alpha$  parametresi seçilir.

Ölçüm sistemleri analizinde operatör ve ölçüm aleti olmak üzere iki değişken bulunduğundan, iki değişkenli varyans analizi ile modelleme yapılır (Montgomery, 2003).

Sistemin modellenmesi için notasyon aşağıdaki gibidir;

$i$ :	parça sayısı	$1 \dots a$
$j$ :	operatör sayısı	$1 \dots b$
$n$ :	ölçüm tekrarı sayısı	
$\bar{x}_{i..}$ :	her parça için ölçüm sonuçları ortalaması	
$\bar{x}_{.j.}$ :	her operatör için ölçüm sonuçları ortalaması	
$\bar{x}_{...}$ :	genel ortalama	
$x_{ijk}$ :	tekil gözlem değeri	
$\bar{x}_{ij.}$ :	her faktör için seviye ortalaması	

Sistemden ölçüm verileri elde edildikten sonra kareler toplamı, ortalama kareler hesaplanır. Minitab programında kareler toplamı “SS (Sum of Squares)”, ortalama kareler ise “MS (Mean Squares)” sembolleri ile gösterilmektedir ve bu açıklamadan sonra kareler toplamı için “SS”, ortalama kareler için ise “MS” kısaltması kullanılacaktır.

Kareler toplamı hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır;

$$SS_{par\c{c}a} = b \cdot n \cdot \sum (\bar{x}_{i..} - \bar{x}_{...})^2 \quad (2.2)$$

$$SS_{operat\ddot{o}r} = b \cdot n \cdot \sum (\bar{x}_{.j.} - \bar{x}_{...})^2 \quad (2.3)$$

$$SS_{tekrarlanabilirlik} = \sum \sum \sum (\bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{ij.})^2 \quad (2.4)$$

$$SS_{toplam} = \sum \sum \sum (\bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{...})^2 \quad (2.5)$$

$$SS_{par\c{c}a \cdot operat\ddot{o}r} = SS_{toplam} - (SS_{par\c{c}a} \oplus SS_{operat\ddot{o}r} \oplus SS_{tekrarlanabilirlik}) \quad (2.6)$$

Ortalama kareler, kareler toplamının serbestlik derecelerine bölünmesi ile elde edilir.

$$MS_{par\c{c}a} = \frac{SS_{par\c{c}a}}{Par\c{c}a \text{ serbestlik derecesi (s.d.)}} \quad (2.7)$$

Serbestlik dereceleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$s.d._{parça} = (a - 1) \quad (2.8)$$

$$s.d._{operatör} = (b - 1) \quad (2.9)$$

$$s.d._{parça \bullet operatör} = (a - 1) \cdot (b - 1) \quad (2.10)$$

$$s.d._{tekrarlanabilirlik} = a \cdot b \cdot (n - 1) \quad (2.11)$$

$$s.d._{toplam} = (a \cdot b \cdot n - 1) \quad (2.12)$$

Operatör-parça etkileşimi varyans analizine dâhil edildiğinde, toplam değişkenlikle ilgili bileşenler aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Varyans bileşeni negatif bir değer ise, hesaplamalarda 0 olarak işlem görür):

**Çizelge 2. 1** Varyans analizinde bileşenlerin hesaplanması

Bileşen	Serbestlik derecesi	Formül
Tekrarlanabilirlik	$a \cdot b \cdot (n - 1)$	$MS_{tekrarlana\ bilirik}$
Operatör(Yeniden üretibilirlik)	$b - 1$	$\frac{MS_{operatör} - (MS_{operatör \bullet parça})}{a \cdot n}$
Parçadan-Parçaya	$a - 1$	$\frac{MS_{operatör} - (MS_{operatör \bullet parça})}{a \cdot n}$
Operatör-Parça Etkileşimi	$(a - 1) \cdot (b - 1)$	$\frac{MS_{operatör \bullet parça} - MS_{tekrarlanabilirlik}}{n}$
Toplam Ölçüm Değişkenliği(R&R)	$a \cdot b \cdot (n - 1) \oplus b - 1$	$Operatör(Yeniden Üretebilirlik) \oplus Tekrarlanabilirlik$
Toplam Değişkenlik	$a \cdot b \cdot n - 1$	$Paradan - Parçaya Değ. \oplus Toplam Ölçüm Değ.$

F testindeki kritik değerler ile karşılaştırılacak test istatistikleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır:

$$F_{ölçüm\ sistemi} = \frac{MS_{ölçüm\ sistemi}}{MS_{toplam}} \quad (2.13)$$

$$F_{\text{parçadan parçaya}} = \frac{MS_{\text{parçadan parçaya}}}{MS_{\text{toplam}}} \quad (2.14)$$

Kritik değerler ise aşağıdaki formüle ilişkin değerlerin F testi olasılık tabloları yardımı ile bulunur.

$$\text{Ölçüm sistemi için kritik değer: } F_{\text{ölçüm sistemi}} = F_{a \cdot b \cdot (n-1) \oplus b-1, a \cdot b \cdot n-1} \quad (2.15)$$

Parçadan parçaya değişkenlik için kritik değer:

$$F_{\text{parçadan parçaya}} = F_{a \cdot b \cdot n-1, a-1} \quad (2.16)$$

$F_{\text{test istatistiği}} > F_{\text{kritik}}$  olması durumunda ilgili faktörün etkisinin anlamlı olduğu sonucuna varılır.

Sonuçlar elde edildikten sonra toplam ölçüm değişkenliğinin yorumlanması ve ölçüm sisteminin doğru sonuçlar üretip üretmediğinin belirlenmesi için aşağıdaki değerlendirme kullanılır (Montgomery, 2003).

Ölçüm cihazı tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirliğin (%R&R) kabulü için ana hatlar aşağıda belirtilmektedir:

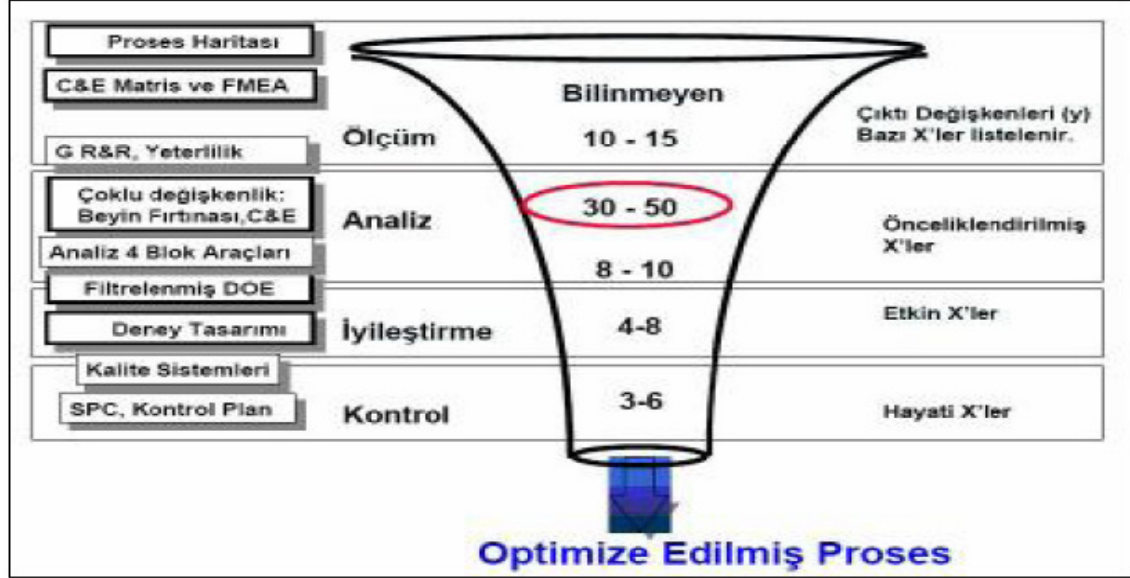
- % 10 hatanın altı için ölçüm sistemi kabul edilebilir. (Toplam varyansın %1'i)
- % 10 ile %30 hata için uygulamanın önemine, ölçüm cihazının maliyetine, tamir masraflarına, vb. bağlı olarak kabul edilebilir.
- % 30 hatanın üzeri ölçüm sisteminin geliştirilmesi, problemlerin belirlenmesi ve düzeltici faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gerekir (Montgomery ve Runger 2002).

Ölçüm sisteminin yeterliliği analiz edildikten sonra normal dağılıma uyum, proses yeterliliği regresyon ve korelasyon analizlerinde kullanılacak verilerin toplanması ve analiz edilmesi aşamasına geçilir (Montgomery, 2001).

### 2.4.3. Analiz Aşaması

Doğrulanmış ölçüm sistemiyle yapılan ölçümler sonucunda elde edilen verilerin normal dağılıma uygunluğunun test edilmesi, analizde kullanılacak tekniklerin seçilmesi için önemlidir. Dağılım bilgisi elde edildikten sonra süreç yeterlilikleri hesaplanır. Süreç yeterlilikleri, korelasyon analizi ile desteklenerek, çıktı değişkeni ile her bir potansiyel girdi değişkeni arasındaki lineer ilişkinin varlığı ve kuvveti araştırılır. Süreç

girdilerini indirmek için önerilen (Işığışık, 2007) ve Şekil 2.1'de verilen yaklaşım çalışma için başlangıç noktası alınarak, uygulama kısmında girdi faktörlerinin indirgenmesi gerçekleştirilecektir.



**Şekil 2. 1** Prosesin oluşumunu etkileyen önemli değişkenlerin süzülmesi (Işığışık, 2007)

Ölçüm sistemleri analiz edilen ve doğrulanan girdi faktörlerinin çıktı üzerindeki etkisini ve aralarındaki ilişkinin belirlenmesinde ilk adım olarak verilerin normal dağılıma uygunluk testleri yapılmalıdır.

#### 2.4.3.1 Normal Dağılım Testi

Verilerin normal dağılıma uyup uymadığını test etmek için genellikle, subjektif bir görsel değerlendirme kullanılır (Montgomery, 2001). Olasılık grafiğini çizebilmek için, örneklem verileri küçükten büyüğe sıralanır.  $y_1, y_2, \dots, y_n$  sıralamasında  $y_1$ , en küçük,  $y_n$  ise en büyük gözlem sonucunu göstermektedir (Mason, 2003).

$j$ : gözlem sırası (büyükten küçüğe sıralanmış seri için),  $1 \dots n$

Normal olasılık grafiklerinin büyük bir kısmı  $100 \cdot [1 - (j - 0,5) \div n]$  değerini sol düşey ekseninde, ölçüm sonucu elde edilen verileri ise düşey ekseninde göstermektedir. Olasılık fonksiyonları, kümülatif olasılık yoğunluğunu gösteren olasılık-olasılık grafikleri (Probability-Probability Plot) ve sınıflanmış veriler için sınıflara ait sıklığın

yoğunluğunu gösteren grafikler (Quantile-Quantile Plot). İki grafiğin basit olarak yapılan yorumlamasında, yatay ve dikey eksenlerin birleştiği noktalardan geçen bir doğru ile yorumlama yapılır. Doğru çizimi için kural 25 ve 75. yüzdilik dilimlerden geçecek şekilde çizimi yapmaktır. Bu doğru dışında kalan noktalara göre normal dağılıma uyum yorumu yapılır. Eğer doğrunun dışında çok az nokta kalıyorsa normal dağılıma uyum vardır (Montgomery, 2001).

Sübjektif değerlendirme harici geliştirilen tekniklerle, gözlem sonucu elde edilen verilerin belirli bir güven düzeyinde normal dağılıma uyup uymadığı test edilebilmektedir.

Ki-kare uygunluk testi, Anderson-Darling testi ve Kolmogorov-Smirnov testi bu amaçla geliştirilen tekniklerdir (Anderson ve Darling, 1952). Örnek büyüklüğü 10 ile 100.000 arasında değişen popülasyonlar üzerinde yapılan çalışmada bu tekniklerden en iyi sonuç verenin Anderson-Darling testi olduğunu göstermektedir (Stephens, 1986). Çalışma kapsamında da Minitab programı aracılığı ile bu test kullanılacaktır.

### **Anderson-Darling Normal Dağılım Testi**

Hipotez testi yaklaşımı ile elde edilen verilerin, normal dağılıma uyumunu değerlendirmek için geliştirilen bir tekniktir (Montgomery,2001). Değerlendirilen hipotezler aşağıdaki gibidir.

$H_0$ : İncelenen veriler normal dağılıma uymaktadır.

$H_1$ : İncelenen veriler normal dağılıma uymamaktadır.

Uyumun değerlendirilmesi için güven düzeyi belirlendikten sonra test istatistiği hesaplanır.

Anderson Darling testinde  $Z=F(x)$ , kümülatif dağılım fonksiyonu olmak üzere,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  değerlerinin  $Z_i=F(x_i)$   $i= 1, \dots, n$  değerlerini verdiği varsayımı ile  $Z_i$  değerleri azalan şekilde sıralanır.  $Z_1 < Z_2 < \dots < Z_n$  olmak üzere Anderson-Darling istatistiği eşitlik 2.17'deki gibi hesaplanır.

$$A^2 = -n - (1 \div n) \cdot \sum_i [(2i - 1) \cdot \log Z_i) \oplus (2n \oplus 1 - 2i) \cdot \log(1 - Z_i )] \quad (2.17)$$

Test istatistiği hesaplama konusu, örneklem büyüklüğü arttıkça zorlaştığından, istatistiksel yazılım paketlerinden faydalanmak avantaj sağlamaktadır. Test istatistiği kritik değerle karşılaştırıldıktan sonra elde edilen p değerinin, testin güven düzeyinden büyük ise verilerin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılır (Anderson ve Darling, 1952).

Verilerin normal dağılım testleri yapıldıktan sonra, yeterlilik analizleri, regresyon ve korelasyon analizleri yapılacaktır. Bu analizlerin sonucunda mevcut sürecin yeterliliği, girdi değişkenleri ve çıktı değişkeni arasındaki lineer ilişkinin varlığı ve derecesi hakkında bilgi sahibi olunacaktır.

#### 2.4.3.2 Süreç Yeterliliği Analizi

Süreç yeterliliği, istatistiksel bir ölçüt olup müşteri beklentilerine (şartname limitleri, spesifikasyonlar) göre bir sürecin ne kadar değişkenlik gösterdiğini özetler (Montgomery, 2001). Bu aşamada dikkate alınan parametreler  $c_p$  ve  $c_{pk}$  indisleridir.  $C_p$  değeri, şartname limitleri ile proses kontrol limitleri arasındaki ilişkiyi gösterir. “USL” üst spesifikasyon limitini, “ASL” alt spesifikasyon limitini ve “ $\sigma$ ” standart sapmayı ifade edecek şekilde  $c_p$  indisi 2.18 eşitliği ile hesaplanır.

$$c_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma} \quad (2.18)$$

$$c_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (2.19)$$

$$c_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (2.20)$$

$$c_{pk} = \min [c_{pu}, c_{pl}] \quad (2.21)$$

$C_{pk}$  değeri ise, proses ortalamasının hedef değere göre konumunu gösterir.  $C_{pk}$  değeri 2.19-2.21 eşitliklerindeki gibi hesaplanır (Serper, 1996).  $C_p$  ve  $c_{pk}$  değerlerine göre sürecin yeterliliği hakkında karar vermede Çizelge 2.2’de verilen değerler (“Yeterlilik İndeksi Değeri” isimli sütun) kullanılır. Sonuç olarak,  $c_p$  ve  $c_{pk}$  değerlerinin 1,33’den büyük olması durumunda proses yeterliliği sağlanmaktadır.

**Çizelge 2. 2** Yeterlilik İndeksi Değerlendirme Kriterleri (Montgomery, 2001)

Yeterlilik İndeksi Değeri	Açıklama
$C_p > 1,33$	Proses yeterli
$1 < C_p < 1,33$	Proses kısmi yeterliliğe sahiptir ve yakından izlenmelidir
$C_p < 1$	Proses yetersiz
$C_{pk} > 1,33$	Proses şartname limitlerini karşılamaktadır
$1 < C_{pk} < 1,33$	Proses ortalaması hedeften uzaklaştıkça hata yüzdesi artacağından, süreç yakından izlenmelidir.
$C_{pk} < 1$	Proses, şartname limitlerini karşılamamaktadır.



### 2.4.3.3 Regresyon ve Korelasyon Analizi

Regresyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi incelemek ve istatistiksel tahmin yapabilmek amacıyla oluşturulan istatistiksel bir analizdir (Montgomery, 2003).

Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında kurulan istatistiksel modellerle, bağımsız değişkenlerin belirli değerleri için bağımlı değişkenlerin alacağı değeri tahmin etme yöntemidir. Bir bağımlı değişken ( $y$ ) ile bir bağımsız değişken ( $x_j$ ) arasındaki bağıntıyı inceleyen yonteme basit regresyon, bir bağımlı değişken ( $y$ ) ile iki ya da daha fazla bağımsız değişken ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ ) arasındaki bağıntıları inceleyen yonteme ise çoklu regresyon yontemi adı verilmektedir (Özdamar 1999).

Regresyon analizi uygulamak için gereken ön şartlar arasında en önemlisi, verilerin istatistiksel olarak anlamlı ölçüm hatalarına sahip olmamasıdır (Serper, 1996).

Regresyon analizinde, konunun anlaşılması bakımından öncelikle basit doğrusal regresyon modelleri tanıtılacak, daha sonra çoklu regresyon ve matris yapısı tanıtılacaktır. Modelleme tanıtıldıktan sonra genel matris çözümü, varyans analizi ve elde edilen regresyon modelinin varsayımlarının geçerlenmesi konuları inceleyecektir. Doğrusal modellerin açıklanmasının amacı, ikinci derece veya daha üst dereceli ilişkilerin çeşitli transformasyonlar yardımı ile doğrusal modellere indirgenbilmesidir (Montgomery, 2001).

#### Basit Doğrusal Regresyon Yöntemi

Basit doğrusal regresyon modeli, tek bir serbest değişken içeren stokastik bir modeldir. Bu modelde, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkinin gösterimi 2.22 denkleminde verilmektedir.

$$y = X \cdot \beta \oplus \varepsilon \quad (2.22)$$

Bu modelde;  $y$ ,  $(n \otimes 1)$  boyutlu bağımlı değişkenin gözlem sonuçlarını içeren vektörü;  $X$ ,  $(n \otimes (p \oplus 1))$  boyutlu bağımsız değişkenin gözlem sonuçlarını içeren matrisi;  $\beta$ ,  $((p \oplus 1) \otimes 1)$  boyutlu katsayılar vektörü;  $\varepsilon$ ,  $(n \oplus 1)$  boyutlu hata vektörüdür.

### Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli

Diğer bir regresyon analiz yöntemi ise çoklu doğrusal regresyondur. Araştırma ve çalışmaların çoğu çeşitli faktörlere bağlı olarak meydana gelmektedir. Basit regresyonda analizinde bir olayı etkileyen sadece bir faktöre yer verilir. Oysa gerek sosyal, gerek ekonomik, gerek psikolojik v.b. olaylar çok sayıda faktöre bağlı olan olaylarla birlikte değişim göstermektedirler. Bu nedenle basit regresyon yetersiz kalmaktadır (Serper, 1996).

Çoklu doğrusal regresyonda  $y$  ile  $x_1, x_2, \dots, x_p$  arasındaki ilişki 2.23 denklemindeki gibidir:

$$y = \beta_0 \oplus \beta_1 \cdot x_1 \oplus \beta_2 \cdot x_2 \oplus \dots \oplus \beta_n x_n \oplus \varepsilon \quad (2.23)$$

Tahmin edilen regresyon doğrusu ise 2.23 denklemindeki gibidir:

$$y = b_0 \oplus b_1 \cdot x_1 \oplus b_2 \cdot x_2 \oplus \dots \oplus b_n x_n \oplus e \quad (2.24)$$

Sistemin matematiksel ifadesi denklem 2.25'te verilmektedir. Matris gösterimi Şekil 2.2'de verilen sistemin çözümü sonucu hesaplanan regresyon denklemi katsayıları eşitlik 2.26'da verilmektedir.

$$y = X \cdot \beta \oplus \varepsilon \quad (2.25)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdot & \cdot & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdot & \cdot & x_{2p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdot & \cdot & x_{np} \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_n \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Şekil 2. 2 Çoklu regresyonda matris yapısı

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} \cdot (X'Y) \quad (2.26)$$

Tahmini verilerin hesaplanması için kullanılacak formül eşitlik 2.27'de verilmektedir.

$$\hat{y} = X \hat{\beta} \quad (2.27)$$

Hata terimleri eşitlik 2.28 ile hesaplanır.

$$\varepsilon = y - \hat{y} \quad (2.28)$$

Çoklu regresyon denklemi elde edildikten sonra, çeşitli hipotezler test edilebilir. Öncelikle, varyans analizi yapılarak, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanıp açıklanamadığı, diğer bir değişle, bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler kümesi arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı test edilir. F dağılımı yardımıyla yapılan bu testte  $H_0$  hipotezi, tüm regresyon katsayılarının sifıra eşit olduğu ( $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$ ) şeklinde kurulurken,  $H_1$  hipotezi, en az bir  $\beta_i$  nin sıfırdan farklı olduğu şeklinde kurulur (Montgomery, 2001).

Bilindiği gibi, F değerini bulabilmek için çeşitli kareler toplamları, serbestlik dereceleri ve kareler ortalamalarına gereksinim duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan verilerin hesaplanması için kullanılacak formüller Çizelge 2.3'te verilmiştir.

**Çizelge 2. 3** Çoklu regresyonda varyans analizi tablosu

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri
Regresyon	$SS_R = \hat{\beta}' X' y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$	k	$MS_R = SS_R \div k$	$MS_R \div MS_E$
Hata	$SS_E = y' y - \hat{\beta}' X' y$	$n - k \oplus 1$	$MS_E = SS_E \div (n - k \oplus 1)$	
Toplam	$SS_T = y' y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$	n-1		

F istatistikleri hesaplandıktan sonra  $F_{\text{kritik}}$  değeri ile karşılaştırılır. Test istatistiği kritik değerden büyük ise  $H_0$  reddedilir. Bunun anlamı ise regresyon denkleminin katsayılarının en az birinin anlamlı olmasıdır.

Bu çalışma tamamlandıktan sonra modelin çoklu belirlilik katsayısı olan  $R^2$ , 2.29 denklemi kullanılarak hesaplanır.  $R^2$  değeri, bağımlı değişkendeki değişimlerin yüzde kaçının regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenler ile açıklanabileceğini gösterir.

$$R^2 = SS_R \div SS_T \quad (2.29)$$

2.29 denkleminin matematiksel kurgusu gereği, regresyon modeline eklenen bağımsız değişken sayısı arttıkça, yeni eklenen değişkenin süreç çıktısına etkisi olmasa bile  $R^2$  değeri artar (Serper, 2004).

Yanlış yorumlamaya sebep olabilecek bu sorunu önlemek için belirlilik katsayısını serbestlik derecesini de hesaba katarak düzeltmek gerekir. Düzeltmiş belirlilik katsayısının ( $R^2_d$ ) hesabı, denklem 2.30'da verilmektedir (Montgomery, 2001).

$$R^2_d = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n-1}{n-k} \quad (2.30)$$

Hipotez testleri sonucu, regresyon denkleminin geçerliliği onaylandıktan sonra hata terimleri ile ilgili aşağıdaki varsayımların geçerlenmesi gerekir (Montgomery, 2003):

- Hata terimleri ( $\epsilon_i$ ), ortalaması 0 olan normal bir dağılıma uymaktadır.
- Hata terimleri, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin değişen değerlerinde herhangi bir pattern göstermemektedir.
- Bağımsız değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır.

Hata terimleri, 2.28 denkleminde göre hesaplandıktan sonra küçükten büyüğe sıralanarak, 2.17 de verilen test istatistiği hesaplanır ve verilerin normal dağılıma uyup uymadığı seçilen güvenilirlik düzeyine göre belirlenir (Anderson ve Darling, 1952).

Hata terimleri ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki, hata terimlerinin apsis, bağımsız değişkenlerin ise ordinat ekseninde çizildiği bir grafikte belirlenir. Son olarak bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki lineer ilişkinin varlığı ve şiddetini analiz etmek için korelasyon analizleri yapılır. Korelasyon analizi ile ilgili teorik bilgi verilerek bu analizin önemi vurgulanacaktır.

### **Korelasyon Analizi**

İki değişkenin doğrusal olarak birlikte değişmesinin derecesi “**r**” simgesi ile gösterilen korelasyon katsayısı ile ölçülür (Serper, 2004). Korelasyon katsayısı, iki değişkenin birlikte değişmelerinde ne dereceye kadar uygunluk olduğunu belirler fakat hiçbir şekilde neden-sonuç ilişkisi kurmaz. Değişkenler arasında neden-sonuç ilişkisi bulunduğu ise korelasyon katsayısı yüksek çıkar (Montgomery, 2003).

Değişkenlerin ölçü birimine bağlı olmayan korelasyon katsayısı, -1’den küçük olamayacağı gibi, 1’den de büyük olamaz ( $-1 \leq r \leq 1$ ).

Pozitif işaretli korelasyon katsayısı, değişkenlerden birinin değeri artarken (azalırken) diğerinin değerinin de arttığını (azaldığını) gösterir. Negatif işaretli korelasyon katsayısı ise değişkenlerden birinin değeri artarken (azalırken) diğerinin değerinin azaldığını (arttığını) gösterir. “ $r=0$ ” olduğunda, değişkenler arasında doğrusal ilişki bulunmadığı söylenir. Korelasyon katsayısının  $\oplus 1$  değerine eşit olması, pozitif tam doğrusal ilişkinin, -1 değerine eşit olması da negatif tam doğrusal ilişkinin varlığını ortaya koyar. Değişkenler arasındaki ilişki kuvvetlendikçe, r değerinin mutlak değerce 1’e yaklaşacağı, ilişki zayıfladıkça da r değerinin mutlak değerce 0’a yaklaşacağı açıktır ( Serper, 2004).

