

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

Selahattin YAVUZ

**ALTI SİGMA YAKLAŞIMI VE
BİR SANAYİ İŞLETMESİNDE UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

**TEZ YÖNETİCİSİ
Doç. Dr. Erkan OKTAY**

ERZURUM – 2006

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
TEŞEKKÜR.....	VIII
KISALTMALAR.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
TABLolar LİSTESİ.....	XII
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE KAVRAMI VE TOPLAM KALİTE

1.1. Kalite Kavramı ve Önemi.....	7
1.1.1. Kalitenin unsurları (boyutları).....	9
1.2. Kalite Kavramının Tarihsel Gelişimi.....	10
1.3. Kalite Bileşenleri (Tipleri).....	12
1.3.1. Tasarım kalitesi.....	13
1.3.2. Uygunluk kalitesi.....	14
1.3.3. Performans kalitesi.....	15
1.4. Kalite Kontrol ve Gelişimi.....	16
1.4.1. Kalite kontrolünde istatistik yöntemlerin yeri ve önemi.....	18
1.4.2. Kalite kontrolde standartlar, spesifikasyonlar ve toleranslar.....	19
1.5. Toplam Kalite Kontrol.....	20
1.6. Toplam Kalite Yönetimi (TKY).....	22
1.6.1. Toplam kalite yönetiminin tarihsel gelişimi ve önemi.....	25
1.6.2. TKY' ne giden yolda emeği geçen kalite guruları.....	27
1.6.2.1. Walter Shewhart'ın katkıları.....	27
1.6.2.2. William Edwards Deming'in katkıları	28
1.6.2.3. Joseph M. Juran'ın katkıları.....	29
1.6.2.4. Armand V. Feigenbaum'un katkıları	30
1.6.2.5. Kaoru Ishikawa'nın katkıları.....	31

1.6.3. Klasik yönetim anlayışı ile toplam kalite yönetiminin farklılıkları.....	32
1.6.4. Toplam kalite yönetiminin ilkeleri.....	34
1.6.4.1. Liderlik.....	34
1.6.4.2. Müşteri odaklılık.....	35
1.6.4.3. Çalışanların eğitimi.....	35
1.6.4.4. Takım çalışması.....	36
1.6.4.5. Kaizen (sürekli gelişme)	37
1.6.5. Toplam kalite yönetimi, maliyet ve kârlılık ilişkisi.....	38
1.6.6. TKY ve kalite kontrol çemberleri.....	40

İKİNCİ BÖLÜM

ALTİ SİGMA VE İLGİLİ KAVRAMLAR

2.1. Altı Sigma'nın Tanımı.....	42
2.2. Altı Sigma'nın Tarihsel Gelişimi	44
2.3. Değişkenlik ve Altı Sigma.....	46
2.4. Altı Sigma Kalite Düzeyi.....	47
2.5. Yönetim Felsefesi Olarak Altı Sigma.....	49
2.6. İstatistiksel Ölçüm Olarak Altı Sigma.....	51
2.6.1. Ortalamanın 1.5σ kayması ve sonuçları.....	53
2.6.2. Sürecin ortalamasının merkezileştirilmesi ve önemi.....	56
2.7. Altı Sigma Yaklaşımını Uygulayan Bazı Şirketler ve Kazançları.....	58
2.7.1. Altı Sigma Yaklaşımının Motorola'da Uygulanışı.....	59
2.7.2. Altı Sigma Yaklaşımının Allied Signal/Honeywell'da Uygulanışı	62
2.7.3. Altı Sigma Yaklaşımının General Electric'de Uygulanışı.....	62
2.8. Altı Sigma Yaklaşımının Toplam Kaliteden Farklılıkları.....	64
2.9. Altı Sigma Hesaplama Yöntemleri	66
2.9.1. Milyonda hatalı parça sayısı yöntemi.....	66
2.9.2. Hata oranlarının (DPMO veya PPM) sigma kalite düzeyi birimine dönüştürme yöntemi.....	68
2.9.3. Fırsatlar ve hatalar yöntemi.....	69
2.9.4. Ortalama, standart sapma ve özellik limitleri ile hesaplama	

yöntemi.....	71
2.9.5. İlk kontrol sonrası hesaplama yöntemi.....	75
2.9.6. Basit kazanç (hasıla) ilişkisi ölçümü.....	75
2.9.7. Bileşik kazanç (hasıla) ilişkisi ölçümü.....	77
2.10. Süreç Yetenek ve Performans Endeksleri.....	78
2.10.1. Histogram ile süreç yeterliliği analizi.....	80
2.10.2. Süreç potansiyel endeksi (C_p)	82
2.10.3. Fiili yeterlilik endeksi (C_{pk}).....	84
2.10.4. C_{pm} endeksi:.....	88
2.10.5. P_p ve P_{pk} endeksleri.....	89

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ALTI SİGMA ORGANİZASYONU VE YOL HARİTASI

3.1. Altı Sigma'da Roller ve Sorumlulukları.....	91
3.1.1. Altı Sigma yürütme kurulu.....	92
3.1.2. Sponsor (Şampiyon).....	93
3.1.3. Uzman kara kuşaklılar.....	94
3.1.4. Kara kuşaklılar (ekip liderleri).....	96
3.1.5. Yeşil kuşaklılar (ekip elemanları).....	97
3.2. Altı Sigma İyileştirme Modeli ve Aşamaları.....	98
3.2.1. Tanımlama.....	99
3.2.2. Ölçme.....	100
3.2.3. Analiz.....	102
3.2.4. İyileştirme.....	103
3.2.5. Kontrol.....	104
3.3. Altı Sigma'nın Uygulandığı Organizasyonlar.....	105
3.3.1. Üretim süreçlerinde Altı Sigma.....	107
3.3.2. Hizmet süreçlerinde Altı Sigma.....	108
3.3.3. Ürün geliştirme ve tasarımında Altı Sigma.....	109
3.4. Altı Sigma'nın Altı İlkesi.....	111
3.4.1. Müşteri odaklılık.....	111

3.4.2. Verilere ve gerçeklere dayalı yönetim.....	112
3.4.3. Sürece odaklanma, yönetim ve iyileştirme.....	112
3.4.4. Proaktif yönetim.....	112
3.4.5. Sınırsız işbirliği.....	113
3.4.6. Mükemmele yöneliş, başarısızlığa karşı hoşgörü.....	113
3.5. Altı Sigma'nın Hedefleri.....	113
3.5.1. Hataların azaltılması.....	113
3.5.2. Kalitenin artırılarak maliyetlerin azaltılması.....	114
3.5.3. Kritik müşteri taleplerinin karşılanması.....	117
3.5.4. Sürekli iyileştirme ve geliştirme	118
3.6. Kıyaslama (Benchmarking) ve Altı Sigma'da Önemi.....	120