Korelasyon katsayısı 2.31’de verilen denklem ile hesaplanır.

$$r = \frac{\sum x_t \cdot y_t}{\sqrt{\sum x_t^2 \cdot \sum y_t^2}} \quad (2.31)$$

Tek bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında yapılacak test için 2.31 denklemi kullanılır. Basit korelasyon katsayısının karesi olan belirlilik katsayısı, yorumlama açısından daha elverişlidir (Montgomery, 2003).

Belirlilik katsayısı daha çok, birden fazla bağımsız değişkene sahip olan modeller için kullanıldığından, bu değer hesaplanması için verilen denklem (2.32) çoklu regresyon denklemleri için kullanılan denklemdir.

$$R^2 = \frac{b \cdot \sum x_t \cdot y_t \oplus c \cdot \sum z_t \cdot y_t \oplus d \cdot \sum v_t \cdot y_t \oplus \dots}{\sqrt{\sum y_t^2}} \quad (2.32)$$

Çoklu belirlilik katsayısının anlamlı olup olmadığı, F testi yardımıyla incelenebilir.

$H_0$  hipotezi, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal ilişki olmadığını ( $\rho^2=0$ ), alternatif hipotez ise doğrusal ilişkinin varlığını savunur.  $R^2$  istatistiğinin kanıt olarak kullanıldığı bu teste başvurulduğunda; n, örneklem hacmini ve k, tahmin edilen parametre sayısını göstermek üzere test istatistiği 2.33 denklemi kullanılarak hesaplanır (Serper, 2004).

$$\text{Test istatistiği} = \frac{R^2 \div (k - 1)}{(1 - R^2) \div (n - k)} \quad (2.33)$$

2.33 formülü ile hesaplanan test istatistiği, belli bir anlamlılık düzeyine, ayrıca “ $v_1=k-1$ ” ve “ $v_2=n-k$ ” serbestlik derecelerine göre hesaplanan kritik F değeri ile kıyaslanır. Hesaplanan “F” istatistiği, kritik değerden büyük çıktığında, söz konusu çoklu belirlilik katsayısının anlamlı bir bağlantıyı ifade ettiği, yani bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasında doğrusal ilişki olduğu şeklinde yorum yapılır (Montgomery, 2001).

Korelasyon analizi de tamamlandıktan sonra kritik girdi değişkenleri, yeterlilik analizleri ve korelasyon analizleri sonuçları değerlendirilerek elimine edilir ve deneysel tasarımda kullanılacak faktörler belirlenir. Bu aşamadan sonra iyileştirme aşamasına geçilir (Montgomery, 2001).

#### 2.4.4 İyileştirme Aşaması

Bu aşama, çıktıları optimize etmek, hataları ve değişkenliği indirmek/ elimine etmek için iyileştirmeleri tanımlar. Çıktı üzerinde etkisi olan  $x$ 'leri tanımlar,  $y = f(x)$  ilişkisini belirtir ve yeni sürecin işleme şartlarını istatistiksel olarak geçerli kılar. Bu basamakta problemin temel nedenlerini ortadan kaldıracağı iddia edilen çözümler denenir ve uygulamaya konulur. Bu çözümler daha iyi bir tahmini, daha iyi bir

programlamayı, daha iyi bir prosedürü ya da daha iyi bir ekipmanı içerebilir. Bu aşamada ayrıca sonuçların bir sonraki aşamada nasıl değerlendirileceğini açıklayan bir plan oluşturulmalıdır.

Bu aşamada tasarlanmış deneyler, regresyon analizleri, varyans analizleri (ANOVA), benzetim gibi araçlar kullanılarak  $y = f(x)$  ilişkisi kurulmaya çalışılır.  $x$ 'ler ve  $y$ 'ler arasındaki ilişki optimize edildikten sonra yeni süreç yeterliliği tespit edilir, fayda maliyet analizleri gerçekleştirilir. Deney tasarımı, değişkenler arası ilişkiyi belirleme ve süreci optimize etme konusunda yararlanılacak temel teknik olduğundan ayrı bir bölümde incelenecektir.

Bu aşama problemin ortadan kaldırılacağı ya da etkilerinin azaltılacağı andır. Ancak akıllardaki çözümler hemen uygulanmadan bundan önceki üç basamaktan elde edilen sonuçlar gözden geçirilmelidir. Bu gözden geçirme sonucunda problem, herkes tarafından anlaşılabilir derecede net ve ayrıntılı olarak tanımlanmış, mevcut imkân ve kaynaklarla çözülebilecek niteliğe sahip, giderilmesi halinde şirkete büyük yarar sağlayacak, çözümüne yardımcı olacak doğru verilere sahip ve problemin temel nedenleri ve bunların nasıl giderileceği doğru olarak belirlenmiş ise eldeki çözümler denenmelidir.

#### **2.4.5. Kontrol Aşaması**

Altı sigma modelinin kontrol aşaması, bir önceki aşamada gerçekleştirilen iyileştirmenin tesadüfi olmadığına ortaya konulmasıdır. Bu amaçla yapılan “iyileştirmenin sürekliliğinin izlenmesi” ile “dokümantasyon ve kontrol planları”, vb. araçlardan yararlanır. Bu aşamanın en temel amacı, proses çıktılarının oluşumunu sağlayan anahtar girdilerin sürekliliğini sağlamak ve kontrol etmektir. Bu amaçla, öncelikle girdi ve çıktı değişkenlerinin proses yeterliliklerini belirlemek için kontrol planlarından, girdi ve çıktı değişkenlerine ilişkin kontrol grafiklerinden ve proses yeterlilik analizlerinden yararlanır.

Böylece, prosese ilişkin kontrol planı, kontrol grafikleri,  $z$  değerleri elde edilmiş olur. Ayrıca, hata veya uyumsuzluk seviyesinin azalması durumunda, temel değişkenlik nedenleri belirlenmiş, yapılan iyileştirmenin nasıl korunacağı anlaşılmış olur. Kuşkusuz, projeye ilişkin kazanımlar ile finansal doğrulama yapıldıktan ve müşterilere yönelik takım toplantısı düzenlendikten sonra proje kapatılır. Genel olarak Altı Sigma

teknığının aşamalarında kullanılan metotlar ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2.4'te özetlenmektedir.

**Çizelge 2. 4** Altı Sigma Metodolojisinde kullanılan teknikler ve elde edilen sonuçlar

Faz	Kullanılan araç/metot	Elde edilen sonuçlar
Tanımlama	Beyin Fırtınası	Gerçek müşteriler
	Sebeup Sonuç Diyagramı	Müşteri ihtiyacına dair veriler
	Süreç Haritalama	Problem ifadesi
	Mevcut Durum FMEA	Problem ifadesi
	Sebeup Sonuç Matrisi	Proje amacı
Ölçme	Süreç Haritalama	Belirlenen anahtar ölçümler
	Sebeup Sonuç Diyagramı	Mevcut durumu gösteren metrikler
	FMEA	Tanımlanan arızalar
	Gage R&R	Veri toplama planı, güvenilirliği
	Grafiksel Teknikler	Ölçüm sisteminin analizi
Analiz	Süreç Haritalama	Detaylı mevcut durum süreç haritası
	Grafiksel Teknikler	Değişkenlik kaynakları ve öncelik sıralamaları
	Çok Değişkenli Çalışmalar	Önemli anahtar değişkenler
	Hipotez Testleri	Rafine edilmiş problem ifadesi
	Korelasyon	İyileştirme potansiyelleri
	Regresyon	Girdi-çıkıtı ilişkisi, kritik girdilerin belirlenmesi
İyileştirme	Süreç Haritalama	Alternatif sürecin tasarımı
	Deneysel Tasarım	En iyi alternatifin uygulanması
	Simülasyon	Olması gereken süreç adımları
	Optimizasyon	İyileştirmelerin gerçekleşmesi, fayda maliyet analizleri, Pilot uygulama, değişiklikler için iletişim planı
Kontrol	Kontrol Planları	İyileştirilmiş sürecin ölçüm planı
	İstatistiksel Proses Kontrol	Projenin dokümantasyonu
	Ölçüm Kontrol Planı	Değişim potansiyelleri
	Hata Önleme Teknikleri	Denetleme planı
	Önleyici Bakım	Uyum için değişecek diğer sistemler

## 2.8. Deneysel Tasarım

### 2.8.1 İstatistiksel Tasarımın Tarihsel Gelişimi

İstatistiksel deneysel tasarımın, modern gelişiminde dört dönem vardır. Tarım alanında 1920'li yıllar ve 1930'lu yılların başında Sir Ronalt A. Fisher'in çalışmaları öncülük eder. Fisher tarımsal sistemlerde analizi güçleştiren verilerin, denemeler yoluyla kusurlarının fark edileceğini görmüştür. Birçok alandaki araştırmacı ve bilim adamlarının ortak çalışmasıyla, deneysel tasarımın üç temel prensibi; rassallık, tekrarlama, bloklama kavramlarını geliştirmiştir (Montgomery 2001).



Fisher, varyans analizi ve faktöriyel tasarım kavramını içeren deneysel tasarım araştırmalarını istatistiksel düşünce ve prensiplerine, ilk olarak sistematik olarak geliştirmiştir. Endüstri alanındaki istatistiksel tasarım uygulamaları 1930’lu yıllarda başlamış, 1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilen “Tepki Yüzeyi Metodolojisi” istatistiksel tasarım alanında yeni bir dönemin başlangıcı olmuştur. Yapılan çalışmalar, endüstriyel alanda yapılan denemelerin tarımsal uygulamalardan iki açıdan farklılaştığını ortaya koymuştur.

Bunlar;

1) Tepki değişkeni genellikle gözlemlenebilmiştir.

2) Denemeci, bir sonraki denemenin planlanmasında kullanılabilcek çalışmaların bir küçük grubundan önemli bilgileri hemen öğrenebilir (Box ve Draper, 1987).

Sonraki otuz yıl boyunca tepki yüzeyi metodolojisi ve diğer tasarım teknikleri kimya ve işlem endüstrilerinde daha çok araştırılmış ve geliştirilmiştir. George Box bu hareketin öncüsüdür. Bununla beraber bitki ve imalat işlemleri alanlarındaki istatistiksel tasarım uygulamaları geniş alana yayılmamıştır. İstatistiksel tasarım denemelerinin uygulamalarını destekleyen istatistiksel yazılımlarının ve hesaplama araştırmalarının olmaması, mühendisler ve diğer işlem uzmanları için yöntemler ve temel istatistiksel kavramlardaki yetersiz bilgiler bunun bazı nedenleridir (Montgomery 2001).

İstatistiksel tasarımın üçüncü dönemi Western Enstitüsündeki kalite gelişimiyle ilgili yapılan çalışmalarla 1970’li yılların sonunda başlamıştır. Genichi Taguchi, deneysel tasarımların kullanımında ve bu alana olan ilginin artmasında önemli etkiye sahiptir. Taguchi güçlü parametre tasarımı teriminin ne olduğunu ya da,

1. Kontrolü zor olan çevresel faktörlere ve diğer faktörlere duyarlı işlemleri yapmayı,

2. Parçalardan iletilen değişime duyarlı üretimi yapmayı,

3. Eşzamanlı sürede değişkenlik azaltılırken, arzu edilen değer için ortalama gücün işlem değişkenlerinin seviyelerini bulmayı, kullandığı deneysel tasarımlarda desteklemiştir (Taguchi, 1987).

Taguchi, bu problemleri çözebilmek için, bazı uydurma istatistiksel yöntemlerle kesirli faktöriyel tasarımları ve ortogonal sıralamaları önermiştir. Taguchi’nin tezinin en

az üç olumlu sonucu vardır. Öncelikle, düzenlenen denemeler otomotiv ve sprey tüpü imalatı, elektronik ve yarı iletkenler başta olmak üzere pek çok farklı endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. İkinci olarak, istatistiksel tasarımın dördüncü dönemi başlamıştır (Pignatiello ve Ramberg, 1992).

Bu dönem, araştırmacıların ve uygulayıcıların genel ilgilerinin yenilenmesi ve endüstri dünyasındaki deneysel problemlere karşı yapılan pek çok yeni ve faydalı yaklaşımın gelişimini içerir. Taguchi'nin teknik yöntemleri, mühendislik kavramlarına pratikte daha verimli ve etkili olarak girmesini sağlamıştır. Üçüncü olarak ise, istatistiksel deneysel tasarımdaki resmi eğitim, üniversitedeki pek çok mühendislik programının bir parçası haline gelmiştir (Montgomery 2001).

### **2.8.1 Deneysel Tasarımın Dayandığı Temel Prensipler**

Denemelerin etkili bir şekilde uygulanabilmesi için, denemenin planlamasında bilimsel bir yaklaşım tarzı kullanılmalıdır. Denemelerin istatistiksel tasarımı, deneme planlama işlemini belirlemek içindir. Böylece istatistiksel yöntemlerle analiz edilebilecek uygun veri toplanır, geçerli ve nesnel sonuçlar sağlanır. Veriden anlamlı sonuçlar çıkarmak için, deneysel tasarımlarda istatistiksel yaklaşım gereklidir (Montgomery 2001).

Problem deneysel hatalara eğilimli veri içerdiği zaman, istatistiksel yöntemler, analiz için tek nesnel yaklaşımdır. Bu nedenle herhangi bir deneysel problem için, denemenin tasarımı ve verinin istatistiksel analizi oldukça ilgilidir. Çünkü analiz yöntemi doğrudan kullanılan tasarıma bağlıdır.

Deneysel tasarımın dayandığı temel prensipler, İngiliz bilim adamı R. A. Fisher tarafından geliştirilmiştir. Bu prensipler: tekrarlama, rassallık ve bloklamadır. Etkili denemelerin düzenlenmesi, bu prensiplerin dayandığı esasların iyi kavranmış olmasına bağlıdır (Fisher, 1966).

Deneysel tasarımın dayandığı prensiplerden tekrarlamanın iki önemli özelliği vardır. Birincisi, denemeciye deneysel hatayı tahmin etmesini sağlamasıdır. Hatanın bu tahmini verideki gözlemlenmiş farklılıkların istatistiksel olarak farklı olup olmadığını belirleyebilir. İkincisi ise denemedeki bir faktörün etkisini tahmin etmek için kullanılırsa, tekrarlama denemeciye bu etkiyle ilgili daha kesin sonuçlar elde etmesini sağlar. Tekrarlama ile tekrar edilmiş ölçümler karıştırılmamalıdır. Tekrarlamadan aynı

faktörü tekrar tekrar ölçmeyi değil, esas denemenin tekrarını kastediyoruz. Rassallık, deneysel tasarımda istatistiksel yöntemlerin kullanılmasında oldukça önemlidir. Tesadüf ile hem deneysel materyallerin tahsisi hem de içindeki bireysel işlemlerin ya da denemeler dizisinin tesadüfî karşılaştırılmış uygulama sırasını kastediyoruz. İstatistiksel yöntemler gözlemlerin, değişkenlere tesadüfî dağıtılmış olmasını gerektirir.

Bloklama ise ilgili faktörler arasındaki ilişkiyi karşılaştırmada kullanılan bir tasarım tekniğidir. Bloklama, denemecinin doğrudan ilgili olmadığı, fakat deneysel tepkilerde etkili olabilecek “ilgisiz (nuisance) faktörlerden” geçebilecek değişkenliği azaltmak ya da elemek için kullanılır. Bloklama daha homojen gruplarla denemelerin yapılmasıdır. Böylece deneysel hatanın küçülmesi sağlanacaktır. Tekrarlama, rassallık prensibi ile ilişkilidir ve geçerli bir deneme hatasının hesaplanmasını sağlamaktadır. Yani, geçerli bir deneme hatasının hesaplanabilmesi denemelerin tekrarlı olarak yürütülmesini ve deneme konularının deneme materyaline tesadüfî olarak dağıtılmış olmasına bağlıdır. Diğer yandan tekrarlamayla birlikte, denemeyi bloklama yaparak yürütmek, deneme hatasını küçülmesinde rol oynayacaktır. Kısacası, modern deneme tasarımlarından söz edilebilmesi, rassallık prensiplerine uyulmasına, denemelerin mutlaka tekrarlamalı olarak yürütülmesine ve denemeyi bloklama yaparak uygulamaya bağlıdır (Montgomery 2001).

### **2.8.2 Deneysel Tasarımın Ana Hatları**

İstatistiksel yaklaşımı, deneysel tasarımda kullanmak için denemede yer alan herkesin önceden tam olarak ne çalışacağı, verinin nasıl toplanacağı ve bu verilerin nasıl analiz edileceği hakkında nitelikli bir bilgiye sahip olunması gerekir. Tavsiye edilen işlemin taslağı aşağıda belirtilmektedir (Coleman ve Montgomery, 1993):

- 1) Problemin tanımlanması ve özetlenmesi
- 2) Faktörlerin, seviyelerin ve sıranın seçimi
- 3) Tepki değişkeninin seçimi
- 4) Deneysel tasarımın seçimi
- 5) Deneyi uygulama

## 6) Verinin istatistiksel analizi

### 7) Sonuçlar ve tavsiyeler

**1) Problemin tanımlanması ve özellikleri:** Bu belki oldukça açık bir nokta gibi gözükebilir fakat pratikte çoğunlukla ne mevcut denemeyi gerektiren bir problemi fark etmek ne de bu problemin açık ve genellikle kabul edilmiş bir tanımını geliştirmek o kadar kolay değildir. Denemenin stratejileri hakkındaki bütün fikirleri geliştirmek gerekir. İlgili bütün bölümlerden; mühendislik, görevli personelden (genellikle en çok fikre sahip ve en çok göz ardı edilenler) girdi talep etmek önemlidir. Bu sebeple denemelerin tasarımında takım yaklaşımı tavsiye edilir.

Genellikle denemede yer alan belirli problemlerin ve soruların bir listesini hazırlamak, çok yardımcı olur. Problemin tam bir tanımı sıklıkla problemin son çözümünde ve üzerinde çalışılan olayın daha iyi algılanmasında önemli ölçüde katkıda bulunur.

Problem tanımlanmasının bu basamağında genellikle birçok mühendis ve bilim adamı tek bir kapsamlı denemeyle, bütün soruların cevaplandırılmayacağını bundan dolayı daha ufak denemeler dizisinin kullanıldığı dizesel (sequential) yaklaşımın daha iyi bir strateji olduğunu kabul ederler (Montgomery 2001).

**2) Faktörlerin, seviyelerin ve sıranın seçimi:** Bir işlemin ya da sistemin çalışmasını etkileyebilecek faktörleri ele aldığımızda, denemeci genellikle bu faktörlerin ya olası tasarım faktörleri ya da nuisance olarak sınıflandırabilir. Olası tasarım faktörleri, denemecinin bir denemede değiştirebileceği faktörlerdir. Birçok olası tasarım faktörleri ve bunların faydalı olan sınıflandırmaları vardır. Bazı faydalı sınıflandırmalar; tasarım faktörleri (design factors), sabit-tutulan faktörler (held-constant factors), ve değiştirilebilir (allowed-to-vary factors) faktörlerdir. Tasarım faktörleri, deneme içindeki çalışmalar için seçilmiş faktörlerdir. Sabit-tutulan faktörler, denemenin amacına göre belirli seviyede tutularak, tepki üzerinde bazı etkilerin kullanabileceği değişkenlerdir (Coleman ve Montgomery, 2003).

Değiştirilebilir faktörler ise tasarım faktörleri deneysel birimler ya da materyallerde genellikle homojen olmayan koşullarda uygulanır. İlgisiz faktörler, göz

ardı edilemeyecek geniş etkilere sahip faktörlerdir. Bunlar, kontrol edilebilen, kontrol edilemeyen ve gürültü faktörleri olarak sınıflandırılabilir. Kontrol edilebilen ilgisiz faktörlerin seviyeleri denemeci tarafından ayarlanabilir. Örneğin, denemeci denemeyi düzenlerken bir ham materyalin farklı bölümlerini ya da haftanın farklı günlerini seçebilir. Genellikle bloklama kontrol edilebilen gereksiz faktörlerin kullanımında faydalıdır. Eğer bir ilgisiz faktör denemede kontrol edilemiyor fakat ölçülebiliyor ise bu analiz işlemine kovaryans analizi denir (Montgomery 2001).

Bir faktör işlem içinde doğal ve kontrol edilemez biçimde değişiyor ise denemenin stratejileri için kontrol edilebilir. Buna gürültü faktörü denir. Böyle durumlarda bizim amacımız gürültü faktörlerinden iletilen değişkenliği azaltan kontrol edilebilir tasarım faktörlerini ayarlamaktır. Buna “güçlülük çalışma işlemi” ya da “güçlü tasarım problemi” denir. Denemeci tasarım faktörlerini seçtikten sonra bu faktörler üzerinde değişebilecek sıraları ve işlemlerin yapılabileceği belirli seviyeleri seçmelidir. Ayrıca bu faktörlerin arzu edilen değerlerde nasıl kontrol edilebileceğine ilişkin düşünceler vermelidir (Fisher, 1966).

**3) Tepki Değişkeninin Seçimi:** Tepki değişkeninin seçiminde denemeci bu değişkenin çalışılan işlem hakkında faydalı bilgi sağladığından emin olmalıdır. Genellikle ölçülmüş özelliklerin ortalama ya da standart sapma (her ikisi birden de olabilir) tepki değişkeni olacaktır. Ölçme aletinin kapasitesi (ya da ölçüm hatası) da önemli bir faktördür. Eğer ölçme aletinin kapasitesi yetersiz ise deneme ile fark edilecek büyük faktör etkileri bulunacaktır. Ya da ek tekrarlar gereksinim duyulacaktır. Ölçme aletinin zayıf olduğu bazı durumlarda her bir deneysel birimi birkaç kez ölçmeli ve bunları gözlemlenmiş tepki gibi tekrarlanmış ölçümlerin ortalamasını kullanmalıdır. Deneme yürütülmeden önce ilgili tepkinin tanımlanması ve bunların nasıl ölçüleceği konusu oldukça önemlidir (Montgomery 2001).

**4) Deneysel Tasarımın Seçimi:** Tasarımın seçimi: Tekrar sayısının göz önünde bulundurulması, deneysel denemeler için uygun işlemler sırasının seçimi ve bloklama ya da diğer tesadüf sınırlandırmalarını içerip içermeyeceğine karar vermeyi içerir. Ayrıca deneysel tasarımın bu aşamasında desteklenebilecek birçok istatistiksel yazılım paketi vardır. Birçok durumda bir bilgisayar tavsiyesine güvenmektense farklı alternatifleri görmek tercih edilir. Yeterli olmayan bir deneysel tasarım ile hipotezler

istenilen ölçüde kontrol edilemezler. Bir araştırma alanında bir hipotezi reddetmeden önce, yürütülen denemenin gerçek bir kontrolü sağlayıp sağlamadığını anlayabilmek için, onun yapılışı ve yürütülüşü gözden geçirilmelidir. Diğer yandan, bir deneme çok dikkatli planlanmış olsa bile yararsız bir hipotezin kontrolünden doğacak sakıncaları gideremez. Ayrıca, yapılan bir hatanın bundan sonra yapılan sıhhatli ölçümlerle giderilebileceğine inanmakta yanlıştır. Örneğin, ekimde ve gübrelemede yapılan bir hata, hasatta verimlerin sıhhatli ölçülmesiyle giderilemez (Montgomery 2001).

**5) Denemeyi Uygulama:** Denemeyi yürütürken her şeyin plan doğrultusunda yapıldığından emin olmak için işlemi dikkatlice gözlemlemek son derece önemlidir. Bu basamakta, deneysel süreçteki hatalar deneysel geçerliliği bozar. Coleman ve Montgomery, denemeyi tasarlamadan önce birkaç deneme işlemlerini ya da kılavuz (pilot) işlemlerin yardımcı olacağını önermiştir. Bu işlemler deneysel materyalin tutarlılığı, ölçüm sistemi üzerinde kontrol, deneysel hata hakkında kaba bir fikir ve bütün deneysel tekniğin pratik olarak bir ihtimalinin hakkında bilgi sağlamasıdır (Coleman ve Montgomery, 1993).

**6) Verinin İstatistiksel Analizi:** İstatistiksel yöntemler, sonuçların ve kararların daha objektif olarak analiz edilmesinde kullanılır. Eğer deneme doğru olarak tasarlanmış ve tasarıma göre uygulanmış ise istatistiksel yöntemler oldukça kolaydır. Çok ayrıntılı ve çok iş isteyen veri analizlerine yardımcı olacak tasarlanmış birçok mükemmel yazılım paketleri vardır. Programların birçoğu dördüncü basamakta seçilen deneysel tasarımını, istatistiksel analizleri doğrudan uygulayabilir (Scheffe, 1956).

Bilginin analiz ve yorumunda genellikle önemli rol oynayan basit grafikler kullanılır. Bir deneysel tasarımla bilgi analizlerinde faydalı olan, hipotez testleri ve güven aralığı tahmini yöntemleri kullanılır. Çünkü soruların birçoğunda denemeci, bir hipotez testiyle elde edeceği cevapları ister. Tepki ve önemli tasarım faktörleri arasındaki bağıntıyı ifade eden veriden sağlanan “deneysel model” denkleminin sonuçların yorumlanmasında önemlidir. Kalıntı analizi ve model yeterlilik kontrolü istatistiksel analiz tekniğinde önemlidir (Montgomery 2001).

İstatistiksel yöntemler bir faktörün (ya da faktörlerin) özel etkisini kanıtlamaz. Onlar sadece sonuçların güvenilirliği ve geçerliliğini kanıtlar. İstatistiksel yöntemlerin en önemli avantajı karar verme işleminde objektif olmasıdır. İyi bir mühendislik ya da

işlem bilgisi ve sağduyu ile birleştirilmiş istatistiksel teknikler genellikle sağlam sonuçlar verecektir (Searle, R, 1971).

**7) Sonuçlar ve Tavsiyeler:** Veri analiz edildikten sonra denemeci sonuçlar hakkında bir dizi işlem tavsiye eder ve grafiksel yöntemler verilen sonuçlarla diğerlerini karşılaştırmada faydalı olur. Bütün işlemler boyunca unutulmamalıdır ki deneme; kesin olmayan bir sistem hakkındaki hipotezlerle kesin ve açık olarak belirtilmelidir.

Uygulanan denemeler bu hipotezlerle araştırılır ve bu sonuçların üzerine yeni hipotezler kesin ve açık olarak belirtilir. Bu şekilde iteratif olarak bilgi topladığımız deneme için başlangıçtaki araştırmanın kapsamlı olması büyük bir hata olacaktır. Ancak yeterli kaynakların doğru sırayla uygulanması halinde deneme istenilen amaca ulaşabilir (Montgomery 2001).

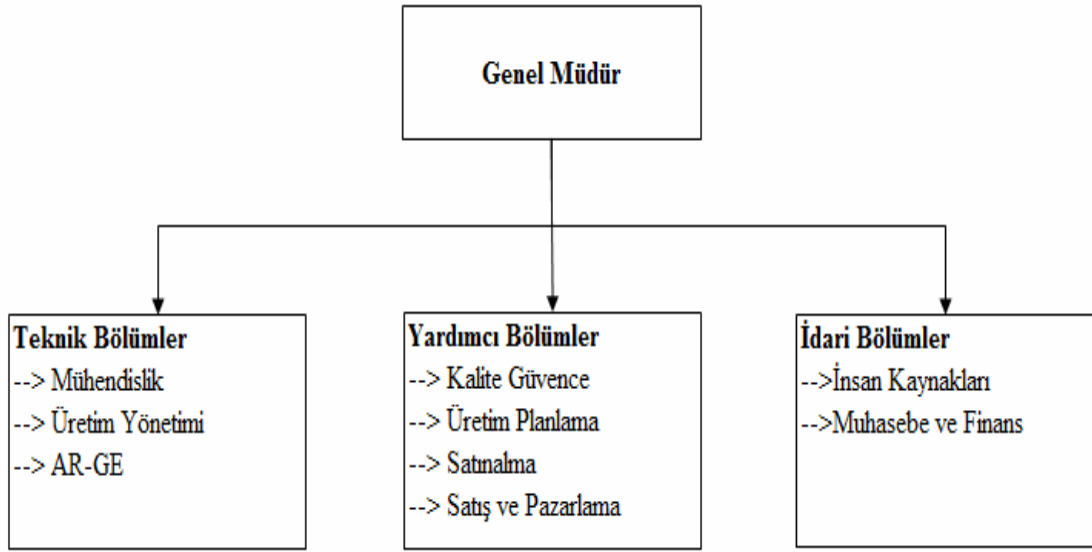
Kritik girdi faktörleri belirlendikten sonra deneysel tasarım yapılarak, çıktı faktörünü istenilen düzeyde tutmak için gerekli olan faktör seviyeleri belirlenir. İyileştirilmiş sistemin devamlılığının sağlanması için kontrol planları ve talimatlar revize edilir.

Altı Sigma metodolojisinin temelini oluşturan istatistiksel teknikler incelendikten sonra, otomotiv endüstrisinde uygulama aşamasına geçilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünden başlamak kaydıyla, yapılan uygulama anlatılacaktır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Firma Tanıtımı

A firması Bursa fabrikalarında, otomotiv sektöründe yan sanayi olarak faaliyet gösteren bir firmadır. Çalışan sayısı 4000 kişinin üzerinde olan firma, üretiminin büyük bir bölümü 30'dan fazla yurtdışı araç üretici firmanın ihtiyacını karşılamak üzere ihraç edilmektedir. Organizasyon şeması Şekil 3.1'de görüldüğü gibidir.

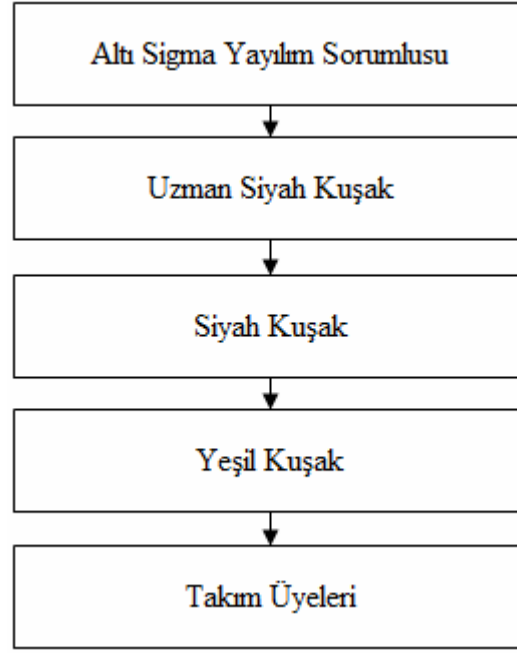


Şekil 3. 1 Firmanın organizasyon şeması

#### 3.2. Firmada Altı Sigma Uygulamaları

1998 yılında, üst yönetim tarafından alınan karar ile firma dâhilinde, Altı Sigma metodolojisi için altyapı çalışmalarına başlanmıştır. Bu çerçevede bir danışmanlık firması ile anlaşarak öncelikle üst yönetim ve sonra siyah kuşaklar ve yeşil kuşaklar bir dizi eğitim almışlardır. 1999 yılının ilk çeyreği itibarı ile firmada kurulan Altı Sigma Organizasyonu aşağıdaki şemada (Şekil 3.2) özetlenmiştir. Siyah kuşaklar özellikle ileri istatistik teknikler konusunda eğitim alırlarken, takım üyelerine verilen eğitim kalite teknikleri, temel istatistik konuları, problem çözme teknikleri gibi temel konularla sınırlandırılmıştır.





Şekil 3. 2 Firmanın Altı Sigma Organizasyonu

### 3.3. Uygulama Adımları

#### 3.3.1. Projenin Seçilmesi

Üst yönetim tarafından tespit edilen işletme amaçları aşağıda sıralanmaktadır:

- Üretim maliyetlerini azaltmak,
- Ürün kalitesini arttırmak (hatalı ürün oranının düşürülmesi),
- Verimliliği arttırmak,
- Müşteri siparişlerini ve pazar payını arttırmak,
- Çalışanların motivasyonunu yüksek tutmak.

Altı sigma projelerinin sonuçlarının bu amaçlara hizmet etmesi gerekliliği göz önünde bulundurularak firma içerisinde çalışanlara düzenlenen anket sonucunda aşağıdaki konularda potansiyel altı sigma projelerinin yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

- Üretim içi stokların dengelenmesi,
- Takım ve aparat maliyetlerinin düşürülmesi,
- Hatalı ürün oranlarının düşürülmesi

Önceliklendirme matrisi ile işletme amaçları ve potansiyel altı sigma projeleri arasında ilişki kurulmuş ve bu matrise göre hangi projenin altı sigma projesi olarak seçileceğine karar verilmiştir. Matris oluşturulurken değerlendirme 5 puan üzerinden yapılmıştır ve projelerin işletme amaçlarına katkıları değerlendirilmiştir. Bu süreçte uygulanan puanlama yöntemi aşağıda belirtilmektedir.

- 0 puan: İlgili işletme amacına katkısı yok,
- 1 puan: İlgili işletme amacına katkısı çok az,
- 2 puan: İlgili işletme amacına katkı az,
- 3 puan: İlgili işletme amacına orta düzeyde katkı,
- 4 puan: İlgili işletme amacına katkısı fazla,
- 5 puan: İlgili işletme amacına çok fazla katkı.

Bu puanlar, işletme amaçlarına verilen ağırlık puanları ve deneysel tasarım, regresyon vb. sayısal tekniklerin kullanılabilirliği açısından değerlendirilerek toplam ağırlıklı puanlar hesaplanmıştır. Bu çalışmanın uygulama kısmının konusu olarak, puanı en fazla olan projenin seçildiği söz konusu matris çizelge 3.1’de sunulmaktadır. Önem düzeyi ve değerlendirme sonuçları aralarında kısım müdürü, planlama mühendisleri, kalite mühendisleri ve mavi yakalı çalışanların bulunduğu 7 kişilik ekip tarafından yapılan beyin fırtınası oturumu sonucunda elde edilen puanlamaların ortalamaları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuç olarak hatalı ürün oranının azaltılması ile ilgili proje konusu seçilmiştir.

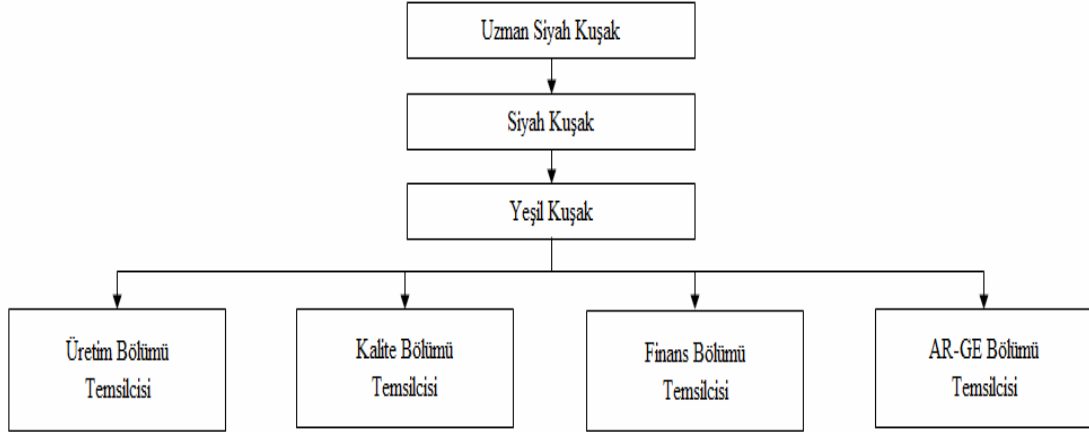
**Çizelge 3. 1** Altı sigma aday proje değerlendirme tablosu

İşletme amaçları	Önem Düzeyi	Potansiyel Altı Sigma Projeleri		
		Üretim içi stokların dengelenmesi	Takım ve aparat maliyetlerinin düşürülmesi	<i>Hatalı ürün oranının azaltılması</i>
Müşteri siparişlerini ve pazar payını arttırmak	0,20	0	0	<u>2</u>
Ürün kalitesini arttırmak	0,25	1	1	<u>5</u>
Üretim maliyetlerini azaltmak	0,25	2	4	<u>4</u>
Çalışan motivasyonunu yüksek tutmak	0,05	2	2	<u>3</u>
Verimliliği arttırmak	0,15	3	2	<u>3</u>
Sayısal tekniklerin uygulanma imkanı	0,10	3	4	<u>5</u>
<b>Ağırlıklı Toplam Puan</b>	<b>1,00</b>	<b>1,60</b>	<b>2,05</b>	<b><u>3,75</u></b>

### 3.3.2. Tanımlama Aşaması

#### 3.3.2.1. Proje Ekibinin Oluşturulması

Proje ekibinin doğru kurulması, Altı sigma projelerinin başarısında hayati öneme sahiptir. Proje ekibi uzman siyah kuşak gözetiminde, disiplinler arası katılımcıların da desteğini almaya özellikle dikkat ederek şekil 3.3'teki gibi oluşturulmuştur.



**Şekil 3. 3** Proje ekibi organizasyon yapısı

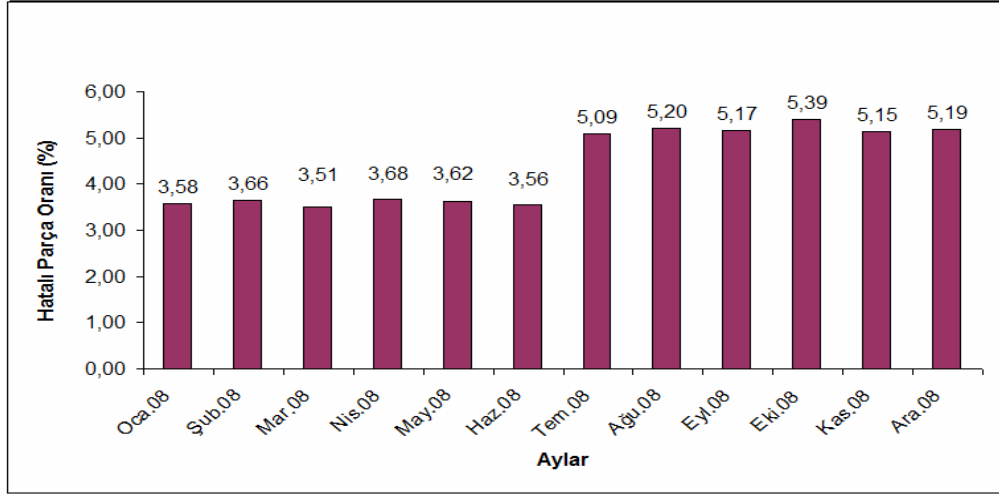
Ekip oluşturulduktan sonra yapılan ilk toplantıda müşterilerin ihtiyaçları tespit edilmiş, problemin net bir tanımı yapılarak proje tanımlama belgesi hazırlanmıştır.

#### 3.3.2.2 Problem Tanımı

2008 yılı ilk 6 aylık dönemde montaj hattından geçen p. basıncı tolerans dışı olan parça oranı toplam üretim adetlerinin % 3,6'sı kadardır. 2008 yılı ikinci 6 aylık döneminde ise bu oran % 5,2 olarak tespit edilmiştir. Ürünün p. basıncı istenen aralıklarda olmadığı zaman hattan geçen ürünler kalite birimi tarafından incelenmekte ve hata sebebi araştırılmaktadır.

Bu işlemler ise son müşteriye yapılacak sevkiyatların gecikmesine, ayıklama, inceleme ve ek işlem yükü gibi fazladan maliyet ve zaman kaybına sebep olmaktadır. Bu hatanın nihai müşteriye olan en önemli etkisi ise motorun sarsıntılı bir şekilde çalışması ve yasaların izin verdiği emisyon değerlerine ulaşılamamasıdır.

Şekil 3.4'te 2008 yılı için çalışma basıncı tolerans dışında olan parçaların aylara göre oranları yer almaktadır.



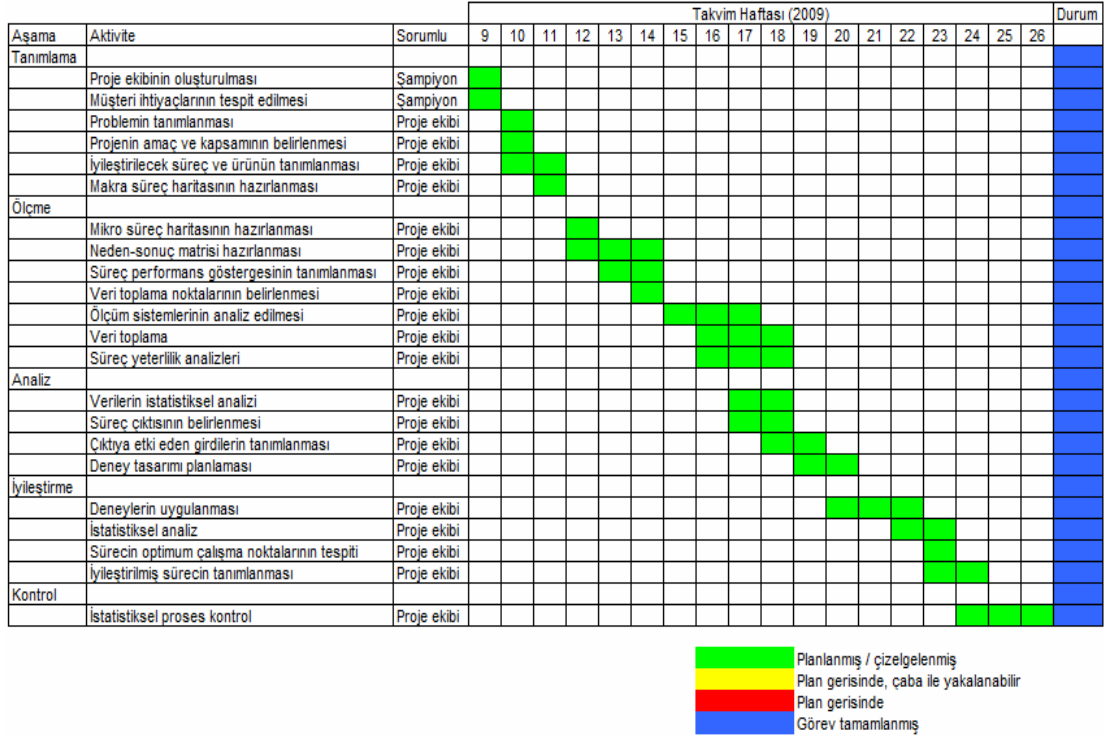
**Şekil 3. 4** *P. basıncı* tolerans dışı olan parçaların aylara göre dağılımı

Projenin hedefi, montaj hattında fonksiyon kontrolü sonucunda çalışma basıncı tolerans dışı olarak tespit edilen parça oranını 2008 yılı ilk 6 aylık verilerine göre % 50 düşürmektir (% 1,8).

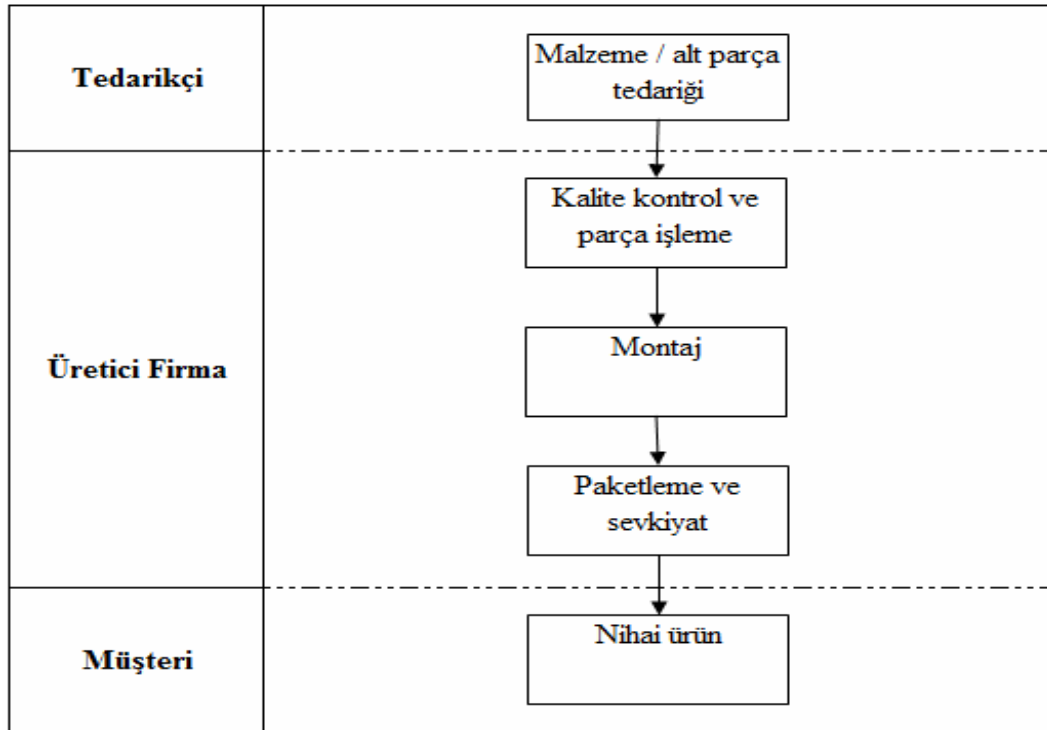
İşletmede üretilen ürün gövde ve iğne olmak üzere iki parçanın birbirine montajı ile son halini almaktadır. Proje kapsamı olarak gövde imalat hattı, *p. aparatı* imalat hattı ve son montaj hattı incelenecektir.

Proje için 4 aylık süre öngörülmüş ve proje kapsamında gerçekleştirilecek faaliyetlere ilişkin proje planı hazırlanmıştır (Şekil 3.5). Sürece ilişkin makro süreç haritası Şekil 3.6'da verilmektedir.

Makro süreç haritası da oluşturulduktan sonra tanımlama aşaması sonlandırılarak ölçme aşamasına geçilmiştir.



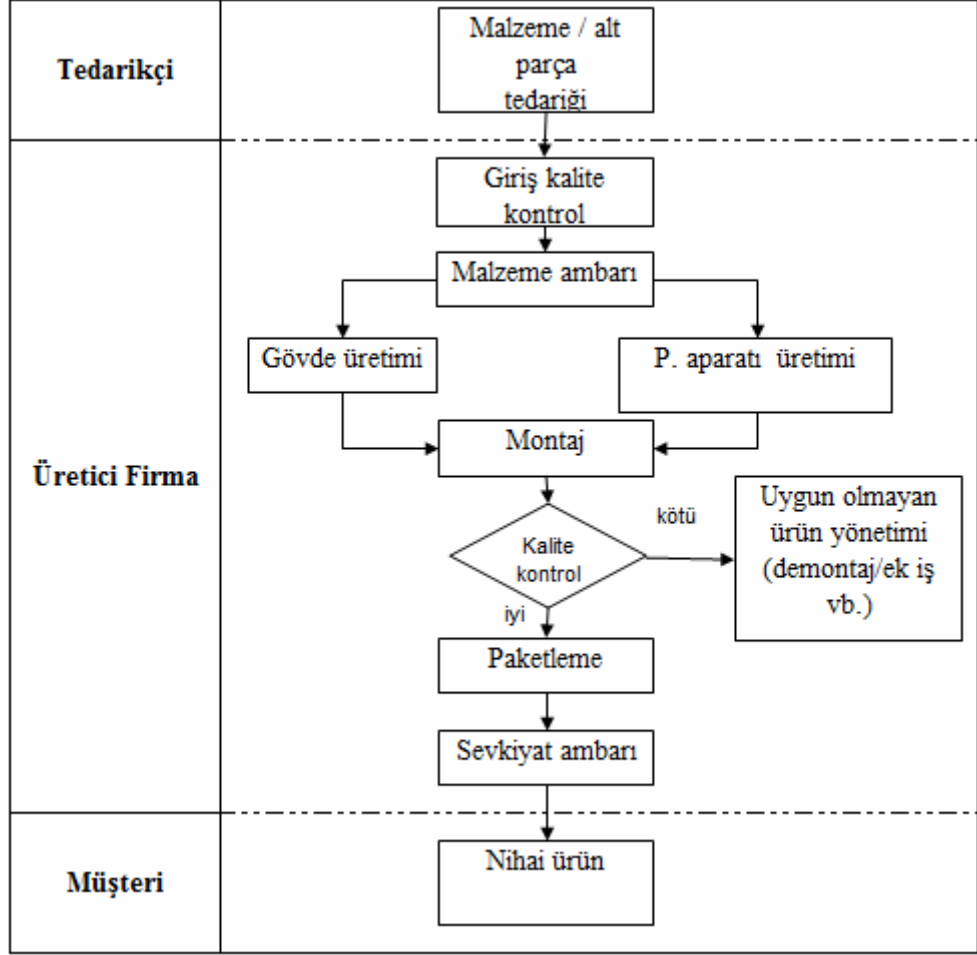
Şekil 3. 5 Proje zaman planı



Şekil 3. 6 Makro süreç haritası

### 3.3.3. Ölçme Aşaması

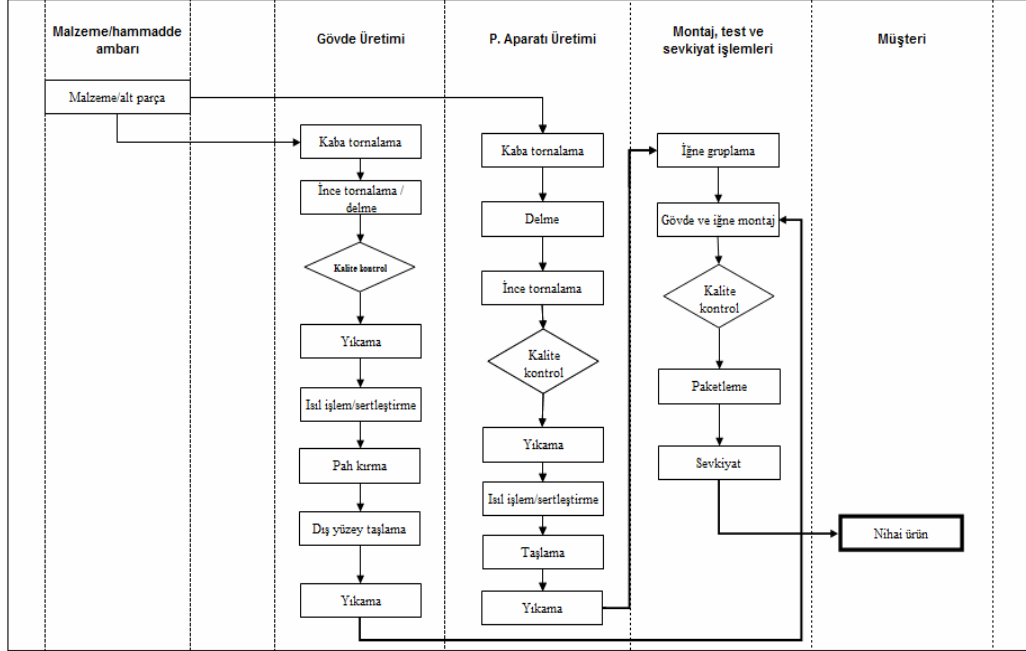
Ölçme aşamasında ilk olarak çizelge 3.7'deki mikro süreç haritası hazırlanmıştır.



Şekil 3. 7 Mikro süreç haritası

Şekil 3.7'de verilen mikro süreç haritasına göre imalat süreçlerinin kendi kalitelerinden sorumlu olarak faaliyette bulunduğu, kalite kontrolünün de imalata paralel şekilde yürütüldüğü gözlemlenmektedir. Örneğin, makine operatörleri makine başında istatistiksel süreç kontrol, ilk ürün onayı (vardiya başlarında, mola dönüşlerinde, tip dönme işleminden sonra vb.) faaliyetlerini gerçekleştirirken, kalite operatörleri ise paketlenmiş ürünlerden örnekleme planları doğrultusunda numuneler alarak kontrol etmekte (boyutsal ölçümler, ömür ve dayanıklılık testleri, pas kontrolü vb.) ve ürünlere sevkiyat onayı vermektedir.