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ALTİ SİGMA ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN İSTATİSTİK TEKNİKLER

4.1. Beyin Fırtınası.....	123
4.2. Sebep- Sonuç Diyagramı.....	124
4.3. Histogram.....	126
4.4. Kontrol Tablosu.....	129
4.5. Pareto Şeması (Analizi).....	132
4.6. Gruplandırma.....	134
4.7. Kalite Fonksiyonu Yayılımı (QFD)	135
4.7.1. Kalite evi.....	136
4.8. Matris Diyagramı.....	138
4.9. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA).....	141
4.10. Ölçüm Sistemi Analizi (Gage R&R).....	146
4.11. Varyans Analizi.....	150
4.11.1. Tek yönlü varyans analizi.....	150
4.11.2. İki yönlü varyans analizi.....	154
4.12. Serpilme Diyagramı.....	154
4.13. Kontrol Grafikleri.....	157
4.14. Deney Tasarımı.....	165
4.14.1. Tam faktöriyel deneyler.....	166

4.14.2. Kesirli faktöriyel deneyler.....	171
--	-----

BEŞİNCİ BÖLÜM

BİR SANAYİ KURULUŞUNDA ALTI SİGMA UYGULAMASI

5.1. Firma Hakkında.....	173
5.2. Uygulamanın Hedefi ve Önemi.....	175
5.3. Beyin Fırtınası.....	175
5.4. Ölçüm Sistemleri Analizi (Gage R&R).....	176
5.5. Ölçüm Sistemleri Analizi'nin Yeniden Uygulanması.....	179
5.6. Kontrol Grafikleri.....	182
5.7. Süreç Yeterlilik Analizi.....	185
5.8. Makine Yeterlilik Analizi.....	187
5.9. Deney Tasarımı.....	190
5.10. İyileştirmeler Neticesinde Süreç Yeterlilik Analizi.....	198
SONUÇ	200
KAYNAKLAR.....	203
EKLER.....	215
ÖZGEÇMİŞ.....	221

ÖZET
DOKTORA TEZİ
ALTI SİGMA YAKLAŞIMI VE BİR SANAYİ İŞLETMESİNDE UYGULAMA

Selahattin YAVUZ
2006 Sayfa: 221

Jüri: Doç. Dr. Erkan OKTAY (Danışman)
Prof. Dr. Şule ÖZKAN
Doç. Dr. Mahmut KARTAL
Doç. Dr. Hüseyin ÖZER
Doç. Dr. Üstün ÖZEN

Son yıllarda yabancı literatürde oldukça yaygın bir biçimde kullanılan Altı Sigma yöntemi yerli literatürde yeterince uygulanmamıştır. Bu çalışmanın amacı yerli literatürdeki bu boşluğun doldurulmasına bir katkı sağlamak ve aynı zamanda Altı Sigma yöntemini süreçlerine uygulamak isteyen firmalara yol göstermektir. Bu amaca ulaşmak için Altı Sigma'nın TÖAİK (Tanımlama-Ölçme-Analiz-İyileştirme-Kontrol) olarak bilinen süreç iyileştirme modeli incelenmiş ve söz konusu model kullanılarak otomotiv sanayi için yedek parça üreten bir sanayi işletmesinde Altı Sigma yöntemi uygulanmıştır.

Bu çalışma dört teori ve bir uygulama bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, Altı Sigma'ya alt yapı teşkil etmek amacıyla kalite kavramı ve toplam kalite anlayışı anlatılmıştır. İkinci bölümde, önce Altı Sigma'nın tanımları ve felsefesi hakkında bilgi verildikten sonra Altı Sigma'yı uygulayan firmalar ve kazançları, süreç yeterliliği ve Altı Sigma hesaplama yöntemleri üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde Altı Sigma organizasyonunda rol alan oyuncuların görev ve sorumluluklarına değinildikten sonra Altı Sigma süreç iyileştirme modeli olan TÖAİK modeli ve Altı Sigma organizasyonunun hedef ve ilkeleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise Altı Sigma için gerekli istatistiksel teknikler ayrıntılı bir şekilde örneklerle desteklenerek incelenmiştir. Tezin son bölümü olan uygulama bölümünde ise otomotiv sanayi için yedek parça üreten bir sanayi işletmesinde biyel kolu üretim sürecine bir Altı Sigma yöntemi uygulanmıştır.

Çalışmanın sonucunda biyel kolu üretim sürecine uygulanan TÖAİK iyileştirme modeli ile 3.1 olan sigma kalite seviyesi 4.1 sigma kalite seviyesine çıkartılmıştır. Firma için büyük önem arz eden bu iyileştirmenin, firmanın diğer süreçlerine de uygulaması tavsiye edilmiştir.

ABSTRACT
Ph.D. THESIS
THE SIX-SIGMA APPROACH AND ITS APPLICATION AT A FACTORY

Selahattin YAVUZ

2006 Page: 221

Jury: Assoc. Prof. Dr. Erkan OKTAY (Supervisor)

Prof. Dr. Şule ÖZKAN

Assoc. Prof. Dr. Mahmut KARTAL

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ÖZER

Assoc. Prof. Dr. Üstün ÖZEN

The Six-Sigma Method that has been used very frequently in the foreign literature in the recent years and has not been used sufficiently in Turkish literature. This study aims at filling a gap in this field and at the same time guiding the firms that want to use it in their process. The process improvement model called DMAIC (Definition-Measurement-Analysis-Improvement-Control) has been analyzed and this model of Six-Sigma has been implemented at an industrial organization that has been producing spare parts for automotive industry.

This study consists of five parts including four theories and a practice part. In the first Part, the concept and understanding of total quality have been investigated in order to build the infrastructure of Six-Sigma. In the second Part, after having given information about the philosophy and definitions of Six-Sigma, the firms that make use of Six-Sigma and their incomes, process sufficiency and the methods of Six-Sigma calculations have been examined. In the third Part, DMAIC known as Six-Sigma improvement model and goals and principles of Six-Sigma organization have been explained after the responsibilities and duties of Six-Sigma elements. In the fourth Part, the statistical techniques necessary for Six-Sigma have been examined with samples in detail. In the final practice part of the thesis, the Six-Sigma Method has been put into practice at an industrial business that produces spare parts, connecting rod, for automotive industry.