Neden sonuç matrisinde kritik girdi faktörlerini belirlemek için ihtiyaç duyulan ayrıntılı süreç adımları, mikro süreç haritası esas alınarak hazırlanan detaylı süreç haritasında (Şekil 3.8) verilmektedir.



Şekil 3. 8 Detaylı süreç haritası

### 3.3.3.1. Neden-Sonuç Matrisinin Hazırlanması

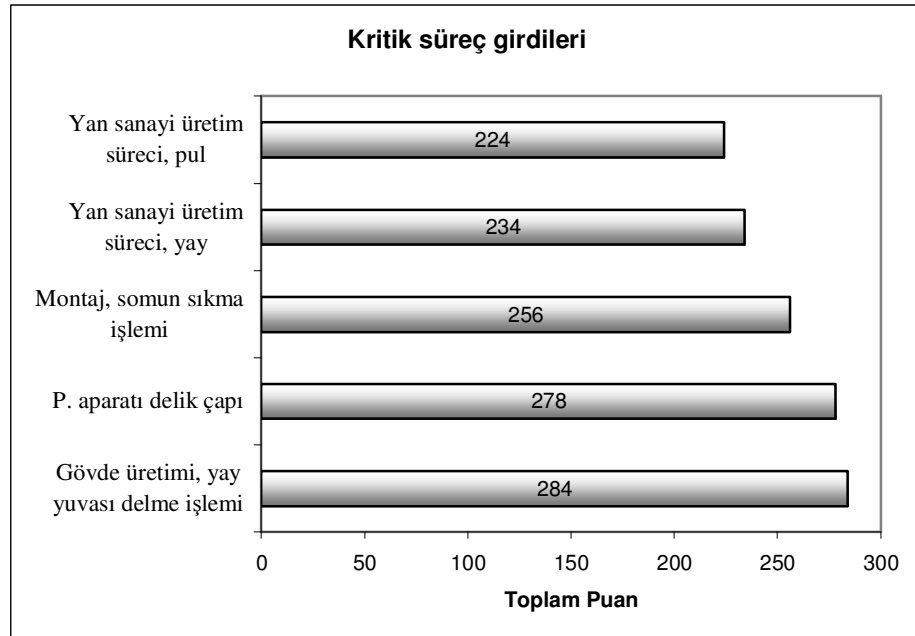
Proje ekibi tarafından müşterinin ürün ile ilgili talepleri aşağıda belirtildiği gibi tespit edilmiştir.

- Basınç değerinin tolerans içinde olması, (önem düzeyi: 10)
- Tam zamanında sevkiyat, (önem düzeyi: 6)
- Teknik fonksiyonları eksiksiz şekilde yerine getirme, (önem düzeyi:10)
- Maliyet açısından rakip ürünlere göre avantajlı olma, (önem düzeyi: 8)
- Parçanın monte edildiği motorun emisyon değerlerinin yasal zorunlulukların belirlediği kriterlere uyması (önem düzeyi: 10).

Müşteri talepleri belirlendikten sonra grup içi oylama yapılmış, bu taleplerin önem düzeyleri verilen puanların aritmetik ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Yapılan bu puanlamanın ardından detaylı süreç akış şemasında belirtilen süreç adımlarının girdileri tespit edilmiş ve neden-sonuç matrisi oluşturulmuştur (EK-1). Matrisin satırları

süreç adımlarını ve bu adımların girdi faktörlerini, sütunları ise müşterinin ürün ile ilgili taleplerini göstermektedir.

Bir sonraki aşamada proje ekibi, her bir süreç adımının ilgili müşteri talebi üzerindeki etkisini puanlandırmıştır (Değerlendirme için 1 ile 10 arasında, 1 puan çok zayıf, 10 puan çok kuvvetli etkiyi belirtmektedir). Her bir süreç adımının değerlendirme sonucu hesaplanan puanları, müşteri taleplerinin sahip olduğu ağırlık ile çarpılmış, çıkan sonuçlar toplanarak “Toplam” isimli sütunda kaydedilmiştir. Örnek olarak matrisin “1.1 kaba torna” süreç adımının girdisi olan “makine ayar parametreleri” maddesini ele alalım. Bu girdinin ürün ile ilgili etkisi sıra ile (1, 1, 2, 1, 0) olarak puanlandırılmıştır. Bu puanlar öncelik sırasına sokulmuş müşteri taleplerinin puanları olan (10, 10, 10, 8, 6) ile çarpılmış ve sonuçlar toplanarak hesaplanan 48 değeri toplam sütununda kaydedilmiştir (EK-1). Projenin kapsamını sınırlandırabilmek için, neden-sonuç matrisinde toplam puanı 200 ve üzerinde olan süreç girdileri dikkate alınarak çalışmalara devam edilmesine proje ekibi tarafından oy birliği ile karar verilmiştir. Alınan bu karar uyarınca, proje kapsamında incelenecek süreç girdileri Şekil 3.9’daki grafikte görülmektedir. Bu grafiğe göre sonraki adımlarda incelenecek süreç girdilerinin 5 adede indirildiği gözlemlenmektedir.



**Şekil 3. 9** Neden sonuç matrisinde toplam puanı 200’ün üzerinde olan süreç girdileri



### 3.3.3.2. Göstergelerin Belirlenmesi ve İzlenmesi

Neden-sonuç matrisi ile tespit edilen girdiler aynı zamanda çalışma basıncı üzerinde en çok etkiye sahip olan girdilerdir. Bu girdiler aşağıda belirtilmektedir:

- *P. aparatı* delik çapı
- Yay yuvası derinliği (gövde)
- Montaj momenti
- Pul kalınlığı
- Yay sıkışma miktarı

Bu ifade;

$y=f(x_i)$ ,  $i=1,2,\dots,5$  olarak ifade edilebilir. Girdi ve çıktı değişkenlerine ilişkin ayrıntılı bilgi Çizelge 3.2’de verilmektedir.

**Çizelge 3. 2** Girdi ve çıktı değişkenlerinin ayrıntılı gösterimi

Sembolik Gösterim	Açıklama	Ölçü Birimi	<u>İşletme İçi Sürec</u>	<u>Tedarikçi Süreci</u>	ASL	ÜSL
$y$	Çalışma Basıncı	bar	√		205	215
$x_1$	<i>P. aparatı</i> delik çapı	μ.m.	√		272,4	298,6
$x_2$	Yay yuvası derinliği	m.m.	√		30,4	31,6
$x_3$	Montaj Momenti	N.m.	√		52,8	59,8
$x_4$	Pul kalınlığı	μm.		√	4,78	6,64
$x_5$	Yay sıkışma miktarı	m.m.		√	5,48	7,94

### 3.3.3.3. Veri Toplama Noktalarının Tespiti:

Proje ekibi, kritik girdi faktörlerinden işletme içinde yer alan işlem adımlarından veri toplanmasına karar vermiştir. 5 faktörden aşağıda belirtilen 3 tanesi işletme içi süreçlerdir (Çizelge 3.2):

- *P. aparatı* üretim hattı, p. deliği delme operasyonu,
- Gövde üretim hattı, yay yuvası delme operasyonu,
- Montaj hattı, moment uygulama işlemi, somun sıkma operasyonu.

İşletme dışından temin edilen parçaların (yay ve pul) güncel yeterlilik analizleri, ilgili tedarikçiden temin edilen parçaların ölçülmesi ile yapılacaktır. Projenin tedarikçi kanadında da yürütülmesine gerek olup olmadığına yapılan analizler sonucunda karar verilecektir.

Süreçten veri toplamadan önce, ölçüm sistemlerinin yeterliliğinin araştırılması gerekmektedir. Tüm kritik girdi faktörleri için ölçüm sistemleri analizi yapıldıktan sonra süreçten veri alınacaktır.

### 3.3.3.4. Ölçüm Sistemleri Analizi

Ölçüm sistemi çalışmalarında 3 operatör, 5 parça ve 3 tekrar ile ölçüm yapılması önerilmektedir (Mason, 2003). Yapılan analizlerde 2 ölçüm operatörünün 5 parçayı 3'er kez ölçmesi sonucu elde edilen veriler kullanılmıştır. Operatör sayısı hariç bu öneriye uyulmuştur. 3 operatörle çalışılmamasının sebebi işletme içinde çalışılan üretim birimlerinde aynı vardiyada en fazla iki ölçüm operatörünün bulunmasıdır

Ölçüm sistemleri analizi, Çizelge 2.1'de "Sembolik Gösterim" isimli sütunda verilen sıraya göre yapılmıştır. Testlerde kullanılan  $\alpha$  değeri 0,05 olarak seçilmiştir.

### Çalışma Basıncı Ölçüm Sistemleri Analizi:

Montaj hattından tamamen rassal olarak seçilen 5 adet parça, yay yuvası derinlik kontrolü görevini yapan 2 çalışan tarafından 3'er kez kontrol edilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları, Çizelge 3.3'te özetlenmektedir.

Ölçüm sisteminin çözünürlüğü, tolerans hassasiyetinin 10'da birinden küçük olduğu için yeterlidir.

**Çizelge 3. 3** Çalışma basıncı ölçüm sonuçları (bar)

Operatör1		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	208,45	211,61	206,93	213,02	210,77
	2	208,52	211,63	206,95	213,02	210,76
	3	208,48	211,64	206,93	213,01	210,76

Operatör2		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	208,41	211,62	206,94	213,02	210,76
	2	208,43	211,63	206,93	213,03	210,75
	3	208,42	211,63	206,93	213,02	210,77

Çalışma basıncı ölçüm değerleri, Minitab programı ile analiz edilmiştir. Minitab tarafından yapılan analiz, 2.1-2.16 denklemlerinde verilen formüllerin ölçüm sonuçlarına uygulanmasıdır. Şekil 3.10'da yapılan analizin sonuçları görülmektedir. Test sonuçlarına göre p değeri, testte kullanılan 0,05 güven düzeyinden büyük olan varyans bileşenleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ölçüm sisteminin toplam varyansa olan katkısı % 0,01 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %1'den küçük olması ölçüm sisteminin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2001).

Varyans analizi tablosunda ölçüm yapan operatöre ait p değeri 0,05 ten büyük olduğundan, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediği sonucuna varılmıştır. Şekil 3.11'de çalışma basıncı ölçüm sonuçlarına ilişkin grafiksel analiz verilmektedir. Şekil 3.11-A'da toplam değişkenliğe, ölçüm sisteminin ve sürecin yaptığı katkı görülmektedir. Grafiğe göre ölçüm sistemi hatasının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu görülmektedir. Şekil 3.11-E'de verilen grafik, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediğini gösterirken, Şekil 3.10'da verilen varyans analizini doğrulamaktadır. Şekil 3.11-D'de değişkenliğin parçalardan kaynaklandığı görülmektedir.

Sonuç olarak çalışma basıncı için kullanılan ölçüm sisteminin %95 güvenilirlikle yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	4	144,070	36,0176	29322,3	0,000
Appraiser	1	0,001	0,0012	1,0	0,378
Part * Appraiser	4	0,005	0,0012	6,2	0,002
Repeatability	20	0,004	0,0002		
Total	29	144,080			

Alpha to remove interaction term = 0,25

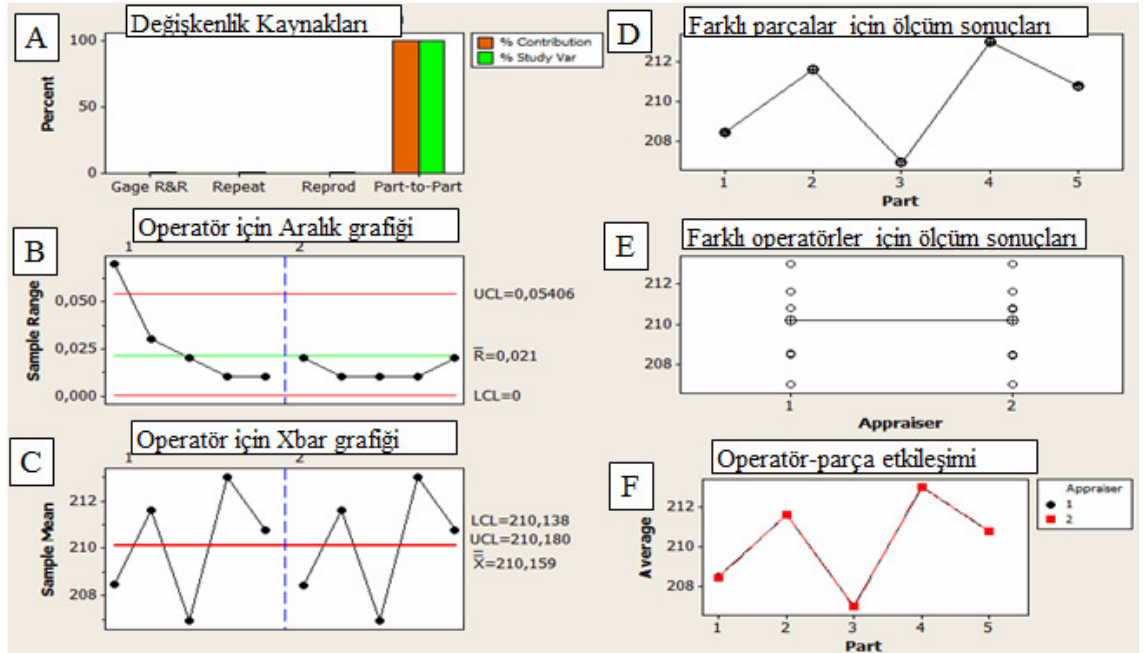
**Gage R&R**

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,00054	0,01
Repeatability	0,00020	0,00
Reproducibility	0,00034	0,01
Appraiser	0,00000	0,00
Appraiser*Part	0,00034	0,01
Part-To-Part	6,00273	99,99
Total Variation	6,00327	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,02325	0,1395	0,95
Repeatability	0,01402	0,0841	0,57
Reproducibility	0,01854	0,1113	0,76
Appraiser	0,00000	0,0000	0,00
Appraiser*Part	0,01854	0,1113	0,76
Part-To-Part	2,45005	14,7003	100,00
Total Variation	2,45016	14,7009	100,00

Number of Distinct Categories = 148

Şekil 3. 10 Çalışma basıncı ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları



Şekil 3. 11 Çalışma basıncı ölçüm sonuçları için grafiksel analiz

### P. Aparatı Delik Çapı Ölçüm Sistemleri Analizi

Ölçüm sonuçları, Çizelge 3.4'teki gibi kaydedilmiş ve Minitab programı ile analiz edildikten sonra sonuçlar yorumlanmıştır.

**Çizelge 3. 4** Çalışma basıncı ölçüm sonuçları ( $\mu\text{m}$ )

Operatör 1		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	286,56	288,76	287,38	291,45	287,45
	2	286,52	288,74	287,32	291,44	287,51
	3	286,54	288,68	287,41	291,45	287,57

Operatör 2		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	286,56	288,71	287,39	291,45	287,45
	2	286,54	288,75	287,32	291,43	287,52
	3	286,57	288,69	287,38	291,46	287,57

Şekil 3.12'da yapılan analizin sonuçları görülmektedir. Test sonuçlarına göre p değeri, testte kullanılan 0,05 güven düzeyinden büyük olan varyans bileşenleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ölçüm sisteminin toplam varyansa olan katkısı % 0,03 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %1'den küçük olması ölçüm sisteminin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2001).

Varyans analizi tablosunda ölçüm yapan operatöre ve operatör-parça etkileşimine ait p değeri 0,05 ten büyük olduğundan, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediği, ve operatör ile parça arasındaki etkileşimin anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 3.13'de çalışma basıncı ölçüm sonuçlarına ilişkin grafiksel analiz verilmektedir. Şekil 3.13-A'da toplam değişkenliğe, ölçüm sisteminin ve sürecin yaptığı katkı görülmektedir. Grafiğe göre ölçüm sistemi hatasının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu görülmektedir. Şekil 3.11-E'de verilen grafik, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediğini gösterirken, Şekil 3.10'da verilen varyans analizini doğrulamaktadır. Şekil 3.13-D'de değişkenliğin parçalardan kaynaklandığı görülmektedir.

Sonuç olarak çalışma basıncı için kullanılan ölçüm sisteminin %95 güvenilirlikle yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

### Gage R&R Study - ANOVA Method

#### Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	4	88,0374	22,0093	50211,4	0,000
Appraiser	1	0,0002	0,0002	0,5	0,524
Part * Appraiser	4	0,0018	0,0004	0,3	0,873
Repeatability	20	0,0290	0,0014		
Total	29	88,0683			

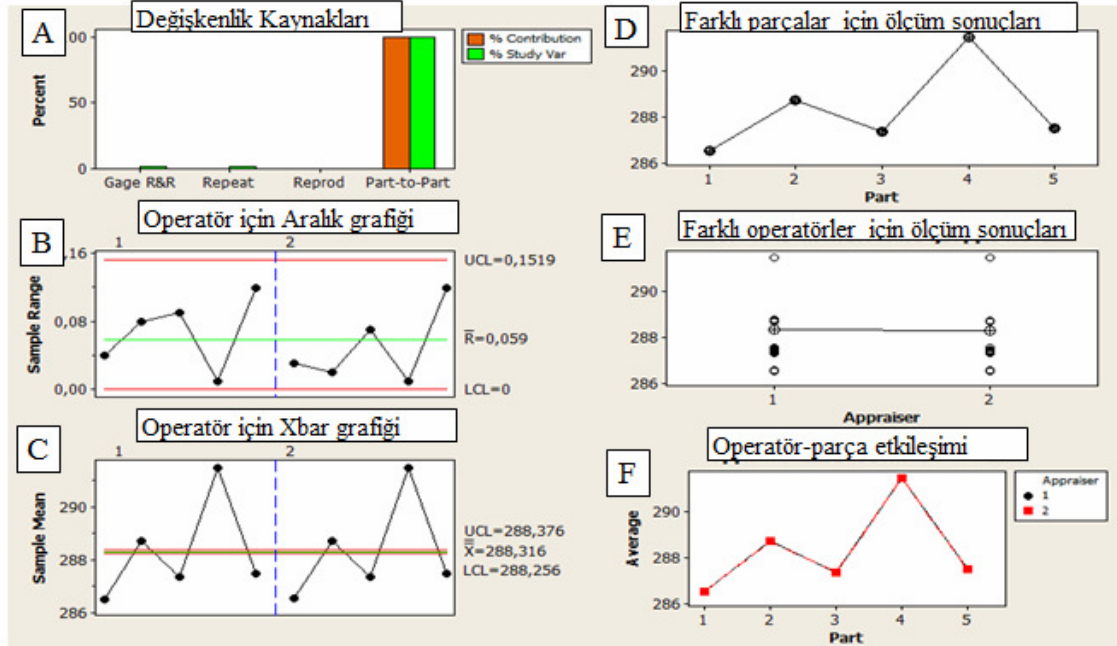
#### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,00128	0,03
Repeatability	0,00128	0,03
Reproducibility	0,00000	0,00
Appraiser	0,00000	0,00
Part-To-Part	3,66801	99,97
Total Variation	3,66929	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,03580	0,2148	1,87
Repeatability	0,03580	0,2148	1,87
Reproducibility	0,00000	0,0000	0,00
Appraiser	0,00000	0,0000	0,00
Part-To-Part	1,91520	11,4912	99,98
Total Variation	1,91554	11,4932	100,00

Number of Distinct Categories = 75

Şekil 3. 12 P. aparatı delik çapı ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları



Şekil 3. 13 P. aparatı delik çapı ölçüm sonuçları için grafiksel analiz

### Yay Yuvası Derinliği Ölçüm Sistemleri Analizi

Ölçüm sonuçları, Çizelge 3.5'teki gibi kaydedilmiş ve Minitab programı ile analiz edildikten sonra sonuçlar yorumlanmıştır.

**Çizelge 3. 5** Yay yuvası derinliği ölçüm sonuçları (mm)

Operatör 1		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	31,24	31,26	31,25	31,33	31,17
	2	31,23	31,27	31,25	31,32	31,18
	3	31,23	31,27	31,25	31,33	31,17

Operatör 2		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	31,23	31,27	31,24	31,33	31,17
	2	31,24	31,26	31,25	31,32	31,17
	3	31,24	31,27	31,25	31,32	31,16

Şekil 3.14'te yapılan analizin sonuçları görülmektedir. Test sonuçlarına göre p değeri, testte kullanılan 0,05 güven düzeyinden büyük olan varyans bileşenleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ölçüm sisteminin toplam varyansa olan katkısı % 0,91 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %1'den küçük olması ölçüm sisteminin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2001).

Varyans analizi tablosunda ölçüm yapan operatöre ve operatör-parça etkileşimine ait p değeri 0,05 ten büyük olduğundan, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediği, ve operatör ile parça arasındaki etkileşimin anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 3.13'de çalışma basıncı ölçüm sonuçlarına ilişkin grafiksel analiz verilmektedir. Şekil 3.13-A'da toplam değişkenliğe, ölçüm sisteminin ve sürecin yaptığı katkı görülmektedir. Şekil 3.13-B'deki aralık grafiğinin kontrol altında olması, operatörlerin tutarlı olduğunu ve ölçüm cihazını hemen hemen aynı şekilde kullandıklarını göstermektedir. Grafiğe göre ölçüm sistemi hatasının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu görülmektedir. Şekil 3.13-D'de değişkenliğin parçalardan kaynaklandığı görülmektedir. Şekil 3.11-E'de verilen grafik, operatörün ölçüm

sonuçlarına etki etmediğini gösterirken, Şekil 3.10'da verilen varyans analizini doğrulamaktadır.

### Gage R&R Study - ANOVA Method

#### Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	4	0,0751533	0,0187883	867,154	0,000
Appraiser	1	0,0000300	0,0000300	1,385	0,305
Part * Appraiser	4	0,0000867	0,0000217	0,722	0,587
Repeatability	20	0,0006000	0,0000300		
Total	29	0,0758700			

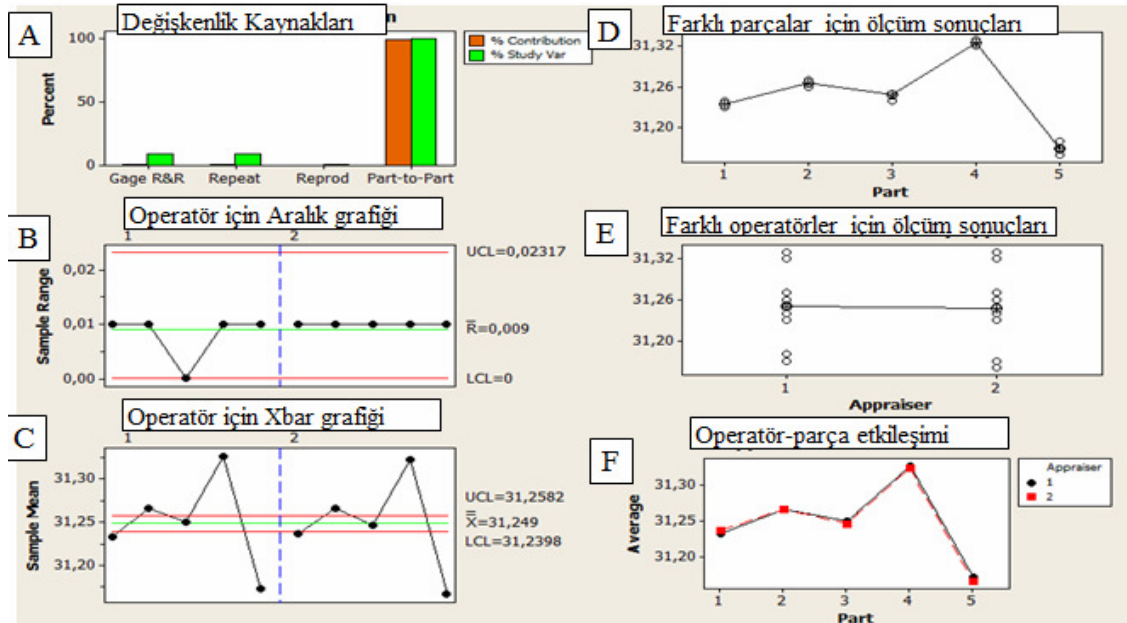
### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000287	0,91
Repeatability	0,0000286	0,91
Reproducibility	0,0000001	0,00
Appraiser	0,0000001	0,00
Part-To-Part	0,0031266	99,09
Total Variation	0,0031553	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0053576	0,032146	9,54
Repeatability	0,0053489	0,032094	9,52
Reproducibility	0,0003043	0,001826	0,54
Appraiser	0,0003043	0,001826	0,54
Part-To-Part	0,0559162	0,335497	99,54
Total Variation	0,0561723	0,337034	100,00

Number of Distinct Categories = 14

Şekil 3. 14 Yay yuvası derinliği ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları



Şekil 3. 15 Yay yuvası derinliği ölçüm sonuçları için grafiksel analiz



### Montaj Momenti Ölçüm Sistemleri Analizi

Ölçüm sonuçları, Çizelge 3.6'daki gibi kaydedilmiş ve Minitab programı ile analiz edildikten sonra sonuçlar yorumlanmıştır.

**Çizelge 3. 6** Montaj momenti ölçüm sonuçları (N.m)

Operatör 1		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	51,55	52,19	51,24	53,15	52,35
	2	51,54	52,20	51,24	53,15	52,35
	3	51,55	52,19	51,23	53,15	52,36

Operatör 2		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	51,55	52,18	51,23	53,16	52,35
	2	51,55	52,19	51,24	53,18	52,35
	3	51,54	52,19	51,24	53,15	52,36

Şekil 3.16'da, yapılan analizin sonuçları görülmektedir. Test sonuçlarına göre p değeri, testte kullanılan 0,05 güven düzeyinden büyük olan varyans bileşenleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ölçüm sisteminin toplam varyansa olan katkısı % 0,01 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %1'den küçük olması ölçüm sisteminin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2001).

Varyans analizi tablosunda ölçüm yapan operatöre ve operatör-parça etkileşimine ait p değeri 0,05 ten büyük olduğundan, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediği, ve operatör ile parça arasındaki etkileşimin anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 3.17'de çalışma basıncı ölçüm sonuçlarına ilişkin grafiksel analiz verilmektedir. Şekil 3.17-A'da toplam değişkenliğe, ölçüm sisteminin ve sürecin yaptığı katkı görülmektedir. Şekil 3.17-B'deki aralık grafiğinde, kontrol sınırları dışına çıkan bir tek nokta bulunmaktadır. Bunun sebebi olarak da ölçüm sapmasının çok küçük değerlere sahip olmasını gösterebiliriz. Tüm değerler merkez noktasında olduğu için tek bir farklı değer kontrol sınırları dışına çıkmıştır. Şekil 3.17-D'de değişkenliğin parçalardan kaynaklandığı görülmektedir. Şekil 3.17-E'de verilen grafik, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediğini gösterirken, Şekil 3.16'da verilen varyans analizini doğrulamaktadır.

### Gage R&R Study - ANOVA Method

#### Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	4	13,4417	3,36043	42005,4	0,000
Appraiser	1	0,0000	0,00001	0,2	0,704
Part * Appraiser	4	0,0003	0,00008	1,6	0,213
Repeatability	20	0,0010	0,00005		
Total	29	13,4431			

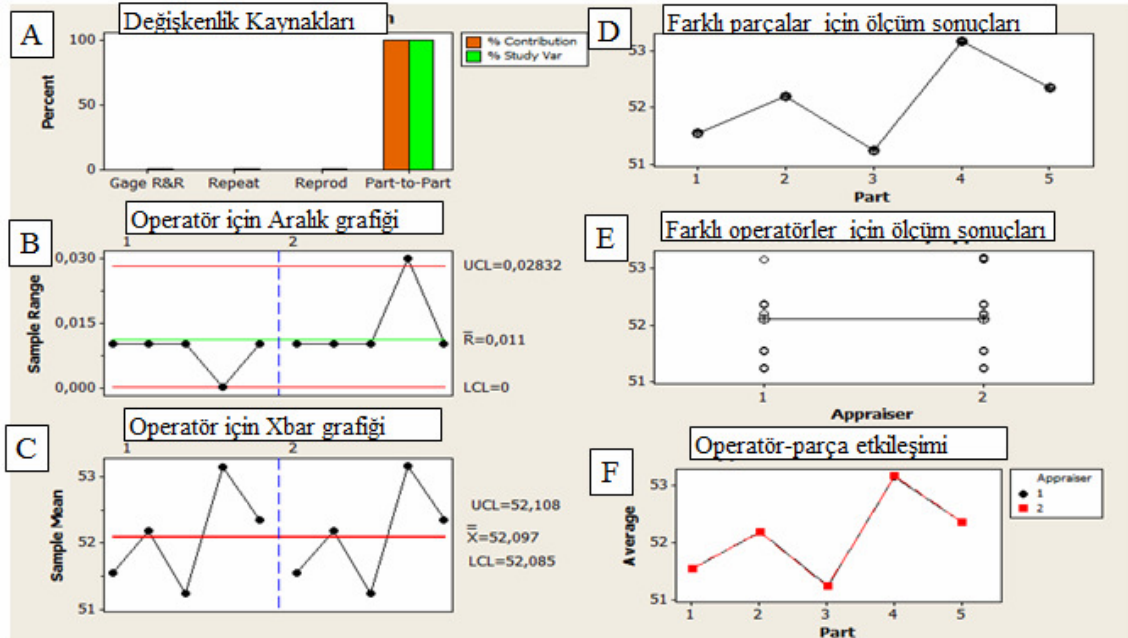
#### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,000060	0,01
Repeatability	0,000050	0,01
Reproducibility	0,000010	0,00
Appraiser	0,000000	0,00
Appraiser*Part	0,000010	0,00
Part-To-Part	0,560059	99,99
Total Variation	0,560119	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,007746	0,04648	1,03
Repeatability	0,007071	0,04243	0,94
Reproducibility	0,003162	0,01897	0,42
Appraiser	0,000000	0,00000	0,00
Appraiser*Part	0,003162	0,01897	0,42
Part-To-Part	0,748371	4,49022	99,99
Total Variation	0,748411	4,49047	100,00

Number of Distinct Categories = 136

Şekil 3. 16 Montaj momenti ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları



Şekil 3. 17 Montaj momenti ölçüm sonuçları için grafiksel analiz

### Pul Kalınlığı Ölçüm Sistemleri Analizi

Ölçüm sonuçları, Çizelge 3.7'deki gibi kaydedilmiş ve Minitab programı ile analiz edildikten sonra sonuçlar yorumlanmıştır.

**Çizelge 3. 7** Pul kalınlığı ölçüm sonuçları ( $\mu\text{m}$ )

Operatör 1		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	5,67	5,56	5,57	5,74	5,66
	2	5,66	5,56	5,58	5,74	5,65
	3	5,65	5,55	5,56	5,74	5,65

Operatör 2		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	5,66	5,56	5,57	5,74	5,65
	2	5,67	5,55	5,58	5,73	5,66
	3	5,66	5,56	5,57	5,74	5,65

Şekil 3.18'da, yapılan analizin sonuçları görülmektedir. Test sonuçlarına göre p değeri, testte kullanılan 0,05 güven düzeyinden büyük olan varyans bileşenleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ölçüm sisteminin toplam varyansa olan katkısı % 0,69 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %1'den küçük olması ölçüm sisteminin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2001).

Varyans analizi tablosunda ölçüm yapan operatöre ve operatör-parça etkileşimine ait p değeri 0,05 ten büyük olduğundan, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediği, ve operatör ile parça arasındaki etkileşimin anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 3.19'de çalışma basıncı ölçüm sonuçlarına ilişkin grafiksel analiz verilmektedir. Şekil 3.19-A'da toplam değişkenliğe, ölçüm sisteminin ve sürecin yaptığı katkı görülmektedir. Şekil 3.19-B'deki aralık grafiğinin kontrol altında olması, operatörlerin tutarlı olduğunu ve ölçüm cihazını hemen hemen aynı şekilde kullandıklarını göstermektedir. Şekil 3.19-D'de değişkenliğin parçalardan kaynaklandığı görülmektedir. Şekil 3.19-E'de verilen grafik, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediğini gösterirken, Şekil 3.18'da verilen varyans analizini doğrulamaktadır.

### Gage R&R Study - ANOVA Method

#### Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	4	0,131180	0,0327950	2811,00	0,000
Appraiser	1	0,000003	0,0000033	0,29	0,621
Part * Appraiser	4	0,000047	0,0000117	0,27	0,894
Repeatability	20	0,000867	0,0000433		
Total	29	0,132097			

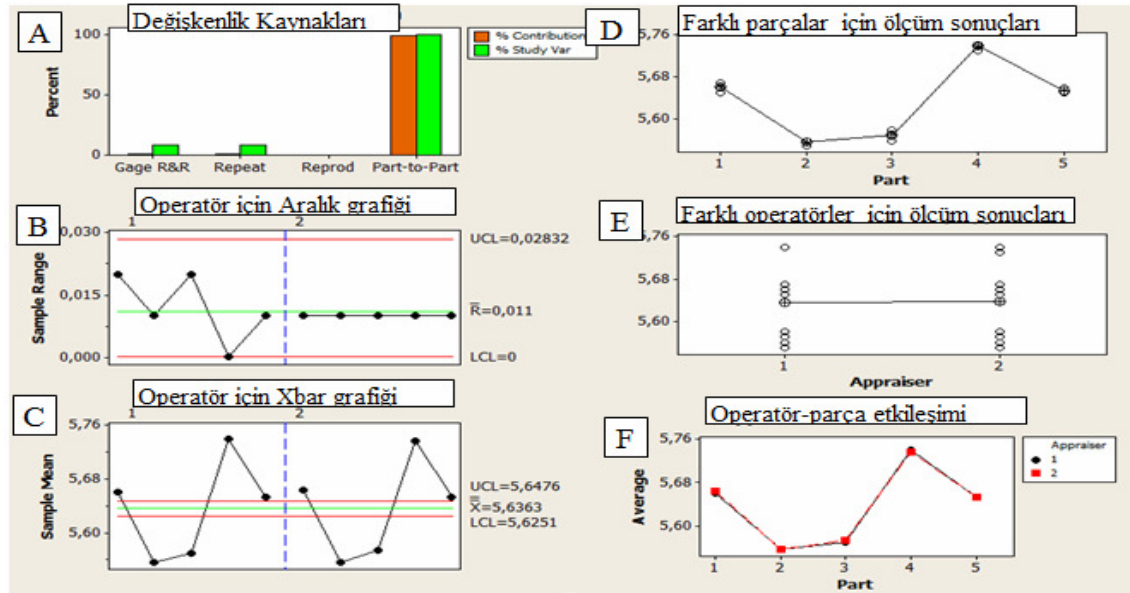
#### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000381	0,69
Repeatability	0,0000381	0,69
Reproducibility	0,0000000	0,00
Appraiser	0,0000000	0,00
Part-To-Part	0,0054595	99,31
Total Variation	0,0054975	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0061689	0,037014	8,32
Repeatability	0,0061689	0,037014	8,32
Reproducibility	0,0000000	0,000000	0,00
Appraiser	0,0000000	0,000000	0,00
Part-To-Part	0,0738884	0,443330	99,65
Total Variation	0,0741454	0,444873	100,00

Number of Distinct Categories = 16

Şekil 3. 18 Pul kalınlığı ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları



Şekil 3. 19 Pul kalınlığı ölçüm sonuçları için grafiksel analiz

### Yay Sıkışma Miktarı İçin Ölçüm Sistemleri Analizi

Ölçüm sonuçları, Çizelge 3.8'deki gibi kaydedilmiş ve Minitab programı ile analiz edildikten sonra sonuçlar yorumlanmıştır.

**Çizelge 3. 8** Yay sıkışma miktarı için ölçüm sistemi analizi sonuçları (mm)

Operatör 1		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	6,63	6,68	6,73	6,57	6,72
	2	6,64	6,67	6,75	6,56	6,73
	3	6,64	6,67	6,73	6,57	6,72

Operatör 2		Parça				
		1	2	3	4	5
Tekrar No	1	6,63	6,67	6,74	6,56	6,72
	2	6,63	6,67	6,74	6,56	6,73
	3	6,64	6,67	6,73	6,57	6,73

Şekil 3.20'da, yapılan analizin sonuçları görülmektedir. Test sonuçlarına göre p değeri, testte kullanılan 0,05 güven düzeyinden büyük olan varyans bileşenleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ölçüm sisteminin toplam varyansa olan katkısı % 0,72 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %1'den küçük olması ölçüm sisteminin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2001).

Varyans analizi tablosunda ölçüm yapan operatöre ve operatör-parça etkileşimine ait p değeri 0,05 ten büyük olduğundan, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediği, ve operatör ile parça arasındaki etkileşimin anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 3.21'de çalışma basıncı ölçüm sonuçlarına ilişkin grafiksel analiz verilmektedir. Şekil 3.21-A'da toplam değişkenliğe, ölçüm sisteminin ve sürecin yaptığı katkı görülmektedir. Şekil 3.21-B'deki aralık grafiğinin kontrol altında olması, operatörlerin tutarlı olduğunu ve ölçüm cihazını hemen hemen aynı şekilde kullandıklarını göstermektedir. Şekil 3.21-D'de değişkenliğin parçalardan kaynaklandığı görülmektedir. Şekil 3.19-E'de verilen grafik, operatörün ölçüm sonuçlarına etki etmediğini gösterirken, Şekil 3.18'da verilen varyans analizini doğrulamaktadır.

### Gage R&R Study - ANOVA Method

#### Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	4	0,118000	0,0295000	2212,50	0,000
Appraiser	1	0,000013	0,0000133	1,00	0,374
Part * Appraiser	4	0,000053	0,0000133	0,33	0,852
Repeatability	20	0,000800	0,0000400		
Total	29	0,118867			

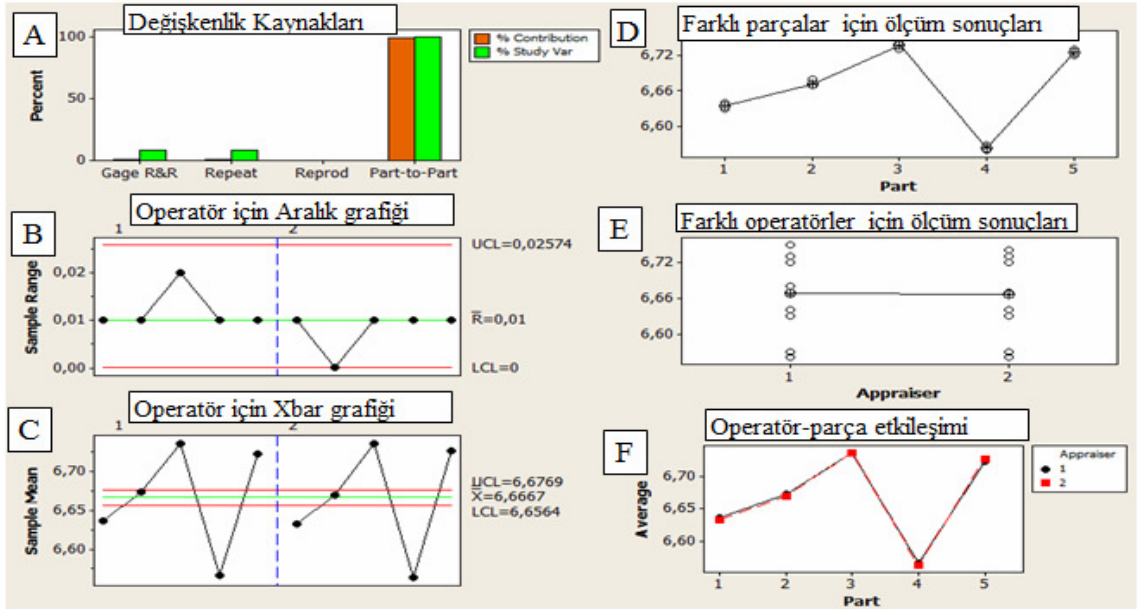
#### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000356	0,72
Repeatability	0,0000356	0,72
Reproducibility	0,0000000	0,00
Appraiser	0,0000000	0,00
Part-To-Part	0,0049107	99,28
Total Variation	0,0049463	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0059628	0,035777	8,48
Repeatability	0,0059628	0,035777	8,48
Reproducibility	0,0000000	0,0000000	0,00
Appraiser	0,0000000	0,0000000	0,00
Part-To-Part	0,0700767	0,420460	99,64
Total Variation	0,0703299	0,421979	100,00

Number of Distinct Categories = 16

Şekil 3. 20 Yay yuvası ölçüm sonuçları için varyans analizi sonuçları



Şekil 3. 21 Yay yuvası ölçüm sonuçları için grafiksel analiz

Ölçüm sistemleri analizi sonucunda, tüm potansiyel girdi faktörleri ve çıktı faktörü için kullanılan ölçüm sistemlerinin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu aşamadan sonra

sistemden veri toplanması aşamasına geçilecek ve toplanan verilerin normal dağılıma uyumu test edilecektir. Uyum testleri sonucunda hangi analiz yönteminin kullanılacağına karar verildikten sonra mevcut durum yeterlilik analizleri yapılacaktır.

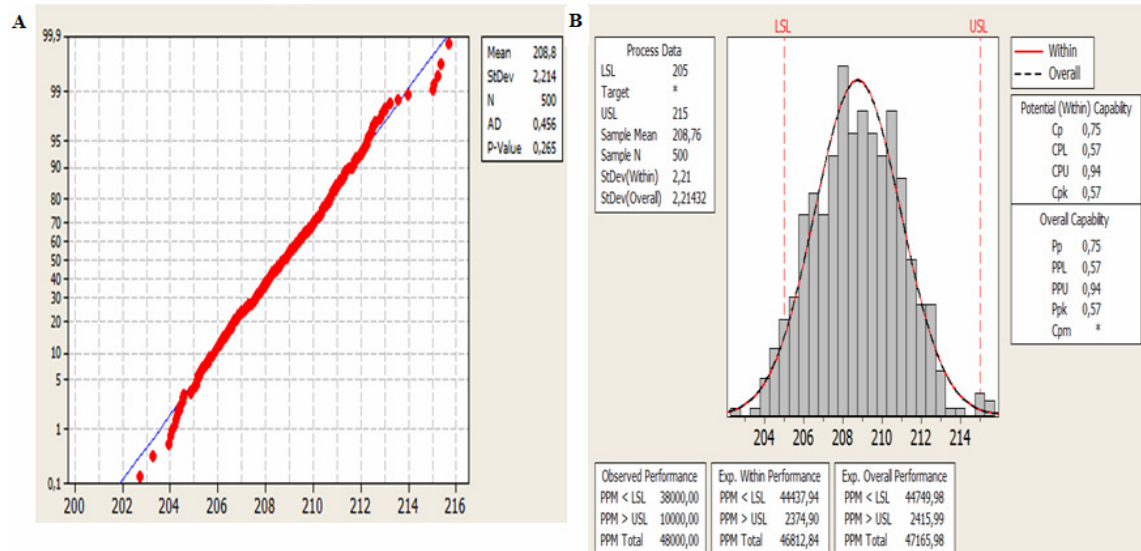
### 3.3.4. Analiz Aşaması

#### 3.3.4.1. Normal Dağılım Testleri ve Süreç Yeterliliği Analizi

Montaj hattından, seri üretim devam ederken 500 adet örnek alınmış, tüm potansiyel girdi faktörleri ve çıktı faktörüne ilişkin veriler ölçülerek kaydedildikten sonra Çizelge 2.1'de "Sembolik Gösterim" isimli sütunda verilen sıraya göre normal dağılım testleri yapılmıştır. Testlerde kullanılan  $\alpha$  değeri 0,05 olarak seçilmiştir. Normal dağılım testi sonucuna göre süreç yeterliliği analizinde kullanılacak dağılım seçilmiş ve süreç yeterliliği analizleri yapılmıştır.

#### Çalışma Basıncı Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi

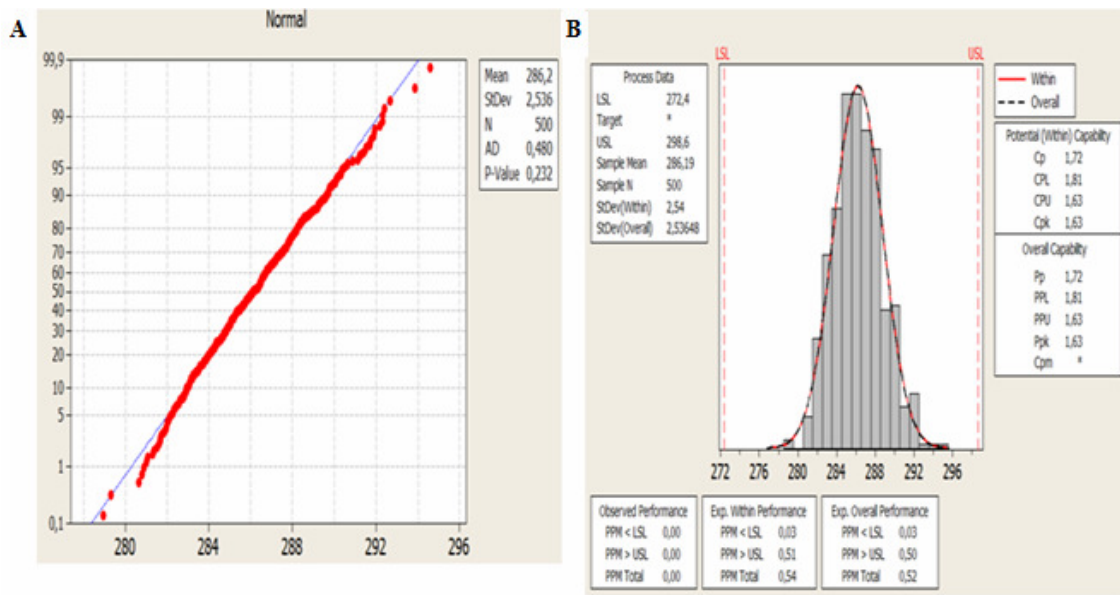
Analiz yapılmadan önce, sürecin normal dağılıma uyup uymadığı % 95 güvenilirlikle hesaplanmış ve p değeri  $> 0,05$  olduğundan sürecin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir (Şekil 3.22-A). Normal dağılıma uyduğu belirlenen süreç için yapılan yeterlilik analizi sonucunda Cp değeri 0,75 ve Cpk değeri 0,57 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.22-B). Analiz sonucunda, sürecin yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. 22 Çalışma Basıncı Normal dağılım ve süreç yeterliliği analiz sonuçları

### P. Aparatı Delik Çapı Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi

Analiz yapılmadan önce, sürecin normal dağılıma uyup uymadığı % 95 güvenilirlikle hesaplanmış ve p değeri  $> 0,05$  olduğundan sürecin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir (Şekil 3.23-A). Normal dağılıma uyduğu belirlenen süreç için yapılan yeterlilik analizi sonucunda Cp değeri 1,72 ve Cpk değeri 1,63 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.23-B). Analiz sonucunda, sürecin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

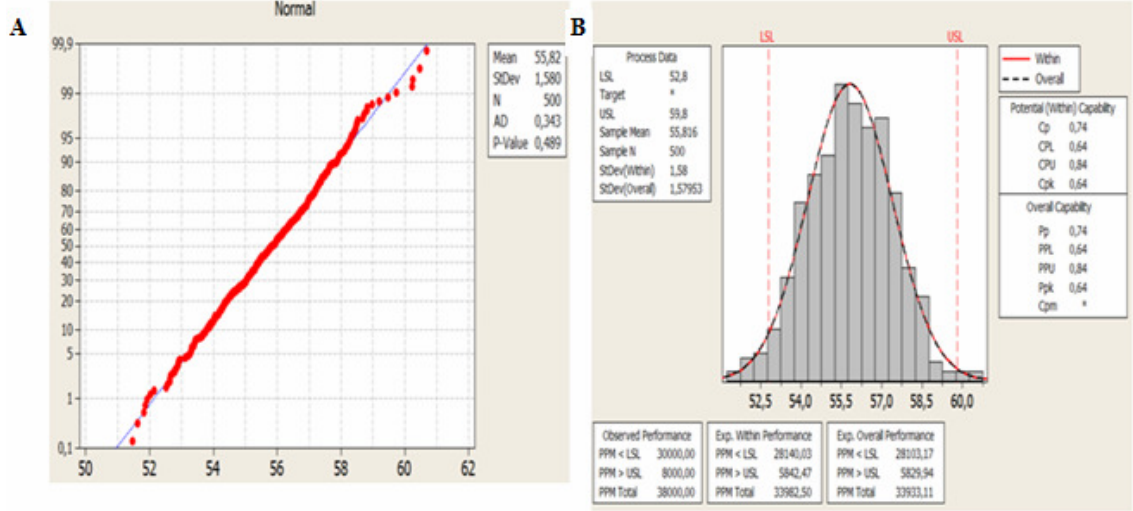


Şekil 3. 23 P. Aparatı Delik Çapı Normal Dağılım Ve Süreç Yeterliliği Analiz Sonuçları

### Yay Yuvası Derinliği Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi

Analiz yapılmadan önce, sürecin normal dağılıma uyup uymadığı % 95 güvenilirlikle hesaplanmış ve p değeri  $> 0,05$  olduğundan sürecin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir (Şekil 3.24-A). Normal dağılıma uyduğu belirlenen süreç için yapılan yeterlilik analizi sonucunda Cp değeri 0,74 ve Cpk değeri 0,64 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.24-B). Analiz sonucunda, sürecin yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.