At the end of the study, DMAIC improvement model that was used for connecting rod production processes has increased the Six-Sigma quality level from 3.1 to 4.1. The important progress for the firm has been taken as an advantage to challenge the firm to practice Six-Sigma Method in other processes.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın tüm aşamalarında bana bilgi ve deneyimlerinden faydalanma imkânı veren, yardım ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Erkan OKTAY'a ve değerli hocalarım Doç. Dr. Mahmut KARTAL, Prof. Dr. Şule ÖZKAN, Doç. Dr. Üstün ÖZEN ve Doç. Dr. Hüseyin ÖZER'e teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sırasında değişik yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Necmi GÜRSAKAL'a, Yrd. Doç. Dr. Hüdaverdi BİRCAN'a ve Yrd. Doç. Dr. M. Suphi ÖZÇOMAK'a teşekkür ederim. Ayrıca tezin uygulama kısmında yardım ve katkılarını esirgemeyen S.P.A.C. Altı Sigma Danışmanlık Ltd. Şti. çalışanlarından Kara Kuşak Tümer ARITÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

ERZURUM – 2006

Selahattin YAVUZ

KISALTMALAR

TKK: Toplam Kalite Kontrol

TKY (TQM): Toplam Kalite Yönetimi

PUKÖ (PYDK): Planla, Uygula(Yap), Kontrol et(Doğrula), Önlem al(Karar ver)

TÖAİK (DMAIC) : Tanımla, Ölç, Analiz et, İyileştir, Kontrol et

Gage R&R: Alet Tekrarlanabilirliği ve Alet Üretebilirliği

DOE: Deney Tasarımı (Design of Experiment)

İKK: İstatistiksel Kalite Kontrol

İPK: İstatistiksel Proses Kontrol

KKF: Kritik Kalite Faktörü

HTEA (FMEA): Hata Türü ve Etkileri Analizi

ANOVA: Varyans Analizi

QFD (KFY): Kalite Fonksiyonu Yayılımı

DPU: Ünite Başına Hata Sayısı

DPMO: Milyon Fırsat Başına Hata Sayısı

PPM: Milyonda Hata

COPQ: Zayıf Kalitenin Maliyeti

C_p : Yeterliliğin Potansiyel Ölçüsü

C_{pk} : Yeterliliğin Gerçekleşen Ölçüsü

ASL: Alt Spesifikasyon Limiti

USL: Üst Spesifikasyon Limiti

CTQ: Kritik Kalite Özellikleri

MSA: Ölçüm Sistemleri Analizi

GE: General Elektrik

KKÇ: Kalite Kontrol Çemberleri

RÖS (RPN): Risk Öncelik Sayısı

NOG: Normal Olasılık Grafiği

AKL: Alt Kontrol Limiti

UKL: Üst Kontrol Limiti

Z_{UD} : Uzun Dönem

Z_{KD} : Kısa Dönem

ŞEKİLLER LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil 1-1: Kalitenin tarihi seyri grafiği.....	11
Şekil 1-2: Tasarım kalitesi ve maliyet ilişkisi grafiği.....	14
Şekil 1-3: Performans kalitesi grafiği.....	15
Şekil 1-4: Deming'in TKY döngüsü grafiği.....	24
Şekil 1-5: Kalite anlayışının merhaleleri grafiği.....	24
Şekil 1-6: Yönetim modellerinin karşılaştırılması grafiği.....	33
Şekil 1-7: Kaizen gelişme ile klasik gelişme yaklaşımı grafiği.....	38
Şekil 1-8: Toplam Kalite Yönetiminde kalite maliyet ilişkisi grafiği.....	39
Şekil 1-9: Klasik yönetimde kalite-maliyet ilişkisi grafiği.....	40
Şekil 2-1: Altı Sigma süreç değişkenliği.....	47
Şekil 2-2: 3σ 'dan 6σ 'ya milyonda hata değerlerinde meydana gelen değişim.....	48
Şekil 2-3: 6σ 'ya doğru süren gelişme.....	50
Şekil 2-4: Üç Sigma ve Altı Sigma'nın istatistiksel gösterimi.....	52
Şekil 2-5: Ortalamanın $1,5\sigma$ kaydırılmış durumu.....	54
Şekil 2-6: İki farklı sürecin karşılaştırılması	56
Şekil 2-7: Örneğin minitab çıktısı.....	74
Şekil 2-8: Kazanç gösterimi grafiği.....	75
Şekil 2-9: Çatlama mukavemeti verileri için histogram.....	81
Şekil 2-10: Çeşitli C_p değerlerine göre dağılım eğrileri grafiği.....	82
Şekil 2-11: C_p ve C_{pk} endeks ilişkisi örneği.....	86
Şekil 2-12: Örnek için C_p , C_{pk} , P_p ve P_{pk} endekslerinin minitab çıktısı.....	90
Şekil 3-1: Altı Sigma çalışmalarında oyuncular arasındaki ilişki grafiği.....	93
Şekil 3-2: Altı Sigma DMAIC(TÖAİK) problem çözme modeli grafiği.....	99
Şekil 3-3: Müşteri limitleri ve hatalar grafiği.....	111
Şekil 3-4: Proses sigma seviyesi ile hata oranı (DPMO) grafiği.....	114
Şekil 3-5: Sigma seviyeleri ve kalitesizlik maliyeti grafiği.....	117
Şekil 3-6: Kıyaslama yöntemi grafiği.....	122
Şekil 4-1: Sebep-sonuç diyagramı ana nedenler.....	124
Şekil 4-2: Sebep-sonuç diyagramı grafiği.....	125