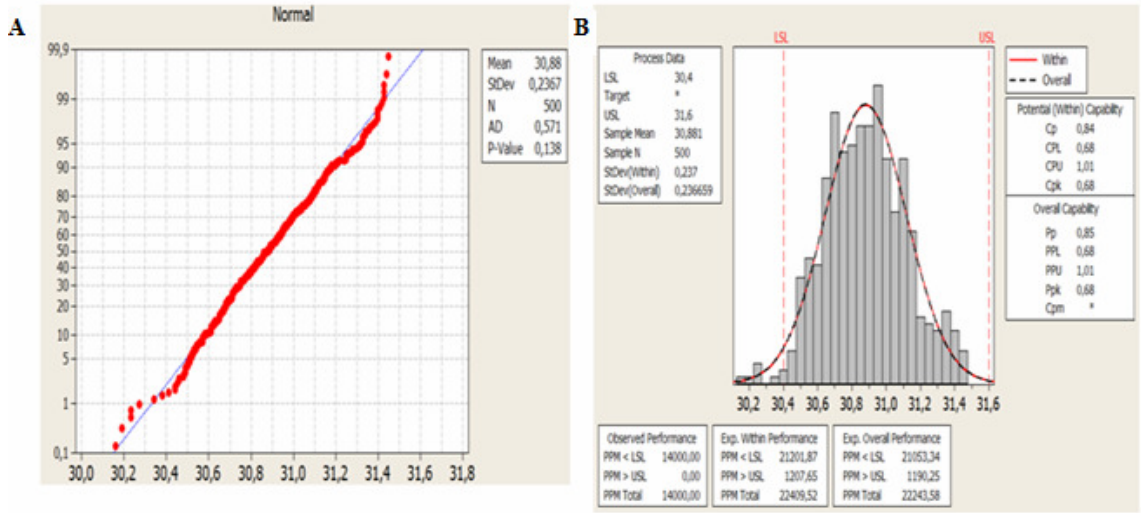




**Şekil 3. 24** Yay Yuvası Derinliği Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi Sonuçları

### Montaj Momenti Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi

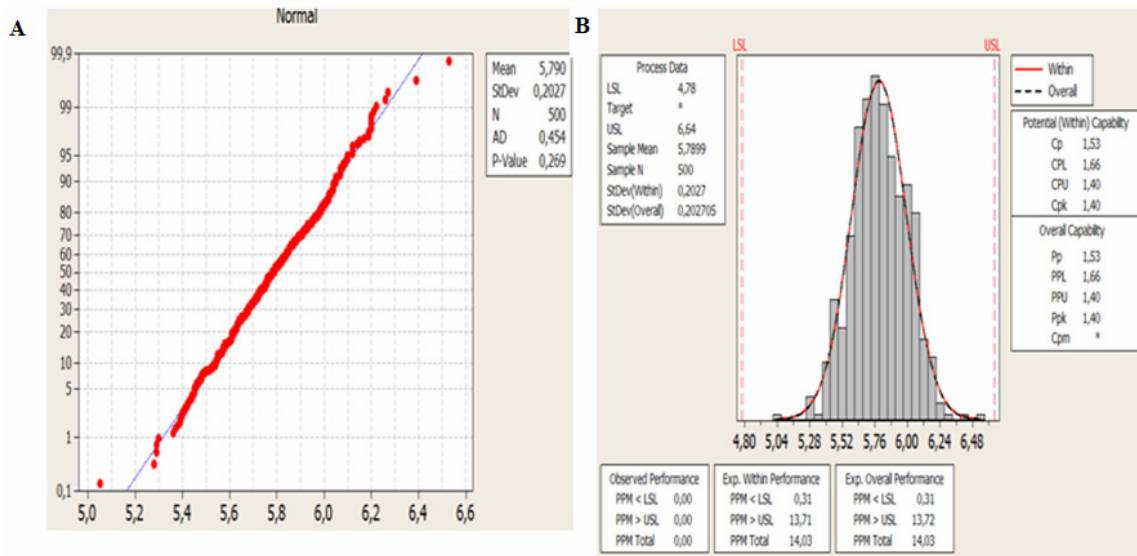
Analiz yapılmadan önce, sürecin normal dağılıma uyup uymadığı % 95 güvenlilikle hesaplanmış ve p değeri  $> 0,05$  olduğundan sürecin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir (Şekil 3.25-A). Normal dağılıma uyduğu belirlenen süreç için yapılan yeterlilik analizi sonucunda Cp değeri 0,84 ve Cpk değeri 0,68 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.25-B). Analiz sonucunda, sürecin yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.



**Şekil 3. 25** Montaj Momenti Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi Sonuçları

### Pul Kalınlığı Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi

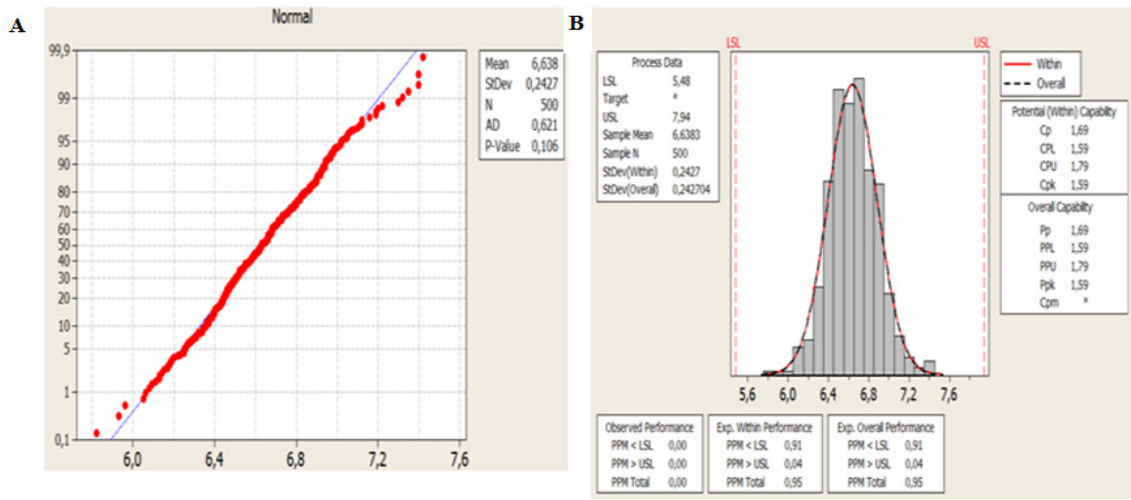
Analiz yapılmadan önce, sürecin normal dağılıma uyup uymadığı % 95 güvenlilikle hesaplanmış ve p değeri > 0,05 olduğundan sürecin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir (Şekil 3.26-A). Normal dağılıma uyduğu belirlenen süreç için yapılan yeterlilik analizi sonucunda Cp değeri 1,53 ve Cpk değeri 1,41 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.26-B). Analiz sonucunda, sürecin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.



**Şekil 3. 26** Pul Kalınlığı Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi Sonuçları

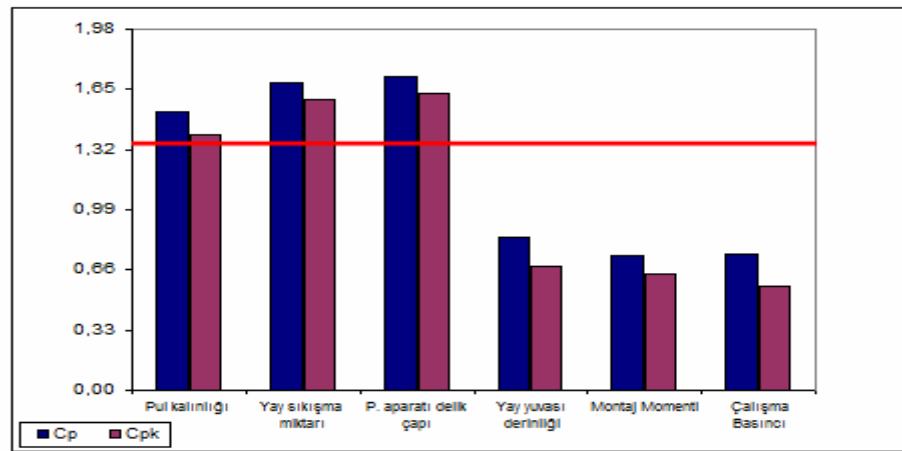
### Yay Sıkışma Miktarı Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi

Analiz yapılmadan önce, sürecin normal dağılıma uyup uymadığı % 95 güvenlilikle hesaplanmış ve p değeri  $> 0,05$  olduğundan sürecin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir (Şekil 3.27-A). Normal dağılıma uyduğu belirlenen süreç için yapılan yeterlilik analizi sonucunda Cp değeri 1,69 ve Cpk değeri 1,49 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.27-B). Analiz sonucunda, sürecin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.



**Şekil 3. 27** Yay Sıkışma Miktarı Normal Dağılım Testi ve Süreç Yeterliliği Analizi Sonuçları

Mevcut durum verileri kullanılarak hesaplanan süreç yeterlilikleri Şekil 3.28'de verilmektedir



**Şekil 3. 28** Süreçlere ilişkin performans parametreleri (Mevcut Durum)

Bu grafik incelendiğinde tedarikçi süreçleri (yay ve pul temin edilen süreçler) için hesaplanan yeterlilik indeksleri ve sigma seviyelerinin işletme süreçlerine göre daha yüksek ve sürecin ihtiyaçlarını karşılar niteliktedir. İşletme içi süreçlerin ise yetersiz olduğu görülmektedir.

Süreç yeterliliği analizi de yapıldıktan sonra, deneysel tasarımda kullanılacak girdi değişkenlerini belirlemek için son adım korelasyon analizidir.

### 3.3.4.2 Korelasyon Analizi

Çıktı değişkeni ile her bir girdi değişkeninin korelasyon analizi yapılarak aralarındaki doğrusal ilişkinin varlığı ve ilişkisi belirlenmiştir. Korelasyon analizleri Minitab programı yardımı ile  $\alpha=0,05$  güven düzeyi ile yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen p değerlerinin güven düzeyi olan 0,05 değerinden küçük olması analiz güvenilir olduğunu gösterecektir. Korelasyon analizleri tüm aday girdi faktörleri için tekrarlanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 3.8’de, her bir girdi faktörünün çıktı faktörü ile ilişkisini gösteren korelasyon katsayısı değerleri verilmiştir.

**Çizelge 3. 9** Girdi faktörlerinin çıktı faktörü ile ilişkisi

Faktörler	<i>Korelasyon Katsayısı</i> ( $\alpha=0,05$ )	Hesaplanan p değeri
<i>P. Aparatı</i> Delik Çapı	-0,034	<0,001
Yay Yuvası Derinliği	0,998	0,001
Montaj Momenti	-0,995	0,001
Pul kalınlığı	0,121	<0,001
Yay sıkışma miktarı	-0,147	<0,001

Çizelge 3.8’de “Korelasyon Katsayısı” sütunu incelendiğinde, yay sıkışma miktarı, *p. aparatı* delik çapı ve pul kalınlığı faktörlerinin çıktı faktörü ile ilişkisinin çok zayıf olduğu görülmektedir.

Montaj momenti girdi faktörünün çalışma basıncına olan etkisi analiz edildiğinde, bu girdi faktörü ile süreç çıktısı arasında % 95 güvenilirlikle pozitif yönde güçlü bir korelasyon olduğu sonucuna varılmıştır (Korelasyon katsayısı -1’e yakın bir değerdir). Yay yuvası derinliği girdi faktörünün çalışma basıncına olan etkisi analiz edildiğinde, bu girdi faktörü ile süreç çıktısı arasında % 95 güvenilirlikle pozitif yönde güçlü bir korelasyon olduğu sonucuna varılmıştır. (Korelasyon katsayısı +1’e yakın bir değerdir)

### 3.3.4.1 Deneysel Tasarımda Kullanılacak Girdi Faktörlerinin Seviyelerinin Belirlenmesi

Ölçüm sistemleri analizi, normal dağılım testleri, süreç yeterliliği testleri ve korelasyon analizleri yapıldıktan sonra Çizelge 3.10’da verilen değerlendirme tablosu kullanılarak deneysel tasarımda kullanılacak girdi faktörleri belirlenmiştir.

**Çizelge 3. 10** Deneysel Tasarımda Kullanılacak Girdi Faktörlerinin Belirlenmesi

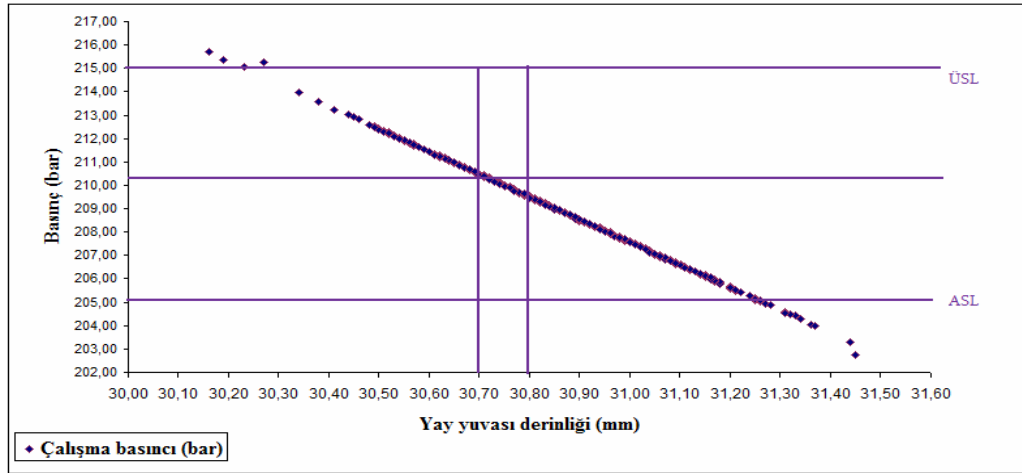
Faktörler	Ölçüm Sistemi Analizi ( $\alpha=0,05$ )	Süreç Yeterlilik Analizi ( $C_p$ ) ( $\alpha=0,05$ )	Süreç Yeterlilik Analizi ( $C_{pk}$ ) ( $\alpha=0,05$ )	Normal Dağılım Testi( $\alpha=0,05$ )	Korelasyon Katsayısı ( $\alpha=0,05$ )	<i>Deneysel Tasarımda Kullanılacak mı?</i>
Çalışma Basıncı	yeterli	0,75 /yeterli değil	0,57 / yeterli değil	0,265>0,05 , Normal dağılım	-	<u>Evet</u>
P. Aparatı Delik Çapı	yeterli	1,72 /yeterli	1,63 /yeterli	0,232>0,05 , Normal dağılım	-0,034	Hayır
Yay Yuvası Derinliği	yeterli	0,84 /yeterli değil	0,68 / yeterli değil	0,138>0,05 , Normal dağılım	0,998	<u>Evet</u>
Montaj Momenti	yeterli	0,74 /yeterli değil	0,64 / yeterli değil	0,489>0,05 , Normal dağılım	-0,995	<u>Evet</u>
Pul kalınlığı	yeterli	1,53 /yeterli	1,40 /yeterli	0,269>0,05 , Normal dağılım	0,121	Hayır
Yay sıkışma miktarı	yeterli	1,69 /yeterli	1,59 /yeterli	0,106>0,05 , Normal dağılım	-0,147	Hayır

Çizelge 3.9’deki değerlendirme sonucunda, montaj momenti ve yay yuvası derinliği girdi faktörlerini içeren bir deney yapılmasına karar verilmiştir. Gerçekleştirilecek deneyin amacı, basınca en çok etki eden montaj momenti ve yay yuvası derinliği için mümkün olan en iyi değerleri bulmaktır.

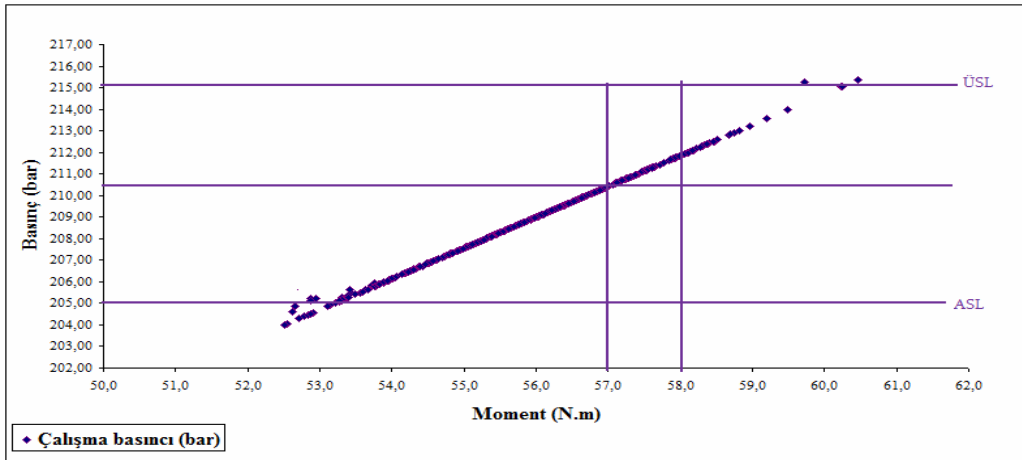
Bu kapsamda montaj momenti ve yay yuvası derinliklerinin farklı ölçümleri için bir deney tasarlanması kararlaştırılmıştır. Bu konuda proje ekibi, ürün tasarımı ile ilgili daha fazla bilgisi olan, mühendislik ve araştırma geliştirme bölümlerinin desteğini almıştır.

Araştırma geliştirme ve mühendislik bölümleri, güvenlik katsayısını da hesaba katarak, ürünün en çok 215 bar basınca dayanabileceğini belirtmişlerdir. Tercih edilen basınç değerlerinin de 210-211 bar aralığında olduğu vurgulanmıştır.

Açıklanan bilgiler ışığında, tasarlanacak olan deney faktörleri (montaj momenti ve yay yuvası derinliği) için 2 ayrı alternatif ortaya çıkmıştır. Bu alternatifler Şekil 3.29 ve 3.30'daki grafiklerin araştırma-geliştirme bölümünün de desteği ile proje ekibi tarafından alınan ortak kararlarla Çizelge 3.11'deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 3. 29 Farklı montaj momentlerine karşılık gelen çalışma basınçları



Şekil 3. 30 Farklı yay yuvası derinliklerine gelen çalışma basınçları

**Çizelge 3. 11** Deneysel tasarımda kullanılacak faktörler ve seviyeleri

Seviye	Girdi Faktörü	
	Yay yuvası derinliği (mm)	Montaj momenti (N.m)
1	30,7	57
2	30,8	58

Faktörler ve seviyeler belirlendikten sonra kullanılacak deneysel tasarımın belirlenmesi aşamasına gelinmiştir. 2 faktör ve 2 seviyeden oluşan  $2^2$  tam faktöriyel tasarımın kullanılmasına karar verilmiştir. EK-2’de deney planı için oluşturulan form verilmektedir.

### 3.3.5. İyileştirme Aşaması

İyileştirme aşamasında, deneysel tasarım parametreleri belirlendikten sonra uygulama yapılacak ve süreç çıktısını istenilen toleranslarda tutacak girdi parametrelerinin seviyeleri belirlenecektir.

#### 3.3.5.1 Örnek Büyüklüğünün Belirlenmesi ve Deneysel Tasarımın Uygulanması

Analiz aşamasında elde edilen veriler doğrultusunda, bir paket program kullanılarak  $2^k$  faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır (k=faktör sayısı). Bu deney tasarımına göre, her faktör seviyesi için deney 10 defa tekrarlanmıştır.

Deney tasarımının paket programın bilgi ekranının genel görünümü Şekil 3.31’deki gibi elde edilmiştir.  $2^2$ , 2 bloklu 10 replikasyonlu deney, planlandığı şekilde uygulandıktan sonra veri analizi aşamasına geçilmiştir.

```

Welcome to Minitab, press F1 for help.
Executing from file: C:\Program Files\Minitab 15\English\Macros\Startup.mac

This Software was purchased for academic use only.
Commercial use of the Software is prohibited.

Full Factorial Design
Factors: 2 Base Design: 2; 4
Runs: 40 Replicates: 10
Blocks: 2 Center pts (total): 0

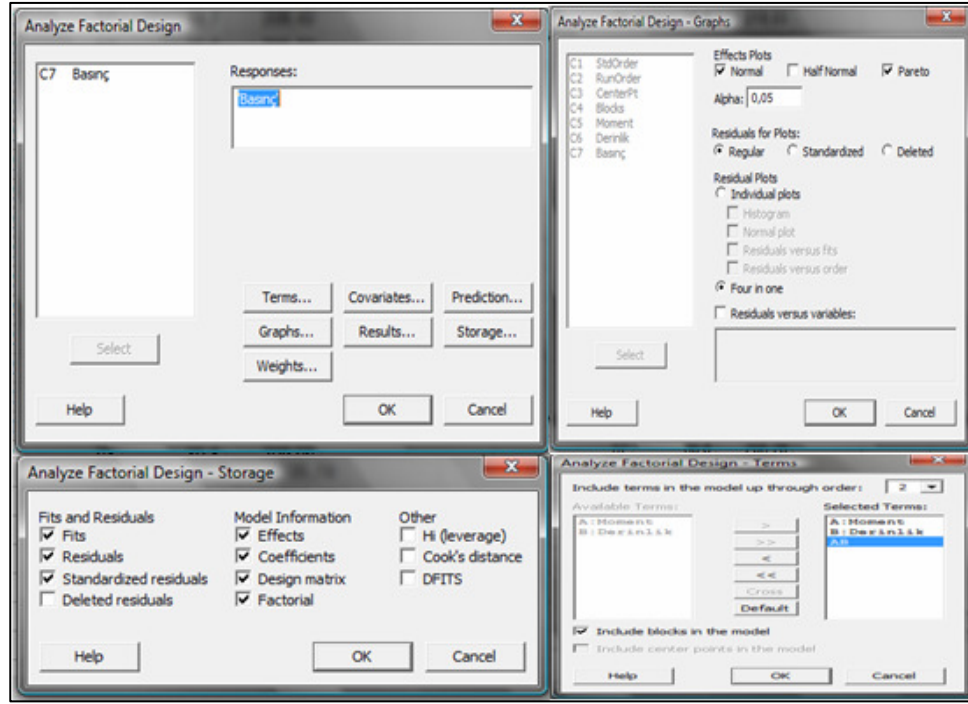
Block Generators: replicates

All terms are free from aliasing.

```

**Şekil 3. 31** Deney tasarımı için seçilen parametrelerin genel görünümü

Deneyin yapılması 2 vardiya sürdüğünden farklı vardiyaların etkisinin olup olmadığının incelenmesi ve etkinin minimizasyonu için bu değişken bloklanmıştır. 2 bloklu  $2^k$  tam faktöriyel 10 replikasyonlu deneysel tasarımın uygulama aşamasında Minitab programı tarafından verilen rassal sıra ile deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar EK-3'teki tabloda "Basınç" isimli sütunda kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3. 32 Deneysel tasarım sonuç/grafik görünümleri verileri seçimleri

Veriler, Minitab programına girildikten sonra Şekil 3.32'de görüldüğü şekilde analizlerin hangi kurallara göre yapılacağı, grafik arayüzlerinin seçimi ve hangi sonuçların kayıt altına alınacağı program menülerinden seçilerek verilerin analizi gerçekleştirilmiştir.

İkili etkileşimleri de içeren başlangıç modelinin istatistiksel analiz sonuçları Şekil 3.33'te verilmektedir. %95 güvenilirlik ve  $\alpha = 0,05$  parametresi ile yapılan analiz sonucunda p değeri 0,05'ten az olan girdi parametrelerinin, basınç üzerinde etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, çıktı parametresi üzerinde etkili olan faktörlerin yay yuvası derinliği ve montaj momenti olduğu sonucuna varılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları, bloklama değişkeni ve ana etkilerin

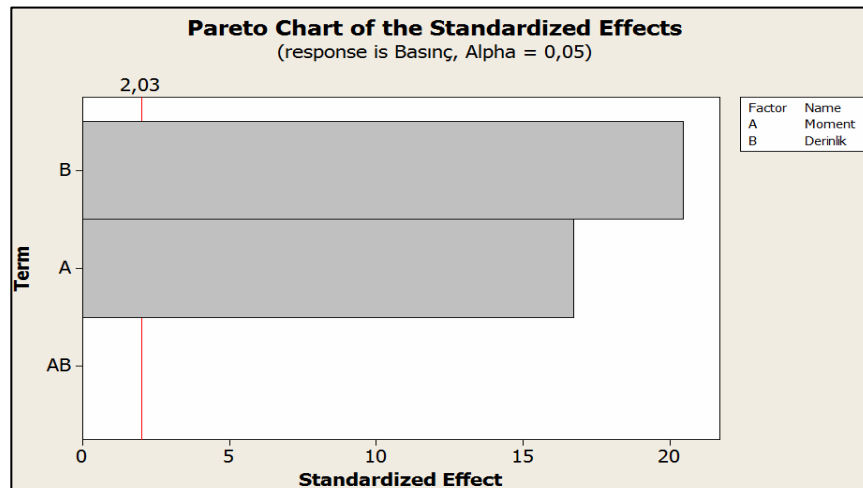


etkileşimlerinin çıktı değişkeni üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Modelin doğrusallığına ilişkin “lack of fit” parametresi de istatistiksel olarak anlamlı çıkmadığından regresyon denkleminin doğrusal ilişkiyi gösterdiği yorumu yapılabilir.

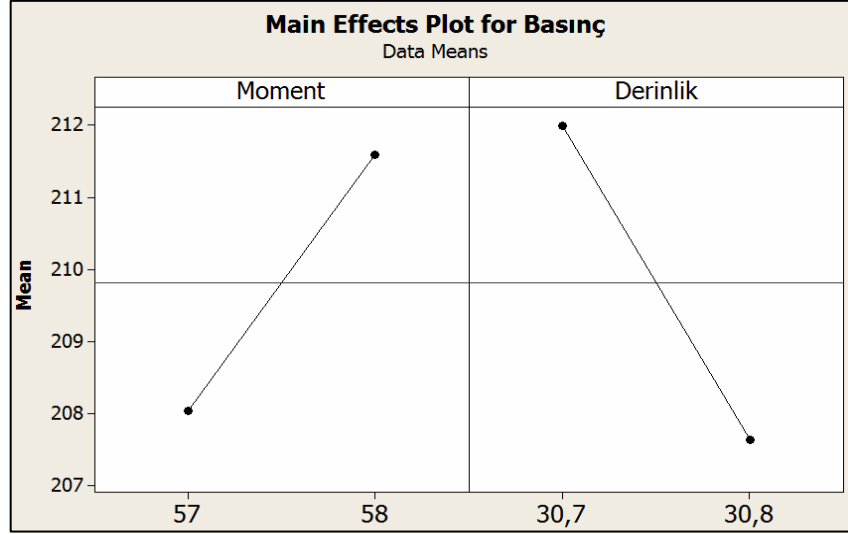
Factorial Fit: Basınç versus Block; Moment; Derinlik						
Estimated Effects and Coefficients for Basınç (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		209,818	0,1080	1942,72	0,000	
Block		-0,002	0,1080	-0,02	0,985	
Moment	3,560	1,780	0,1080	16,48	0,000	
Derinlik	-4,356	-2,178	0,1080	-20,17	0,000	
Moment*Derinlik	-0,002	-0,001	0,1080	-0,01	0,993	
S = 0,683066 PRESS = 21,3293						
R-Sq = 95,09% R-Sq(pred) = 93,59% R-Sq(adj) = 94,53%						
Analysis of Variance for Basınç (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,000	0,000	0,000	0,00	0,985
Main Effects	2	316,483	316,483	158,242	339,15	0,000
2-Way Interactions	1	0,000	0,000	0,000	0,00	0,993
Residual Error	35	16,330	16,330	0,467		
Lack of Fit	3	1,709	1,709	0,570	1,25	0,309
Pure Error	32	14,621	14,621	0,457		
Total	39	332,814				

Şekil 3. 33 Etkileşimleri de içeren modelin istatistiksel analiz sonuçları

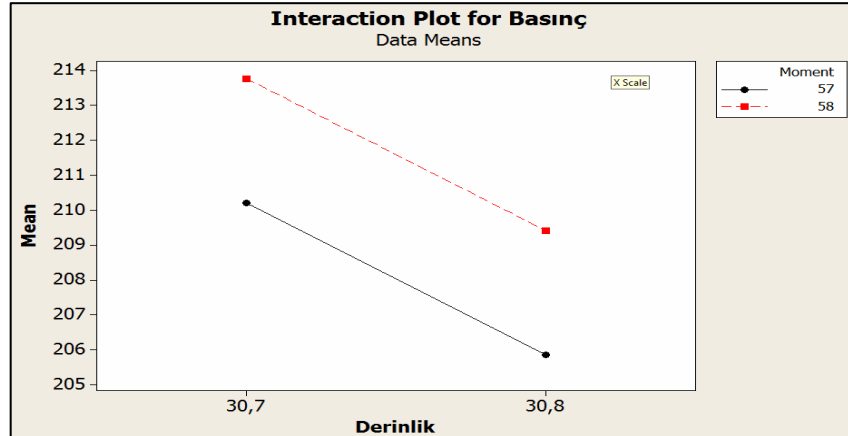
“Derinlik\*Moment” ikili etkileşimi istatistiksel olarak çıktı değişkeni üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir. Şekil 3.36’da da görüldüğü gibi etkileşim grafiklerinin birbirine paralel olması bu iki değişkenin etkileşiminin (Bir değişkenin iki farklı seviyesinde diğer değişkenin çıktıya olan etkisi) anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. 34 Standart etkiler için Pareto Diyagramı

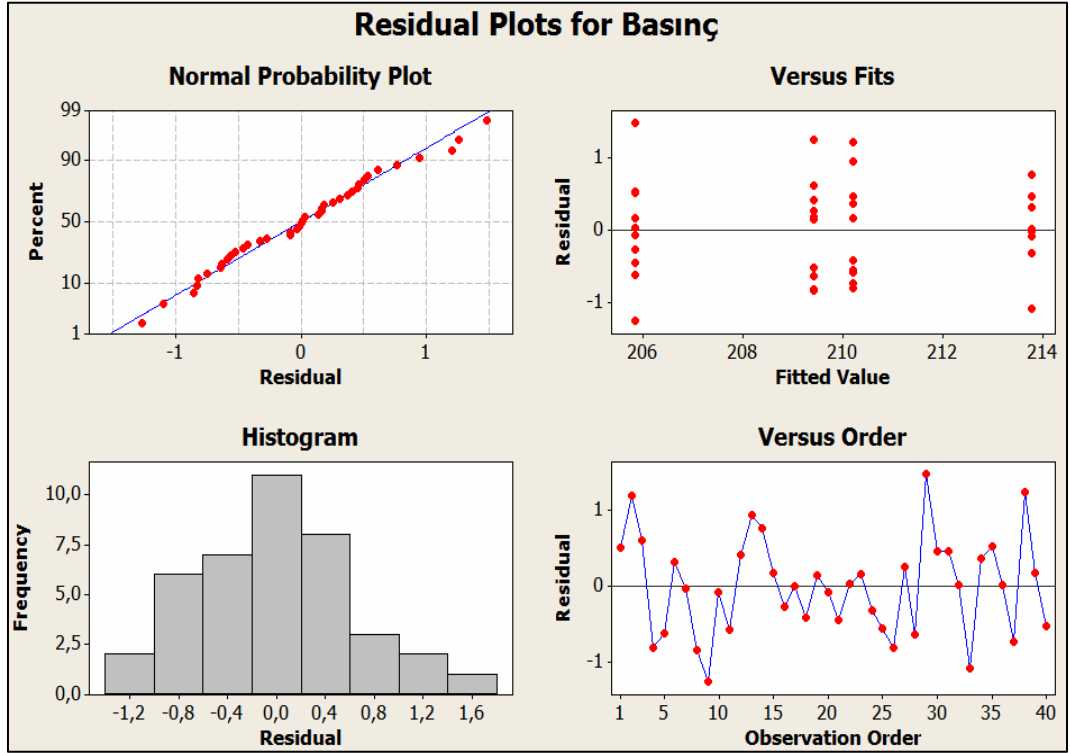


Şekil 3. 35 Ana etkiler grafiği

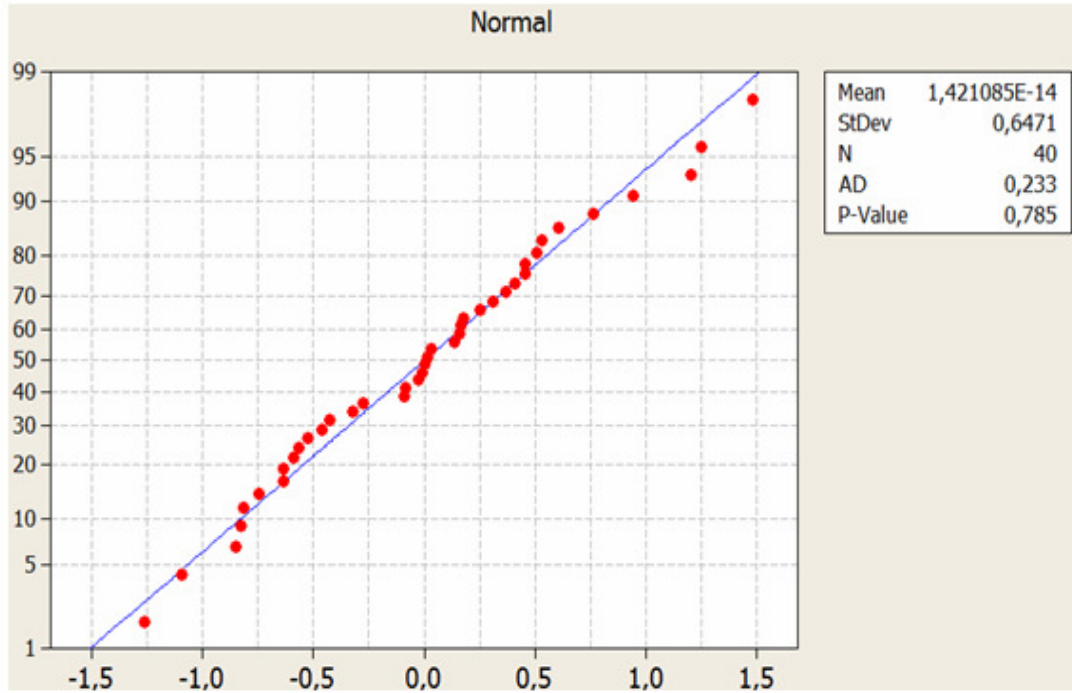


Şekil 3. 36 Etkileşim grafiği

Etkileşimleri de içeren modelin  $R^2$  değeri 93,59 olarak hesaplanmıştır. Bu değer anlamı, çıktı değişkeninde meydana gelen değişimlerin % 93,59'unun modeldeki girdi parametreleri tarafından % 95 güvenilirlik ile açıklanabileceğidir. Ana etki ve etkileşimler incelendikten sonra, model varsayımlarının doğrulanması için artıkların analiz edilmesi aşamasına geçilmiştir. Artıkların analizi Şekil 3.37 ve 3.38'de gösterilmektedir. Artıkların ortalaması 0 olan, herhangi bir desen göstermeyen (rassal olarak dağılmış) bir normal dağılımdan geldiği varsayımları incelenmiştir.



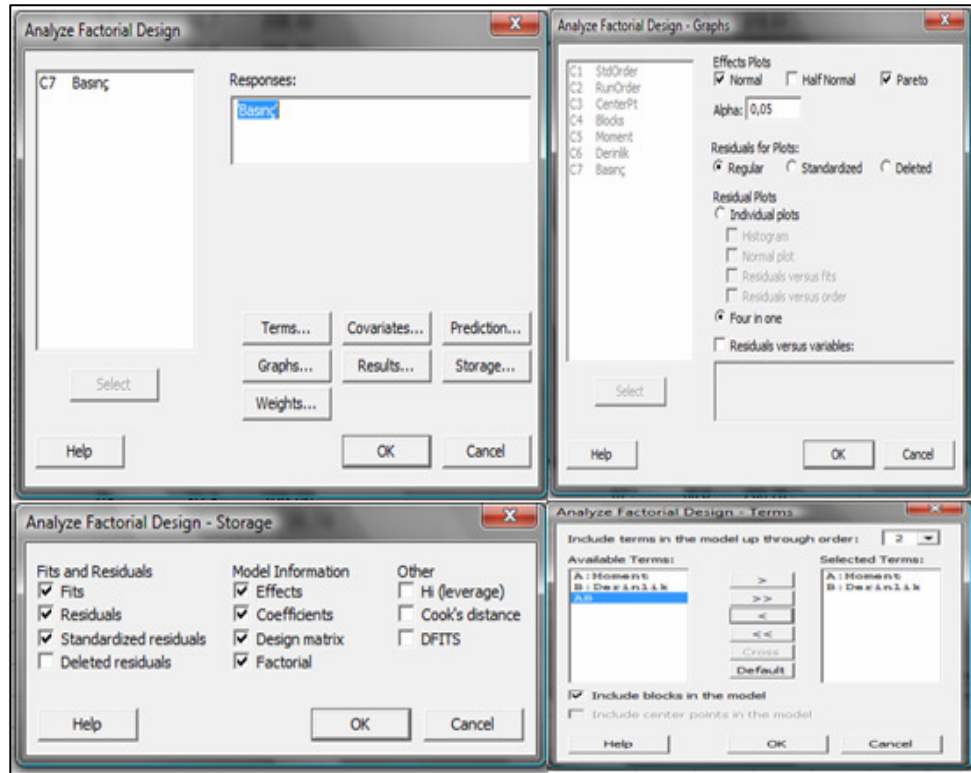
Şekil 3. 37 Etkileşimleri de içeren modelin artık analizi grafikleri



Şekil 3. 38 Etkileşimleri de içeren modelde artıkların normal dağılım testi ve grafiği

Şekil 3.16'daki grafiklerden artıkların herhangi bir desene sahip olmadığı, ölçüm sırasından bağımsız olarak rassal bir şekilde dağıldığı gözlemlenmektedir. Verilerin sayısal olarak ifade edilebilmesi ve normal dağılıma uyumdan emin olabilmek için artıklar için normal dağılım testi yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.37'de verilmiştir. Yapılan analiz sonucu elde edilen p değerinin 0,785 olması artıkların normal dağılıma uyduğunun % 95 güvenlilikle istatistiksel olarak kanıtlamıştır.

Model varsayımlarının da geçerlenmesinden sonra, süreç çıktısı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olmayan etkileşim değerlerinin sistemden çıkarılması ile indirgenmiş model elde edilmiştir. İndirgenmiş model için analizlerin hangi kurallara göre yapılacağı, grafik arayüzlerinin seçimi ve hangi sonuçların kayıt altına alınacağı program menülerinden seçilerek (Şekil 3.39) verilerin analizi gerçekleştirilmiştir.



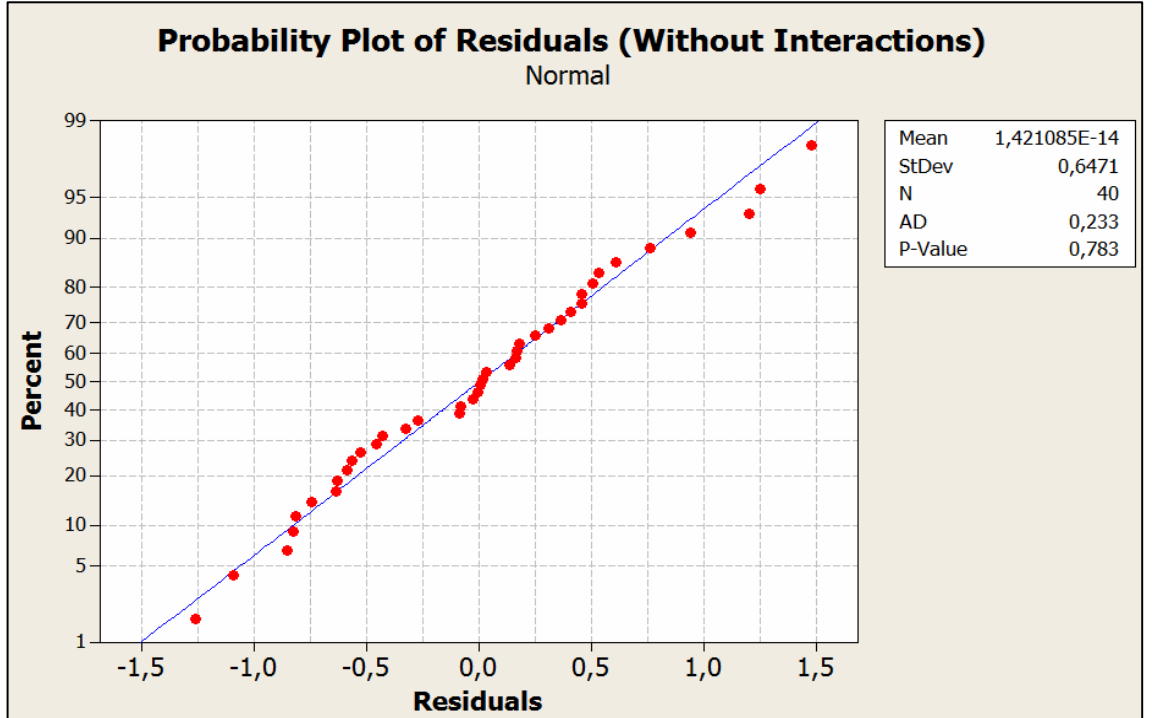
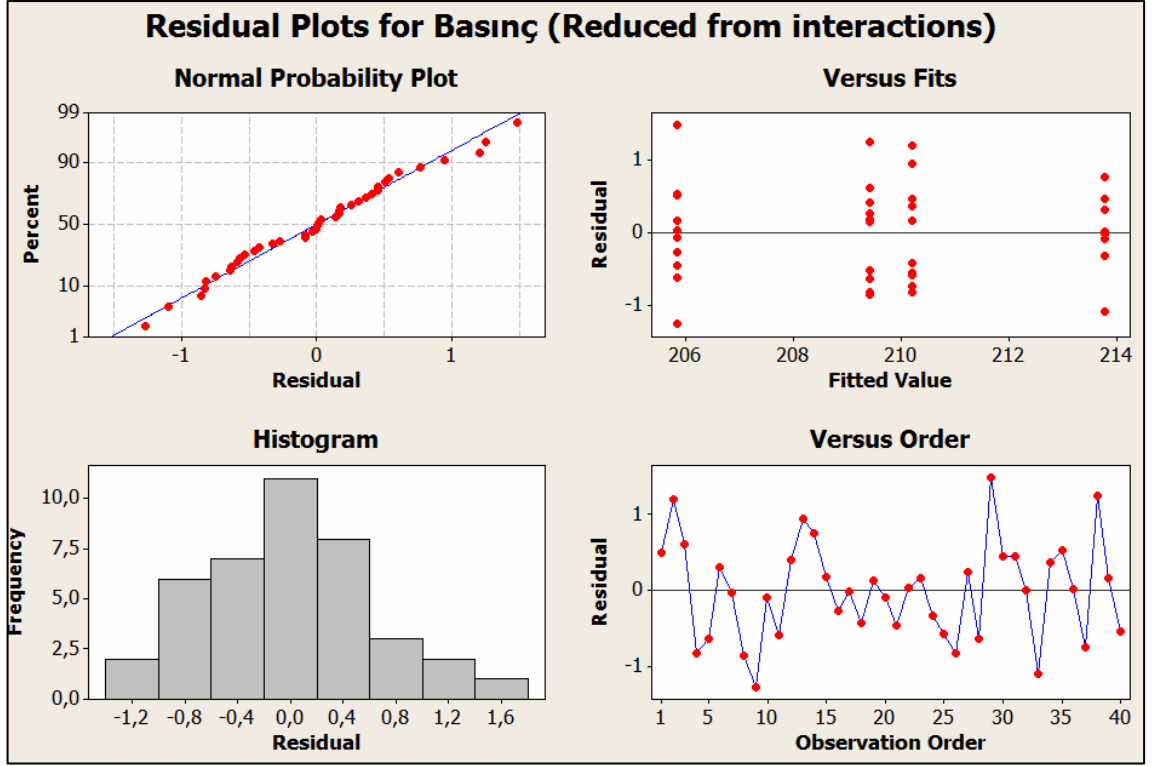
Şekil 3. 39 İndirgenmiş model için tasarım ve grafik görünümüleri verileri seçimleri

İndirgenmiş model için analiz sonuçları Şekil 3.39'da verilmektedir. Modelin  $R^2$  değeri % 94,27 olarak hesaplanmıştır. Bu değer anlamı, çıktı değişkeninde meydana gelen değişimlerin % 94,27'sinin modeldeki girdi parametreleri tarafından % 95 güvenilirlik ile açıklanabileceğidir. Modelin doğrusallığına ilişkin "lack of fit" parametresi de istatistiksel olarak anlamlı çıkmadığından regresyon denkleminin doğrusal ilişkiyi gösterdiği yorumu yapılabilir. Model girdilerinin tamamının çıktılar üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı olduğundan modelin varsayımlarının test edilmesi aşamasına geçilmiştir.

Factorial Fit: Basınç versus Moment; Derinlik						
Estimated Effects and Coefficients for Basınç (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		209,818	0,1050	1997,44	0,000	
Moment	3,560	1,780	0,1050	16,95	0,000	
Derinlik	-4,356	-2,178	0,1050	-20,73	0,000	
S = 0,664353 PRESS = 19,0860						
R-Sq = 95,09% R-Sq(pred) = 94,27% R-Sq(adj) = 94,83%						
Analysis of Variance for Basınç (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	316,483	316,483	158,242	358,53	0,000
Residual Error	37	16,330	16,330	0,441		
Lack of Fit	1	0,000	0,000	0,000	0,00	0,993
Pure Error	36	16,330	16,330	0,454		
Total	39	332,814				
Estimated Coefficients for Basınç using data in uncoded units						
Term	Coef					
Constant	1344,59					
Moment	3,56000					
Derinlik	-43,5600					

Şekil 3. 40 İndirgenmiş modelin istatistiksel analiz sonuçları

Şekil 3.41'deki grafiklerden artıkların herhangi bir desene sahip olmadığı, ölçüm sırasından bağımsız olarak rassal bir şekilde dağıldığı gözlemlenmektedir. Verilerin sayısal olarak ifade edilebilmesi ve normal dağılıma uyumdan emin olabilmek için artıklar için normal dağılım testi yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.42'de verilmiştir. Yapılan analiz sonucu elde edilen p değerinin 0,783 olması artıkların normal dağılıma uyduğunun % 95 güvenilirlikle istatistiksel olarak kanıtlamıştır.



Şekil 3. 41 İndirgenmiş modelin artık analizi grafikleri

Şekil 3. 42 İndirgenmiş modelde artıkların normal dağılım testi ve grafiği

Model varsayımlarının da geçerlenmesinden sonra girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki bağlantının matematiksel ifadesi olan regresyon hesabı denklem 3.1'deki gibi bulunmuştur.

$$\text{Basınç} = 1344,59 + (3,56 \times \text{Moment}) - (43,56 \times \text{Derinlik}) \quad (3.1)$$

Çalışma basıncı maksimum değerine 58 N.m montaj momenti ve 30,7 mm yay yuvası derinliği için 213,778 olarak ulaşmıştır (3.1 denkleminde ilgili sayılar kullanılarak hesaplanan değer 213,778'dir). Moment değeri için kullanılan aletin  $\pm 1$  N.m toleransa sahip olması sebebiyle 58 N.m değerine ayarlanırsa 57-59 N.m arasında değerler üretecektir. 59 N.m değeri, çalışma basıncını toleransların dışına çıkaracaktır. Mühendislik ve ar-ge bölümlerinin tespit etmiş olduğu üst limit olan 215 değerinin aşılması riski elimine edilmek istendiğinden, montaj momentinin 57 N.m, yay yuvası derinliğinin ise 30,7 mm olmasına teknik birimlerin de onayı alınarak karar verilmiştir.

Ayrıca süreçlerin iyileştirilmesi için aşağıda belirtilen noktalarda iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

Yanlış montaj momenti hatasının en büyük sebebi, dijital olmayan bir gösteregeye sahip tork anahtarı ile çalışıyor olmasıdır. Bu hatayı engellemek üzere manüel tork anahtarı yerine, dijital kadranlı ve bilgisayar kontrollü bir sıkma ekipmanı alınmıştır. Önceki işlemde insanın etkisi daha fazla iken, yeni ekipmanda operatör sadece ürünleri kalıba yerleştirmekte ve sıkma işleminden sonra almaktadır.

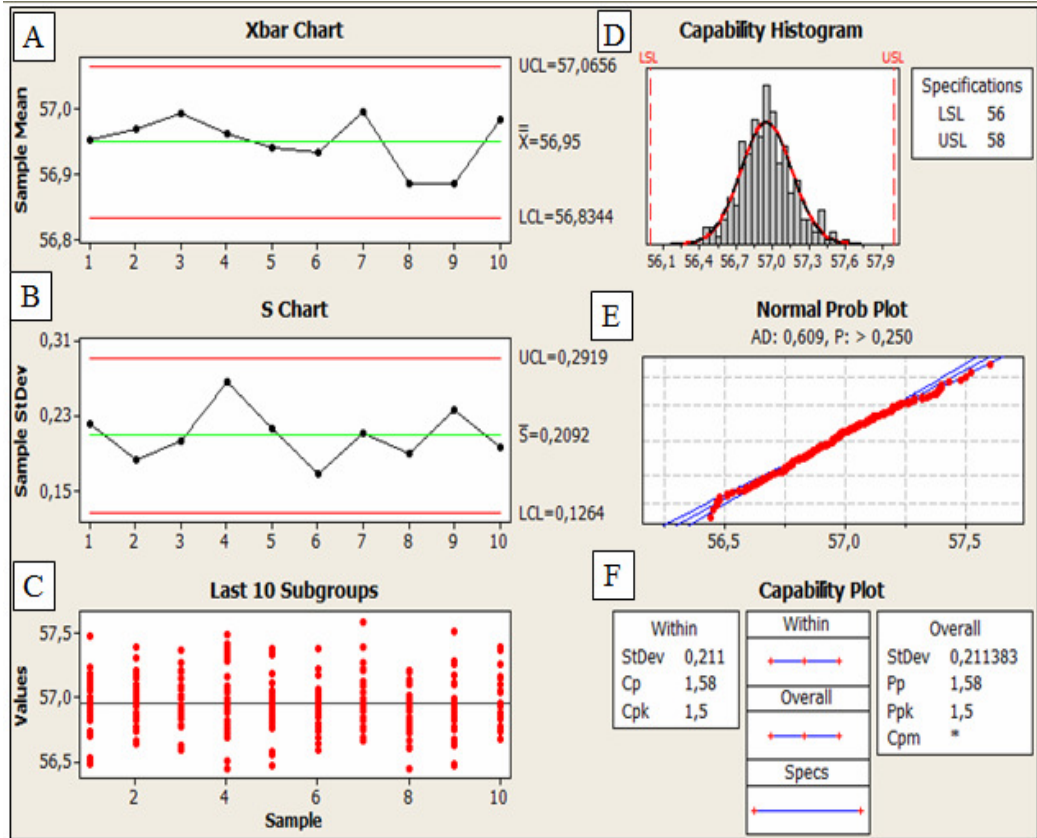
### 3.3.6. Kontrol Aşaması

İncelenen işlemler için tolerans limitleri, moment uygulama işlemi için  $\pm 1$  N.m'dir. Yeni sürece ait istatistiksel analizler yapmak için 10 gün boyunca 30'ar adet veri toplanmış ve Şekil 3.43'teki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Şekillerde görülen kontrol grafiklerinde, tolerans aralığından sapan örneğe rastlanmamıştır.

Deney tasarımı sonucuna göre yay yuvası derinliğine ait tolerans yeniden tespit edilmiştir ( $30,7 \pm 0,05$  mm). Yeni süreci analiz edebilmek için 10 gün boyunca 30'ar adet

veri toplanmış ve Şekil 3.42’de görülen sonuçlara ulaşılmıştır. Montaj sürecinden 10 gün boyunca 50’şer adet örnek alınıp kaydedilmiştir. Verilerin istatistiksel analizi Şekil 3.19-E’de verilmektedir.  $C_p$  değeri 1,7,  $C_{pk}$  değeri 1,43 olarak hesaplanmıştır. 3.43-A ve 3.43-B’deki kontrol grafiklerinin tolerans sınırları içinde olması da sürecin iyileştiğinin göstergesidir.



Şekil 3. 43 İyileştirme sonrası moment uygulama süreci verileri

Şekil 3.43-3.45’teki grafikler incelendiğinde en düşük süreç yeterliliklerinin yay yuvası delme işleminde hesaplandığı gözlemlenmektedir. Yay yuvasının tolerans dışında geldiği durumlar incelendiğinde, bu işlemi yapan makinenin makine yapabilirlik indislerinin düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi ise kullanılan takımların ömürlerine ilişkin standartların olmamasıdır. Bu konuda bakım bölümü ayrı bir çalışma yapmış ve bu makinenin takım ömürlerini tespit ederek standart hale getirmiştir. Bir başka önemli nokta da kullanılan makine ve ekipmanların fazla yaşlı olmasıdır. Ancak bu konuda bir yatırım planlanmadığı için bu nokta 2010 yılı yatırım planlarında görüşülmek üzere üst yönetime bildirilmiştir.





Yapılan iyileştirme sonucunda süreç yeterlilik indekslerinde kayda değer bir artış sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra kontrol aşamasına geçilmiş ve süreçte sağlanan iyileştirmenin sürekliliğinin sağlanması amaçlanmıştır.