Şekil 4-3: Sebepleri sayma tipi sebep-sonuç diyagramı örneği.....	126
Şekil 4-4: Farklı prosesler için histogramlar.....	128
Şekil 4-5: Bir histogram örneği.....	129
Şekil 4-6: Pareto grafiği örneği.....	134
Şekil 4-7: Kalite evi grafiği.....	137
Şekil 4-8: Toplam süreç değişkenliği grafiği.....	147
Şekil 4-9: Minitab çıktısı (ROMER)-iki cihazın karşılaştırılması grafiği.....	149
Şekil 4-10: Minitab çıktısı (ZEISS)-iki cihazın karşılaştırılması grafiği.....	149
Şekil 4-11: Değişik durumlar için serpilme diyagramları.....	155
Şekil 4-12: Örneğe ait serpilme diyagramı.....	157
Şekil 4-13: Shewhart kontrol kartı formatı.....	158
Şekil 4-14: Sürecin kontrolde, kontrol dışı ve indirgenen değişkenliği durumları.....	159
Şekil 4-15: Örnek için çizilen $\bar{X}$ kontrol grafiği.....	164
Şekil 4-16: Örnek için çizilen R kontrol grafiği.....	164
Şekil 4-17: Etkilerin pareto grafiği.....	169
Şekil 4-18: Etkilerin normal olasılık grafiği.....	169
Şekil 4-19: AC Etkileşimi grafiği.....	170
Şekil 5-1: Müşteri şikâyetleri ile ilgili kalite karakteristikleri ve hata sayısı.....	176
Şekil 5-2: Gage R&R analizine ait grafik.....	178
Şekil 5-3: Gage R&R analizine ait grafik	181
Şekil 5-4: R kontrol grafiği	184
Şekil 5-5: $\bar{X}$ kontrol grafiği	185
Şekil 5-6: Süreç yeterlilik analizi sonuçları.....	187
Şekil 5-7: Makine yeterlilik analizi için kutu grafiği.....	189
Şekil 5-8: Süreç yeterlilik analizi sonucu.....	190
Şekil 5-9: Yüzey pürüzlülüğü önemli etkileri normal olasılık grafiği.....	194
Şekil 5-10: Etkilerin ve etkileşimlerin pareto grafiği.....	195
Şekil 5-11: Yüzey pürüzlülüğü AD etkileşimi grafiği.....	196
Şekil 5-12: Yüzey pürüzlülüğü BD etkileşimi grafiği.....	197
Şekil 5-13: Süreç yeterlilik analizi sonucu.....	199

TABLolar LİSTESİ

SAYFA NO

Tablo 1-1: Kalite'nin kilometre taşları.....	25
Tablo 1-2: Klasik yönetim modeli ve TKY'nin karşılaştırılması.....	32
Tablo 2-1: 3.8 σ ve 6 σ karşılaştırılması ve sonuçları.....	49
Tablo 2-2: Ortalama merkezde iken sigma seviyeleri ve hata değerleri.....	52
Tablo 2-3: Ortalamanın 1,5 σ kayması sonucu sigma seviyeleri ve hata değerleri.....	54
Tablo 2-4: Sürecin merkezden kayması ile değişik kalite seviyeleri ilişkisi.....	55
Tablo 2-5: Altı Sigma'yı uygulayan bazı şirketler ve kazançları.....	59
Tablo 2-6: Bazı firmalar ve bir yılda elde ettikleri tasarruf.....	59
Tablo 2-7: TKY ve Altı Sigma yaklaşımının karşılaştırması.....	65
Tablo 2-8: Parça başına hata yöntemi formül ve örnekleri.....	67
Tablo 2-9: Fırsatta hata sayısı yöntemi formül ve örnekleri.....	70
Tablo 2-10: Bir makine parçasının herhangi bir kalite karakteristiği ölçümleri.....	72
Tablo 2-11: Bileşik kazanç hesaplama tablosu.....	77
Tablo 2-12: Bileşik hasıla örneği tablosu.....	78
Tablo 2-13: Değişkenlik türleri ile kısa ve uzun dönem yeterliliği.....	79
Tablo 2-14: Şişelerin patlamaya karşı dayanım sonuçları.....	80
Tablo 2-15: Örnek için frekans dağılımı.....	81
Tablo 2-16: C _p ile milyonda hata sayısı ilişkisi.....	83
Tablo 3-1: Bir uzman kara kuşaklarının dört hafta boyunca öğrenmesi gereken temel konular.....	95
Tablo 3-2: Tanımlama süreci takip tablosu.....	100
Tablo 3-3: Ölçme süreci takip tablosu.....	101
Tablo 3-4: Ölçümlenme gerektiren alanlar.....	102
Tablo 3-5: Süreç çıktısı- standardizasyon matrisi.....	105
Tablo 3-6: Üretim ve hizmet sektöründe sigma düzeyi ile kalite anlayışı.....	106
Tablo 3-7: Süreç aşamaları, süreç iyileştirme ve süreç tasarlama arasındaki ilişki....	106
Tablo 3-8: Sigma değeri ve zayıf kalitenin maliyeti arasındaki ilişkisi.....	116
Tablo 4-1: Veri sayısına bağlı olarak kullanılacak sınıf sayısı.....	128
Tablo 4-2: Ölçülebilen özellikler için bir kontrol tablosu.....	130

Tablo 4-3: Niteliksel özellik gösteren veriler için kontrol tablosu.....	131
Tablo 4-4: Hata tipleri ile ilgili bilgiler.....	133
Tablo 4-5: Pareto diyagramı için veri çizelgesi.....	134
Tablo 4-6: Üretim hatalarının nedenlere bağlı bir matris analizi.....	139
Tablo 4-7: Risk değerlendirme karar matrisi.....	140
Tablo 4-8: Hata olasılığının değerlendirilmesi.....	142
Tablo 4-9: Hata Türü ve Etkileri analizi formu.....	144
Tablo 4-10: Şiddet değerlendirme kriterleri.....	145
Tablo 4-11: Gövde ölçümleri Gage R&R verileri.....	148
Tablo 4-12: Tek yönlü varyans analizi tablosu.....	151
Tablo 4-13: Üç arabanın yakıt tüketim değerleri.....	152
Tablo 4-14: GİKT değerini bulmak için yapılan hesaplamalar.....	153
Tablo 4-15: Tek yönlü varyans analizi tablosu sonuçları.....	153
Tablo 4-16: Beş sürücünün üç araba türüyle elde ettiği yakıt tüketimi gözlemleri.....	154
Tablo 4-17: Her bir oyuncunun boy ve ağırlık verileri.....	156
Tablo 4-18: Örnek için ölçüm değerleri.....	163
Tablo 4-19: L8 Dizayn Matrisi.....	166
Tablo 4-20: Deneye ilişkin faktör düzeyleri.....	167
Tablo 4-21: Deneye ilişkin tam faktöryel deney kombinasyonları.....	167
Tablo 4-22: Deneye ilişkin L8 hesap tablosu.....	168
Tablo 4-23: AC Etkileşimi değerleri.....	170
Tablo 4-24: Faktörler ve Düzeyleri.....	172
Tablo 4-25: Örnek İçin Reçete Tablosu.....	172
Tablo 5-1: Gage R&R çalışması sonucu yapılan ölçümler.....	177
Tablo 5-2: İki-yönlü ANOVA tablosu.....	177
Tablo 5-3: Gage R&R analizi sonuçları.....	178
Tablo 5-4: Gage R&R çalışması sonucu yapılan ölçümler.....	180
Tablo 5-5: İki-yönlü ANOVA tablosu.....	180
Tablo 5-6: Gage R&R analizi sonuçları.....	181
Tablo 5-7: Kontrol grafikleri için yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri.....	182
Tablo 5-8: Her bir örnek için hesaplanan $\bar{X}$ ve R değerleri.....	183
Tablo 5-9: Süreç yeterlilik analizi için yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri.....	186

Tablo 5-10: Makine yeterlilik analizi için gözlem değerleri.....	188
Tablo 5-11: Makine yeterliliği için varyans analizi.....	188
Tablo 5-12: Faktörler ve düzey değerleri.....	191
Tablo 5-13: Uygulama reçetesi.....	191
Tablo 5-14: Deney için hesaplanan L16 Hesap tablosu.....	192
Tablo 5-15: AD etkileşimi tablosu.....	195
Tablo 5-16: BD etkileşimi tablosu.....	196
Tablo 5-17: Süreç yeterlilik için yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri.....	198
Ek Tablo 1: Milyon Parça ve Sigma Arasındaki Dönüşüm Tablosu.....	226
Ek Tablo 2: Boş bir L8 Hesap Tablosu.....	227
Ek Tablo 3: L16 Dizayn Matrisi.....	228
Ek Tablo 4: Boş bir L16 Hesap Tablosu.....	229
Ek Tablo 5: Standart Normal Eğri Altındaki Alanlar.....	230
Ek Tablo 6: Kontrol Grafiklerinin Düzenlenmesinde Kullanılan Faktörler.....	232

GİRİŞ

I. Çalışmanın Konusu ve Önemi

Son yıllarda bir slogan haline gelen kalitenin aslında tarihi bir geçmişi vardır. Dünyadaki ilk kalite çalışmaları insanoğlunun bir nesneyi çoğaltma isteği ile başlamıştır. İlk uygulamalar bir çekicin, bıçağın veya mızrağın ucundaki sivri taşın kötü bir kopyasını yapabilmek amacı ile gerçekleştirilirken, daha çok kullanım kolaylığı ve boyutsal yakınlık hedefleniyordu. Belirli bir boyuta yakın olarak kopyalanan, çoğaltılan bıçaklar, mızraklar kendilerinden beklenen fonksiyonları daha iyi yerine getirebiliyordu. Bu bağlamda, değişkenliklere ve kalitesizliğe karşı savaşının neredeyse kendi tarihi kadar eski olduğunu söyleyebiliriz.

Kalite ile ilgili ilk kayıtlar M.Ö. 2150 yılına kadar uzanır. Hamurabi Kanunlarının 229. maddesinde şu ifadeler yer alır: Eğer bir inşaat ustası bir adama ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp ev sahibinin üstüne çökerek ölümüne sebep olursa o inşaat ustasının başı uçurulur. Bu ifadeden de anlaşıldığı gibi kalite ile ilgili çalışmalar –en ilkel biçimiyle de olsa- Milattan önceki yıllarda başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir.¹

Bulunduğumuz yüzyılda teknolojinin baş döndürücü şekilde hızlı değişmesi ve gelişmesi, dünyada meydana gelen önemli değişimler, iletişimin getirdiği kolaylıklar nedeniyle tüketici tercihleri uluslararası boyuta ulaşmış ve küreselleşmeyi zorunlu kılmıştır. Bütün bu değişimler sonucu kalite üstünlüğü rekabette ön plana çıkmıştır. Küreselleşen dünyamızda, düşük maliyetle beraber kaliteli, hızlı ve tam zamanında üretim, firmaların kıran kırana rekabet ettiği ortamda ayakta kalabilmelerinin başlıca ön şartı haline gelmiştir.

Günümüzde büyük ölçüde gelişen ve uluslararası hale gelen rekabete dayalı ekonomik sistemde; üreticiler, sürekli olarak mal ve hizmetlerin kalitesini en iyi seviyede tutmak zorundadır. Üretilen ürünlerin iç pazarlar yanında dış pazarlara da açılması mecburiyetinin sonucunda oluşan rekabet piyasasında, işletmelerin ayakta kalması ancak üretilen kaliteli ürünler sayesinde olacaktır. Düşük kaliteli mal ve hizmet ile rekabet etmeye çalışan işletmelerin ürettiği ürünlerin fiyatları ne kadar düşük olsa da kalite bilincine varmış olan tüketiciler, fiyat yanında yüksek kaliteye de önem

¹ TSE, TES ISO 9000 Kalite Broşürü, Ankara, 1996, s.3.

vermeye başlamışlardır. Bunun sonucunda birçok firma zarara uğramış veya rekabete dayanamayarak işletmelerini kapatmak zorunda kalmıştır.²

Endüstriyel gelişmeler karşısında tüketicilerin talepleri hızla artmıştır. Üreticiler de bu talepler karşısında çeşitli ve değişik fonksiyonlu ürünler üretmek zorunda kalmışlardır. Günlük hayatımızda evlerimizde kullandığımız ürünlerde, eskiye nazaran kaliteye daha fazla önem verilmektedir. Buzdolabı, çamaşır makinesi, elektrikli süpürge gibi ürünlerin değeri; artık kalitesi, dayanaklılığı ve aynı tip ürünlere göre daha ucuz olan fiyatı ile ölçülmektedir. Gelişen teknoloji sayesinde çeşitli amaçlarla kullanılan makine, araç ve gereçlerin önemi daha da artmıştır. Uzun çalışmalarında kullanılan uzun araçları, çok yüksek maliyetlere ulaşan uydu sistemleri, gelişmiş silah sistemleri, tıbbi cihazlar, günlük hayatın her safhasında kullanılan elektrikli ve elektronik aletler, ulaşım araçları ile benzeri araç ve gereçlerin yüksek kalitede üretilmesi gereklidir. Ölçüm tekniklerinin gelişmiş olmasına ve hassas ölçüm aletlerinin kullanımının yaygınlaşmış olmasına rağmen, hatalı üretime dayalı küçük bir teknik arızalar birçok insanın sakat kalmasına veya ölmesine sebep olmaktadır. Ayrıca oluşabilen maddi zararlar da büyük rakamlara ulaşmaktadır.