İyileştirme aşamasında uygulanan çözümlerin etkinliğini kontrol etmek maksadı ile aşağıdaki ölçüler için istatistiksel süreç kontrolü uygulamasına karar verilmiştir.

- Montaj hattı, çalışma basıncı
- Montaj hattı, montaj momenti
- Yay yuvası demli süreci, yay yuvası derinliği

Belirlenen bu ölçüler için istatistiksel kontrol kartları kullanılmaktadır. Operatörler her vardiyada örnekler alarak ölçmekte ve bu kartlara işlemektedirler.

Bu aşamadan sonra kalite kontrol bölümü tarafından örnekleme planları ve iş talimatları güncellenmiş, üretim mühendisleri tarafından çalışanlara (3 vardiya için ayrı olmak üzere) bilgilendirme toplantıları ile bilgi yayılımı sağlanmıştır.

Bu aşamadan sonra sürecin güncel talimatlara uygun işlemesi üretim mühendisleri tarafından ve kalite kontrol birimi tarafından yapılan iç süreç denetimleri ile garanti altına alınacak ve istatistiksel proses kontrol ile sürecin devamlı kontrol altında tutulması sağlanacaktır.

### **3.7. Proje Fizibilite Analizi**

Proje sonucunda, hata oranı % 5,2 olan bir sürecin parametreleri deneysel tasarım kullanılarak iyileştirilmiş ve iyileştirilmiş sistemin hata oranı % 0,0007 olarak hesaplanmıştır.

Hesapta kullanılan veriler işletmenin gizlilik prensibi sebebiyle belirli bir katsayı ile çarpılarak verilmiştir. Fizibilite analizinde kullanılan veriler Çizelge 3.12'de verilmektedir. Bu aşamada, proje ekibi üyesi olan finans birimi çalışanından da destek alınarak projenin finansal getirisi ve yatırımın geri dönüş hesabı Çizelge 12'deki toplam kazanç dikkate alınarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3. 12** Fizibilite analizinde kullanılan maliyet verileri

<b>Maliyet merkezi</b>		<b>Birim</b>
Hat duruş maliyetli	12	TL/dk.
Hatta çalışan işçi sayısı	18	kişi
Adam başına işçilik maliyeti	7	tl/saat
Ortalama ek iş süresi	18	dk/parça
Yıllık üretim adedi	855.360	adet/yıl
Mevcut Iskarta Oranı	5,20%	-
İyileştirme sonrası iskarta oranı	0,0007%	-
Ek iş için montaj hattında harcanan süre	3,20	dk/parça
Ek iş için maliyet	0,16	TL/dk.

Montaj hattının dakikalık duruş maliyeti 12 TL. olarak alınmıştır. İşletmede 8 montaj hattı bulunmakta ve deneylerde kullanılan montaj hattında 18 işçi çalışmaktadır. Çalışmanın fizibilite analizi deneyde kullanılan montaj hattı için yapılacaktır. Bir işçinin saatlik ücreti ortalama 7 TL. olarak alınmıştır. Deney parametreleri kullanılarak yapılan üretimde herhangi bir iskarta ve ek iş ihtiyacı bulunmadığından parçalar seri olarak müşteriye sevk edilmiş ve herhangi bir ek malzeme maliyeti oluşmamıştır.

Endüstri mühendisliği tarafından yapılan ölçümlerde ek işe ayrılan tolerans dışı bir parçanın toplam 18 dakika işlem gördüğü ve montaj hattından tekrar geçirildiği görülmüştür. Kullanılan montaj hattının günlük kapasitesi 3 vardiyada (1150 dakika net çalışma süresi ) 3300 adet olup 2,87 dakika /parça frekansı ile üretim yapmaktadır.

Haftada 6 gün yılda 48 hafta çalışma olduğu ve hattın müşteri ihtiyaçlarını karşılamak üzere %90 dolulukla çalıştığı varsayıldığında yıllık toplam üretim adedi 855.360 olacaktır. İyileştirme öncesi durumda %5,2 hatalı ürün üretilmekte ve bu ürünler sökülerek ek işe tabi tutulmakta ve tekrar montaj hattından geçirilmektedir. Ek iş için montaj hattı yanında tanımlanan alanda bir ürün için 3,2 dk. zaman harcanmakta ve birim maliyet 0,16 TL/dk. olarak finans bölümü tarafından verilmektedir. Verilere işçilik maliyeti de dahildir. İyileştirme öncesi durumda 855.360 adetten yaklaşık 44.480 adet ek işe ayrılacak ve işletme için yıllık 22.773TL. maliyet oluşacaktır. İyileştirme sonrası ek işe toplam 6 parça ayrılacak ve yıllık maliyet sadece 3 TL. olacaktır. Ek işe ayrılan parçalar azaldığı için hattın kullanım oranı ve verimlilik parametrelerinde de ciddi bir artış gözlemlenecektir.

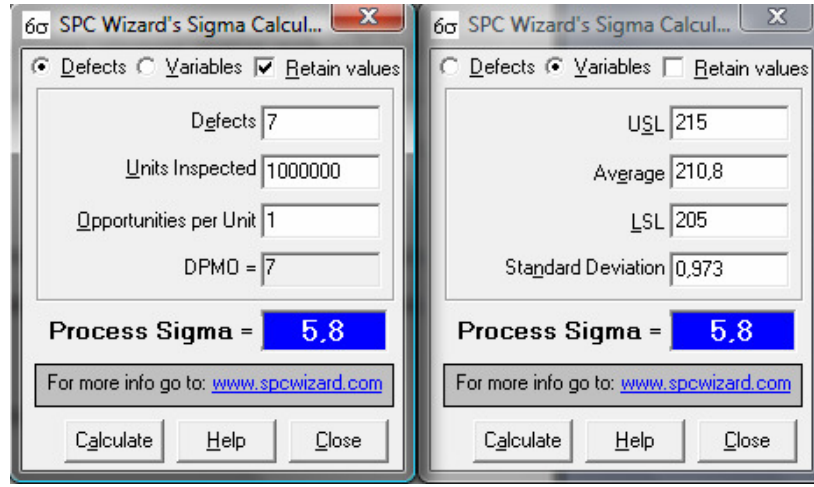
**Çizelge 3. 13** Projenin yıllık getiri hesabı

			Maliyet	Birim
Hat duruş maliyeti	240	dk	2.880,00	TL
İşçilik maliyeti	4	saat	504,00	TL
İyileştirme sonrası ek iş	6	adet/yıl	3,07	TL/yıl
Toplam maliyet			<b>3.387,07</b>	TL
			Kazanç	Birim
Önceki durum yıllık ek iş sayısı	44479	adet/yıl	<b>22.773,10</b>	TL/yıl
Toplam kazanç			19.386,04	TL/yıl

Sonuç olarak, hattın toplam 4 saatlik duruş maliyeti (parametre ayarları ve eğitim verilmesi için geçen süre) 2880 TL, 4 saatlik işçi verimliliği kaybı 504 TL ve toplam proje maliyeti 3384 TL. olarak hesaplanmıştır. Proje sonucunda ek ekipman ya da işçilik maliyeti oluşmayacaktır. Projenin yıllık kazancı bir montaj hattı için 22.770 TL. , aylık kazanç ise 1898 TL'dir (Çizelge 3.13). 1,8 ay gibi kısa bir zamanda yapılan yatırım kendisini amorti edecektir. Yapılan çalışmanın hiçbir ek yatırım ya da deney olmaksızın diğer 7 montaj hattına uygulanması sonucu bu sürenin 1 aydan da aşağıya ineceği gözden kaçmamalıdır.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Elde edilen süreç yeterlilik indeksleri göz önünde bulundurulduğunda, projenin başlangıcında hedeflenen %1,8 tolerans dışı ürün oranından daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Süreçten elde edilen veriler analiz edildiğinde hata oranının milyonda 7 seviyesine indiği gözlemlenmektedir. İyileştirilmiş sürecin hata oranı % 0,0007 olarak hesaplanmıştır .

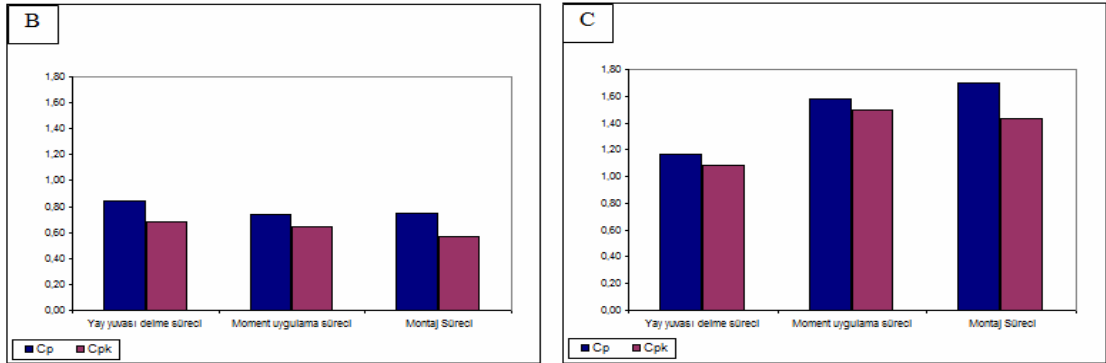


**Şekil 3. 45** İyileştirilmiş sürecin  $\sigma$  seviyesi ve hata oranı  
Hesaplama kullanılan veriler ve alınan sonuç Şekil 3.45'te verilmektedir.

A	İyileştirme Öncesi	Yay yuvası delme süreci	Moment uygulama süreci	Montaj Süreci
Cp		0,84	0,74	0,75
Cpk		0,68	0,64	0,57

İyileştirme Sonrası	Yay yuvası delme süreci	Moment uygulama süreci	Montaj Süreci
Cp	1,17	1,58	1,70
Cpk	1,08	1,50	1,43



**Şekil 3. 46** İyileştirme öncesi ve sonrası süreç yeterlilik indekslerinin karşılaştırılması

İncelenen süreçlerin iyileştirme öncesi ve sonrası  $C_P$  ve  $C_{PK}$  değerlerinin sayısal karşılaştırılması Şekil 3.46-A'daki gibidir. Şekil 3.46-B'de, iyileştirme öncesi yeterlilik analizlerinin, Şekil 3.46-C'de ise iyileştirme sonrası yeterlilik analizlerinin grafiksel gösterimi verilmektedir.

Yapılan uygulama sonucunda, proses çıktısı hedeflenen değerden (%1,8) daha da iyi bir noktaya (% 0,007) getirilmiştir. Süreç hakkında detaylı bilgi sahibi olunmuştur. İstatistiksel tekniklerin yanında, süreç bilgisi iyi olan bir ekip çalışıldığı için zaman kaybı yaşanmadan doğru kararlar alınabilmektedir. Yapılan iyileştirmenin sürdürülebilirliğinin sağlanması için gerekli eğitimler verilmiş, talimatlar ve örnekleme planları güncellenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

- ANDERSON, T.W, DARLING, D.A. 1952. Asymtotic theory of certain “goodness of fit” criteria based on stochastic processes. *Annals and Mathematical Statistics*, 23:193-212.
- BOX, G. E. P. , DRAPER, N. R. 1987. *Emprical Model Building and Response Surfaces*. Wiley, New York.
- CAULCUTT, R. 2001. Why is Six Sigma so Successful?. *Journal of Applied Statistics*, 28: 305-309.
- COLEMAN, S. Y. , Aranakumar, G., Foldvary, F. 2001. SPC as a Tool for Creating a Successful Business Measurement Framework. *Journal of Applied Statistics*, 28: 326.
- CROM, S. 2000. Implementing Six Sigma in Europe: A Cross – Cultural Perspective. *Quality Progress*, 73: 45-47.
- DALE, B. G. 1994. *Managing Quality*. Prentice Hall, Manchester.
- DEAN, A. , Voss, D. 1999. *Design and Analysis of Experiments*. Springer, New York.
- EFİL, İ., 2003. Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Kaliteye Ulaşmada Önemli Bir Araç “ISO 9000 Kalite Yönetim Sistemi”. ALFA Yayınları, İstanbul.
- FISHER, R. A. 1966. *The design of Experiments* 8th edition. Hafner Publishing Company, New York.
- GITLOW, H. S. , Oppenheim, A. J. 2005. *Quality Management* 3. ed. McGraw Hill, Singapore, 16: 30- 33.
- GÜRSAKAL, N. , Oğuzlar, A. 2003. *Altı Sigma*. Vipaş Yayınları, Bursa.
- HAHN, J. G., Hill, J. W. 1999. The Impact of Six Sigma Improvement. *The American Statistician*, 53: 15-24.
- HARRY, M. J. 1994. *The Vision of Six Sigma: A Roadmap for Breakthrough*. Six Sigma Publishing Co. , Phoenix.
- HENDRICKS, C. A. , Kelbaugh R. L. 1998. Implementing Six Sigma at GE. *Journal for Quality & Participation*, 21: 48–54.
- HIRANO, H. 1996. *5S for Operators: 5 Pillars of the Visual Workspace*. Productivity Pres, 2(1) : 7- 8.
- İŞİĞİÇOK, E. 2005. *Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol*. Ezgi Kitabevi Yayınları, Bursa.
- İŞİĞİÇOK, E. 2007. *Mükemmelliğe Giden Yolda Altı Sigma Modeli*. Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi Bildirisi. Malatya, 24-25 Mayıs 2007.
- MASON, R. 2003. *Statistical Design and Analysis of Experiments with Applications to Engineering and Science*. John WILEY & Sons Publication, Missouri.
- McClusky, R. 2000, The rise, fall, and revival of six sigma. *Measuring Business Excellence*, 4(2):6–17.
- MONTGOMERY, D. C. 2001. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, Inc. , Singapore.
- MONTGOMERY, D. C. 2003. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons, Inc. , Singapore.
- ÖZDAMAR, K. 1999. *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi*. Kaan Kitabevi, Eskişehir.

- PANDE, P. , NEUMANN, R. P. 2000. The Six Sigma Way. McGraw Hill, New York.
- PIGNATIELLO, J. J. , RAMBERG, J. S. 1992. Top Ten Triumphs and Tragedies of Genichi Taguchi. *Quality Engineering*, 4(1): 211-225.
- RUNGER, C. , Montgomery, D. C. 2002. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons Inc. , Singapore.
- SEARLE, S.R. 1987. Topics in Variance Component Estimation. *Biometrics*, 27: 156-175.
- SCREBEC, Q. R. 1990. Ancient Process Control and Its Modern Implications. *Quality Progress*, 25(1) : 49-73.
- SCHEFFE, H. 1966. Alternative Models for the Analysis of Variance. *Annals of Mathematical Statistics*, 27(1): 243-254.
- SERPER, Ö. 1996. *Uygulamalı İstatistik 1*. Filiz Kitabevi, İstanbul.
- SERPER, Ö. 2004. *Uygulamalı İstatistik 2*. Ezgi Kitabevi, Bursa.
- SHEWHART, W. A. , Deming, W. E. 1986. *Statistical Methods from the Viewpoint of Quality Control*. Dover Pres, 16(2): 20-35.
- SNEE, D. R. 2000. Six Sigma Improves Both Statistical Training and Processes. *Quality Progress*, 16: 2-8.
- TAGUCHI, G. 1987. *System of Experimental Design : Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Cost*, UNIPUB, New York.
- WILSON, P. M. 1999. *Six Sigma – Understanding the Concept, Implications and Challenges*. Advanced Systems Consultants, New York.
- WYPER, B. , Harison, A. 2000. Deployment of Six Sigma Methodology in Human Resource Function: A Case Study. *Total Quality Management* 11: 722-724.



## 6.EKLER

## EK-1 Neden-Sonuç Matrisi

Süreç Adımları	Süreç Girdileri	Müşteri beklentileri (Öncelik puanlarına göre)					Toplam
		10	10	10	8	6	
		Basınç değerinin tolerans aralığı içinde olması	Teknik fonksiyonları eksiksiz şekilde yerine getirme	Parçanın monte edildiği motorun emisyon değerlerinin yasal kriterlere uyması	Maliyet açısından rakip ürünlere göre avantajlı olma	Tan zamanında sevkiyat	
1. Gövde Üretimi	Üretim planı	0	0	0	0	9	54
	Hammadde	4	4	5	4	0	162
1.1. Kaba tornalama	Güncel imalat resmi	2	1	3	0	0	60
	Makine ayar parametreleri	1	1	2	1	0	48
	İmalat ve kontrol talimatları	2	2	2	1	0	68
1.2. İnce tornalama/yay yuvası delme	Güncel imalat resmi	2	1	3	0	0	60
	Makine ayar parametreleri	10	9	8	1	0	278
	İmalat ve kontrol talimatları	2	2	2	1	0	68
1.3. Kalite kontrol	Örnekleme planı	0	0	0	2	0	16
	Kontrol planı	0	0	0	0	0	0
	Kontrol talimatı	0	0	0	1	0	8
	Ölçü aleti	0	0	0	1	0	8
	Güncel imalat resmi	0	0	0	0	0	0
1.4. Yıkama	Yıkama sıvısı	2	2	1	1	0	58
	Yıkama süresi	3	3	1	1	1	84
1.5. Isıl işlem / sertleştirme	Isıl işlem parametreleri	5	4	5	0	2	152
	İmalat ve kontrol talimatları	2	1	1	0	0	40
	İşlem süresi	5	4	5	1	2	160
	Uygun kimyasal koşullar	5	4	5	0	0	140
1.6. Pah kırma	Güncel imalat resmi	2	4	3	0	0	90
	Makine ayar parametreleri	1	1	2	1	0	48
	İmalat ve kontrol talimatları	2	2	2	1	0	68
1.7. Dış yüzey taşlama	Güncel imalat resmi	2	1	3	0	0	60
	Makine ayar parametreleri	1	1	2	1	0	48
	İmalat ve kontrol talimatları	2	2	2	1	0	68
1.8. Yıkama	Yıkama sıvısı	2	2	1	1	0	58
	Yıkama süresi	3	3	1	1	1	84
2. P. aparatı üretimi	Üretim planı	0	0	0	0	9	54
	Hammadde	5	5	3	3	0	154
2.1. Kaba tornalama	Güncel imalat resmi	2	1	3	0	0	60
	Makine ayar parametreleri	1	1	2	1	0	48
	İmalat ve kontrol talimatları	2	2	2	1	0	68
2.2. P. deliği delme	Güncel imalat resmi	2	1	3	0	0	60
	Makine ayar parametreleri	10	8	9	1	1	284
	İmalat ve kontrol talimatları	2	3	2	1	0	78
2.3. İnce tornalama	Güncel imalat resmi	2	1	3	0	0	60
	Makine ayar parametreleri	2	3	4	1	0	98
	İmalat ve kontrol talimatları	2	2	2	1	0	68
2.4. Kalite kontrol	Örnekleme planı	0	0	0	2	0	16
	Kontrol planı	0	0	0	0	0	0
	Kontrol talimatı	0	0	0	1	0	8
	Ölçü aleti	0	0	0	1	0	8
	Güncel imalat resmi	0	0	0	0	0	0
2.5. Yıkama	Yıkama sıvısı	2	2	1	1	0	58
	Yıkama süresi	3	3	1	1	1	84
2.6. Isıl işlem / sertleştirme	Isıl işlem parametreleri	5	4	5	0	2	152
	İmalat ve kontrol talimatları	2	1	1	0	0	40
	İşlem süresi	5	4	5	1	2	160
	Uygun kimyasal koşullar	5	4	5	0	0	140
2.7. Taşlama	Güncel imalat resmi	2	1	3	0	0	60
	Makine ayar parametreleri	1	1	2	0	0	40
	İmalat ve kontrol talimatları	2	2	2	1	0	68
2.8. Yıkama	Yıkama sıvısı	2	2	1	1	0	58
	Yıkama süresi	3	3	1	1	1	84
3. Montaj	Üretim planı	0	0	0	0	9	54
	Montaj ve montaj kontrol talimatları	2	2	2	1	0	68
	Güncel imalat resmi	2	1	3	0	0	60
3.1. Püskürtme aparatı gruplama	Gruplama ve kontrol talimatı	2	1	3	0	0	60
	Tolerans ölçüm ve gruplama talimatı	1	1	2	0	0	40
3.2. Gövde-Püskürtme aparatı montajı	Gövde	6	3	5	1	0	148
	İğne	6	3	5	1	0	148
	Somun	6	3	4	1	1	144
	Yay	8	6	8	1	1	234
	Pul	9	5	7	1	1	224
	Moment kontrolü somun sıkma aparatı	9	6	10	0	1	256
	Montaj ve montaj kontrol talimatları	2	3	2	1	1	84
3.3. Kalite kontrol	Ölçüm aparatı parametreleri	0	0	0	0	0	0
	Kontrol talimatı	0	0	0	1	0	8
3.4. Paketleme	Paketleme malzemesi	0	0	0	1	0	8
	Paketleme talimatı	0	0	0	1	0	8
3.5. Sevkiyat	İrsaliye/fatura	0	0	0	0	9	54
	Sevk aracı	0	0	0	0	9	54

**EK-2 Deney Plan Formu****Ürün:** Püskürtme elemanı**Takım Lideri:** Fatih ÇIRKAN  
süreçleri**Süreç(ler):** Montaj ve gövde üretim

**Problem İfadesi:** 2008 yılı ilk 6 aylık döneminde montaj hattından geçen püskürtme basıncı tolerans dışı olan parça oranı toplam üretim adetlerinin % 3,6'sı kadardır. 2008 yılı ikinci 6 aylık döneminde ise bu oran % 5,2 olarak tespit edilmiştir.

**Amaç:** Projenin hedefi, montaj hattında fonksiyon kontrolü sonucunda çalışma basıncı tolerans dışı olarak tespit edilen parça oranını 2008 yılı ilk 6 aylık verilerine göre % 50 düşürmektir (% 1,8).

**Çıktı değişkeni:** Çalışma basıncı      **Tipi:** Nicel      **Ölçüm Birimi:** Bar**Spesifikasyon:** ASL:205, ÜSL:215

	<b>Girdi Değişkenler</b>	<b>Seviyeler</b>	<b>Değişken Tipi</b>
<b>1.</b>	Montaj momenti (N.m)	30.7 – 30.8	Nicel
<b>2.</b>	Yay yuvası derinliği (mm)	57 - 58	Nicel

**Kullanılacak deney tasarımının kısa özeti:**  $2^2$  tam faktöriyel tasarım kullanılacaktır.

**Deneyin maliyeti:** Montaj hattının toplam 4 saatlik duruş maliyeti

**Örnek büyüklüğü nasıl belirlenecek?** Çalışma karakteristikleri eğrisi kullanılarak örnek büyüklüğü belirlenecektir.

**Raslantısallık için plan:** Minitab programı ile seçilen  $2^2$  tam faktöriyel tasarım kullanılarak rassallık sağlanacaktır.

**İç müşterilerle görüşüldü mü?** Alt parçaların hazırlanması için görüşme yapılarak istenilen nitelikte parçalar elde edilmiştir.

**Deney süresi:** 1 iş günü. (Alt parça üretimleri ve yapılan hazırlıklar göz önünde bulundurulmuştur.)

**Bloklama Faktörü:** Deney iki vardiyada gerçekleştirildiğinden vardiyalar arasında dengeli dağılımı sağlayacak iki bloklu yapı kullanılacaktır.

## EK-3 Deneysel Tasarımda Ölçüm Verileri, Rassallık ve Blok Yapısı

Rassal Sıra	Blok	Montaj Momenti (N.m)	Yay Yuvası Derinliği (mm)	<b><i>Basınc (bar)</i></b>
1	2	57	30,80	206,37
2	2	57	30,70	211,42
3	2	58	30,80	210,03
4	2	57	30,70	209,40
5	2	57	30,80	205,23
6	2	58	30,70	214,09
7	2	58	30,70	213,75
8	2	58	30,80	208,57
9	2	57	30,80	204,60
10	2	58	30,70	213,69
11	2	57	30,70	209,63
12	2	58	30,80	209,83
13	2	57	30,70	211,16
14	2	58	30,70	214,54
15	2	58	30,80	209,60
16	2	57	30,80	205,59
17	2	58	30,70	213,77
18	2	57	30,70	209,79
19	2	58	30,80	209,56
20	2	57	30,80	205,78
21	1	57	30,80	205,40
22	1	57	30,80	205,89
23	1	57	30,80	206,02
24	1	58	30,70	213,45
25	1	57	30,70	209,65
26	1	58	30,80	208,59
27	1	58	30,80	209,67
28	1	58	30,80	208,78
29	1	57	30,80	207,34
30	1	58	30,70	214,23
31	1	57	30,70	210,67
32	1	58	30,70	213,78
33	1	58	30,70	212,68
34	1	57	30,70	210,58
35	1	57	30,80	206,39
36	1	58	30,70	213,79
37	1	57	30,70	209,47
38	1	58	30,80	210,67
39	1	57	30,70	210,38
40	1	58	30,80	208,89

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Fatih ÇIRKAN, 1985 yılında Bozüyük'te doğmuştur. İlköğrenimini 1991–1995 yılları arasında Fahri KORUTÜRK İlkokulu'nda tamamlamıştır. Ortaokul eğitimini Bozüyük Anadolu Lisesi'nde 1996–1999 yılları arasında tamamlamıştır. Lise eğitimini 2000–2003 yılları arasında Bozüyük Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamlayarak aynı yıl Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazanmıştır. 2007 yılında Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden ve Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nden birincilikle mezun olmuştur. 2007-2008 Güz Yarıyılı'nda Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen yüksek lisans eğitimine devam eden Fatih ÇIRKAN, aynı zamanda otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren uluslararası bir firmada üretim planlama mühendisi olarak çalışmaktadır.

## **8. TEŞEKKÜR**

Tez çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm; çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen tez danışmanım Doç. Dr. Cenk ÖZMUTLU' ya teşekkür ederim. Öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan sevgili aileme ve son olarak, çalışmalarım sırasında beni maddi açıdan destekleyen TÜBİTAK Bilim Adamı Yetiştirme Grubu'na teşekkürü bir borç bilirim.