Teknoloji ve bunun sonucunda gelişen otomasyon, ürünlerin karmaşıklığı, üretim hızının artması gibi etkenler daha dar toleranslarda çalışmayı zorunlu kılmıştır. Bunun yanında işletmelerin düşük kalitede mal üretmeleri sonucunda, hatalı pek çok ürün çıkmakta ve bu ürünlerin ayıklanması ile de şirketler maddi zararlara uğramaktadır. Belirli bir tolerans ile piyasaya sürülen kusurlu mallar ise müşteri kaybına ve işletmelerin tüketici gözünde prestij kaybetmesine yol açmaktadır. Sonuçta, işletmelerin toplam olarak katlanmak zorunda kaldıkları maliyet, çok büyük rakamlara ulaşmaktadır.

Ülkemizde ve dünyada bulunan doğal kaynaklar, plansız ve düşüncesiz kullanım sonucunda hızla tükenmeye başlamıştır. Hatta bu konuda bilim adamları, bazı doğal kaynakların tükeneyeceği muhtemel tarihlerin haritasını bile çıkarmaya başlamışlardır. Bununla beraber çevre kirliliği ile mücadele etmeye başlayan kişiler, tüketicileri bu konuda daha hassas ve dikkatli olmaya çağırmaktadır. Tüketim sonucunda oluşan atıkların artması ve ürünlerin kullanılmaz hale gelen kısımlarının çevre kirliliğine yol açması sonucunda gözler, tüketicilerle birlikte üreticilere de çevrilmiştir. Bu durum

² Muhittin Şimşek; Toplam Kalite Yönetimi, Alfa Yayınları, İstanbul, 2004, s.15.

kalite konusuna yeni bir boyut getirmiştir. Böylece atık maddelerin en aza indirilmesi, daha dayanıklı mallar üreterek ürünlerin daha uzun süre kullanılması, üretimde malzeme kaybının en aza indirilmesi konularında uluslararası standartlar koyulmuş ve yaptırımlar getirilmiştir. Örneğin, üreticiler araba eksozlarından çıkan zehirli gazları minimum seviyeye indirmek için, daha uygun motor ve eksoz dizaynı ile üretim yoluna gitmek zorunda kalmışlardır. Bu konuda Avrupa ve Amerika'da uygulamaya konulan yasalar ile üretici firmalar, ürünlerinde çeşitli değişiklikler yapmış ve yapmaktadır. Bu tür tedbirler sonucunda üreticiler daha kaliteli, çevreyi kirletmeyen, en az atık maddesi bırakan ürünler üretmek için çaba harcamaktadır. Belirli kalite seviyesine gelemeyen firmalar, kalitesizliğin getireceği çöküş ile rekabet etme gücü bulamayacaklardır.

Klasik kalite kontrol anlayışında, kaliteyi ölçenler ve bu konudaki verileri değerlendirenler sadece kalite kontrol departmanındaki uzman kişilerdir. İşçilerin kalite konusunda bilgileri olmaları aranmaz ve bu konuda görüşlerini bildirmeleri beklenemez. Çalışanlar tüm değerlendirme yöntemlerinden habersizdir. Klasik kalite programlarında önceden birçok organizasyon, müşteri ile doğrudan ilişkiden uzak tutulurdu. Müşterinin talepleri hakkında bilgisi olmadan faaliyet gösteren birimler, işletmenin hedeflerine ulaşmada yeterince katkı sağlamayacaktır.³

Yapılan araştırmalar neticesinde, firmaların büyüyebilmeleri, rekabet edebilmeleri ve ekonomik şartlara uyum sağlayabilmeleri için, işletmenin bütününün göz önünde bulundurulması gerektiği anlayışı benimsenmiştir. Ayrıca, daralan pazarın getirdiği zorlukların ve ekonomik durgunluğun önüne geçilmesi ve büyümenin devamı için bazı tedbirler alınması gerektiği vurgulanmıştır. Ekonomik ve yapısal olarak büyümeyi başaran firmalara bakıldığında bunların tüm kaynakları ile müşteri memnuniyetine odaklanmış bir yönetim anlayışını benimsemiş olduklarını görmek mümkündür.

Günümüz rekabet şartları göz önüne alındığında müşteri odaklı üretim yapmayan firmaların ayakta kalma şansları yoktur. Müşteri odaklı çalışmak ise tüm birimlerdeki elemanların katılımıyla ancak mümkün olabilmektedir. Bu süreç zarfında ortaya çıkan TKY (Toplam Kalite Yönetimi) anlayışında, müşteri istekleri ön planda olup; bu doğrultuda, hızlı ve yerinde hizmet, yenilik, üründe çeşitlilik, müşteriye yakınlık ve çalışanların motivasyonu esastır.

³ İrfan Ertuğrul; Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Ekin Kitabevi, Bursa, 2004, s.30.

1980’lerin ve 1990’ların Toplam Kalite dalgası sırasında onlarca şirket, “müşteri beklentilerinin ve gereksinimlerinin karşılanması ve aşılması” sözünü verdikleri politikalar ve misyon beyanları kaleme aldı. Ne yazık ki, bu kuruluşlardan pek azı, müşterilerinin beklentilerini ya da gereksinimlerini anlama becerilerini geliştirmek için gerçekten çaba sarf etmiştir. Öyle olsa bile, müşteriden veri toplama, çok tipik bir biçimde, müşteri gereksinimlerinin dinamik yapısını göz ardı eden, bir kereye özgü ya da kısa ömürlü girişimler olarak kalmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan Altı Sigma Yaklaşımında müşteri ihtiyaçlarının sürekli değişeceği felsefesiyle gerçek anlamda en büyük önem, müşteriye verilmiştir.

Son yıllarda, ölçmeye, geliştirilmiş bilgi sistemlerine, bilgi yönetimine verilen öneme karşın hala iş konusundaki pek çok kararın yorumlara ve tahminlere dayanarak alındığı düşünüldüğünde, Altı Sigma Yaklaşımı’nın, “verilere ve gerçeklere dayalı yönetim” kavramını yeni ve daha güçlü bir konuma taşımaktadır. Toplam Kalite Yönetimi’nin yerini Altı Sigma’ya kaptırmasının belki de en önemli nedeni; TKY’nin ürün kalitesine odaklanmasına karşılık, Altı Sigma’nın süreçlere odaklanmasıdır.⁴

W. Edwards Deming’e göre, kaliteyi artırmak için %100 kontrol yapmak, kusurlu mal üretmeyi planlamakla, sürecin spesifikasyonlara uygun olmadığını kabul etmekle aynı şeydir. Kaliteyi artırmak için kontrol hem çok geçtir, hem de etkisiz ve masraflıdır. Bir ürün satıcının kapısından çıktıktan sonra artık onun kalitesi hakkında bir şey yapılamaz. Kalite kontrolle değil, üretim sürecinin geliştirilmesiyle sağlanır. Kontrol, hurdaya ayırma ve yeniden işleme gibi şeyler süreci düzeltici eylemler değildir.⁵

II. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Planı

Yapılan araştırmalara göre, mamul üretilirken yapılan hataları düzeltmek ve mamulü yeniden yapmak için gereğinden fazla zaman ve para harcanmaktadır. Oysa günümüz piyasa ve rekabet şartlarında firmaların para ve zaman kaybetmeye tahammülleri yoktur. Düşük kalite ile üretilen ürünlerin üretim maliyetleri de artmaktadır. Bu durumlar göz önüne alındığında firmalar etkin kalite sistemlerini benimseyip uygulamak zorundadırlar.

⁴ Roland Caulcutt, Why is Six Sigma so Successful?, Journal of Applied Statistics, Vol. 28, No. 3, 2001, s.306.

⁵ Edwards W. Deming; Krizden Çıkış, Arçelik Yayınları, İstanbul, 1996, s.24.

Son yıllarda, Motorola, General Electric, Allied Signal, Citibank, Toshiba, Sony gibi dünya çapında tanınan firmalar Altı Sigma Yaklaşımını benimseyip süreçlerine uygulayarak milyon dolarları aşan kârlar, verimlilik, pazar payı artışı ve sınıfının en iyi olma fırsatını elde etmişlerdir. Bu şekilde kapsamlı ve esnek yapısı itibariyle, üretim süreçlerinden, stratejik planlamaya, iş programlarından, Ar-Ge çalışmalarına, finans sektöründen, müşteri hizmetlerine kadar tüm iş faaliyetlerine uygulanarak somut neticeler elde edilebilen Altı Sigma, tüm dünyada olduğu gibi 2000 yılından beri ülkemizdeki önde gelen firmaların da dikkatini çekmiştir.

Ülkemizdeki önde gelen firmaların bile hala 3 veya 4 sigma civarında faaliyet göstermesi Altı Sigma'nın firmalarımız açısından önemini açıkça göstermektedir. Bu bağlamda konunun çok yeni olmasından dolayı Altı Sigma Yaklaşımı yerli literatürde yeni yeni boy göstermeye başlamıştır. Bu bağlamda bu çalışmayla temel amacımız yerli literatürdeki bu boşluğun doldurulmasına bir katkı sağlamaktır.

Ayrıca bu amacın dışında, üniversitelerin en önemli var oluş nedenlerinden biri olan, üniversite-sanayi işbirliğini geliştirmektir.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk dört bölüm tezin teorik kısmını oluştururken son bölüm ise uygulama bölümünü oluşturmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde kalite kavramı, tarihsel gelişim süreci ve kalite kontrol konuları anlatılmıştır. Kalite kavramı ve kalite kontrolün tanımı yapılarak bu konularla ilgili bilgiler verildikten sonra Altı Sigma yaklaşımı ile yakından ilgili olan toplam kalite yönetimi (TKY) ve ilkeleri üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde Altı Sigma ve ilgili kavramlar detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Altı Sigma'nın daha iyi anlaşılması için genel anlamda Altı Sigma, işletme felsefesi olarak Altı Sigma ve istatistiksel bir ölçüm olarak Altı Sigma tanımları ayrı ayrı yapılmıştır. Bu bölümde Altı Sigma'nın tarihsel gelişiminden bahsedildikten sonra dünya çapında ilk kez Altı Sigma yöntemini süreçlerine uygulayan birkaç büyük firma ve kazançları anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde Altı Sigma hesaplama yöntemleri ve süreç yeterlilik analizleri ayrıntılı bir şekilde anlatılarak örneklerle desteklenmiştir.

Üçüncü bölümde Altı Sigma organizasyonu ve yol haritası incelenmiştir. Bunun için ilk önce Altı Sigma organizasyonunda rol alan oyuncuların görev ve sorumlulukları anlatılmıştır. Daha sonra Altı Sigma iyileştirme modeli olan TÖAİK (DMAIC) modelinin her bir aşaması incelenerek bu modelin uygulandığı birkaç değişik sektörden

bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölümde son olarak Altı Sigma'nın hedef ve ilkeleri üzerinde geniş bir şekilde durulmuştur.

Teorik çerçevenin son bölümü olan dördüncü bölümde ise Altı Sigma için gerekli olan ve en sık kullanılan istatistiksel teknikler anlatılmıştır. Ayrıca bu tekniklerin daha iyi anlaşılması amacıyla bazıları örneklerle desteklenmiştir.

Tezin son bölümü olan uygulama bölümünde ise otomotiv sanayi için yedek parça üreten bir sanayi işletmesinde, biyel kolu üretim sürecine Altı Sigma yöntemi uygulanmıştır. Sürecin iyileştirilmesi amacıyla sadece gerekli olan teknikler uygulamaya dahil edilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE KAVRAMI VE TOPLAM KALİTE

Son yıllarda slogan hale gelen kalite kavramı çok değişik şekillerde kullanılmakta ve zaman zaman da yanlış anlaşılmalara neden olmaktadır. Bunun için bu bölümde ilk önce kalite kavramı üzerinde durulacaktır.

1.1. Kalite Kavramı ve Önemi

Kalite kelimesi Latince nasıl oluştuğu anlamına gelen “Qualis” kelimesinden türemiş ve “Qualitas” kelimesiyle ifade edilmiştir.¹ Esasta kalite sözcüğü hangi ürün ve hizmet için kullanılıyorsa, onun gerçekte ne olduğunu belli etmek amacını taşımaktadır. Kalite, genel olarak günlük konuşmalarda üstünlüğü ve iyiliği, diğer bir deyişle kaliteye konu olan ürün ve hizmetin iyi niteliklerinin olduğunu belirtir. Bu bakımdan da kalite, subjektif (kişisel) değerleri içermektedir. Ancak subjektif değerlendirmelerden oluşan kalite anlayışı ülkeden ülkeye, yaşam düzeyi, zevk, gelenekler, toplumsal yapı, eğitim gibi çok sayıda faktörlerin etkisi altında değişik yapı göstermektedir. Bu nedenlerle tüketicinin ürün ve hizmetler için kullandıkları kalite kelimesinin ifade edeceği anlamlar da farklı olabilmektedir. Bu bakımdan herhangi bir ürünün üretiminde tüketicinin arayacağı niteliklerin göz önüne alınması gerekir.²

Kalite ne demektir? Literatür araştırıldığında görülmektedir ki kalite kavramının değişik tanımları bulunmaktadır. Bazı kalite önderlerinin kalite ile ilgili değişik tanımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kalite, ürünün müşteriler tarafından değinilen veya ima edilen istekleri karşılayabilme yeteneğine sahip niteliklerin toplamıdır (Kotler).³
- Kalite; tüketicinin istediği estetik, dayanıklılık, güvenilirlik vb. gibi özelliklere sahip ve hatalardan arındırılmış ürünlerin kullanım amacına uygunluğudur (J. Juran).⁴
- Kalite; müşterilerin şikâyetlerini önleme değil, müşterileri memnun edebilmenin bir aracı olarak görülebilir (Garvin).⁵

¹ <http://www.igeme.org.tr/TUR/pratik/kalite.pdf>

² Stephen George – Arnold Weimerskirch; Total Quality Management: Strategies and Techniques Proven at Today's Most Successful Companies, John Wiley and Sons Inc., New York, 1996, s.6.

³ Philip Kotler; Marketing Management, 8th.Edition, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, N.J., 1996, s.56.

⁴ Joseph M. Juran; Juran on Quality by Design, The Free Press, New York, 1992, s.12.

- Dar anlamda kalite, ürün kalitesi demektir. Geniş anlamda kalite, iş kalitesi, hizmet kalitesi, iletişim kalitesi, proses kalitesi, işçiler, mühendisler, idareciler ve yöneticiler dahil insan kalitesi, sistem kalitesi, firma kalitesi, hedeflerin kalitesi v.b.⁶
- Taguchi'ye göre kalite, ürünün sevkiyatından sonra toplumda neden olduğu minimum zarardır.⁷
- Deming'e göre kalite, müşterinin şimdiki ve gelecekteki isteklerinin karşılanmasıdır.⁸

Diğer taraftan kalite gurularından Deming, kaliteyi değişkenliğin azaltılması olarak görür ve hataların sıfırlanmasıyla kalitenin sağlanabileceğini düşünür. Crosby ise kaliteyi “spesifikasyonlara uygunluk” olarak tanımlar. Başka bir deyişle, kalite hatasız üretimdir veya spesifikasyonlara yüzde yüz uyumdur.⁹

Zaman içinde, birbirinden farklı birçok şekilde tanımlanan kalitenin en fazla kullanılan birkaç tanımı, şu şekilde sıralanabilir:¹⁰

- Kalite, bir ürün ya da hizmetin değeridir.
- Kalite, önceden belirlenmiş bulunan özelliklere uygunluktur.
- Kalite, ihtiyaçlara uygunluktur.
- Kalite, kullanıma uygunluktur.
- Kalite, eksiklerden kaçınmaktır.
- Kalite, müşteri beklentilerini karşılamak veya onların ilerisine geçmektir.

Günümüzde işletmecilikte; yoğun rekabet şartları altında mal ve hizmetlerin kalitesinin sürekli olarak geliştirilmesi zorunluluğu bulunmaktadır. İşletme yöneticileri kaliteyle ilgili önlem almaz ve kusurlu malları piyasaya sürerse, işletme başta prestij kaybı ve satışların azalmasından kaynaklanan zararlar olmak üzere birçok kayıpla

⁵ David A. Garvin; Competing on the Eight Dimensions of Quality, Harvard Business Review, November, 1987, ss.23-35.

⁶ Kaoru Ishikawa; Toplam Kalite Kontrol, KalDer Yayınları, İstanbul, 1995, s.47.

⁷ Louis Robert Flood; Beyond TQM, John Wiley and Sons, West Sussex, P019 1UD, England, 1993, s.31.

⁸ Robert W. Hoyer; What is Quality: Learn how each of eight well-known gurus answers this question, Quality Progress, July 2001, ss.53-62.

⁹ George-Weimerskirch; Age., s.7.

¹⁰ Muhittin Şimşek; Toplam Kalite Yönetimi, Alfa Yayınları, İstanbul, 2004, s.6.

karşılaşılabileceklerdir. İşletmeler açısından kalitenin amacı ve önemi iki ana başlık altında toplanabilir:¹¹

- Üretim işlemleri sonucunda ortaya çıkan hurda, fire ve atık oranı azalacak, mallar üzerinde yeniden düzeltme işlemleri yapılması ortadan kalkacaktır. Bunun sonucunda üretimde daha az duraklama olacak, daha yüksek bir üretim hızına erişilecek ve çalışanların işlerini daha çok sevmeleri sağlanabilecektir.
- Kaliteli üretimle müşteri beklenti ve taleplerinin tam olarak karşılanması ile müşteri kaybının olmaması sonucu müşteri sayısı, satışların ve kârın artması sağlanabilecektir.

Kalite sınırları devamlı genişleyen bir kavramdır. Teknoloji, değişen koşullar, ihtiyaçlar kaliteye değişik boyutlar getirmektedir. Kalite niteliği bakımından dinamik bir özellik taşımakta, tüketici ihtiyaçlarına paralel olarak gelişmekte ve değişmektedir. Veri toplamak suretiyle üretici, yeni teknikler ve yeni örgütlenme yolları geliştirerek aynı maliyetle daha yüksek kalitede üretmek ve tüketicinin kaliteye yönelik taleplerini yerine getirmek durumundadır. Üreticilerin birçoğu için düşük kalitenin kârlılık üzerine olumsuz etki yapması gerçeği ortadadır. Düşük kalite, imalatçı için hataları bulma ve düzeltmedeki maliyet demektir. Bazen bu maliyetler büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Ayrıca düşük kalitenin alıcılardaki güven kaybından dolayı ürünün piyasa payının azalmasına neden olacağı da açıktır.¹²

1.1.1. Kalitenin unsurları (boyutları)

İçinde bulunduğumuz yüzyılda ortaya çıkmış olan değişik kalite tanımları, aslında kalitenin çok boyutlu olmasından kaynaklanmaktadır.¹³ 1984 yılında D. Garvin kalitenin sekiz boyutunu aşağıdaki gibi tanımlamıştır:¹⁴

Performans: Ürün veya hizmette bulunması gereken birinci dereceden önemlilik arz eden karakteristikler. Bu karakteristikler her ürün ve hizmette farklı özelliğe sahiptir. Bazılarında şekil, boyut ve kimyasal bir özellik olabildiği gibi bazılarında ise mekanik veya fiziki bir özellik olabilmektedir.

¹¹ Mahmut Tekin; Toplam Kalite Yönetimi, 3.Baskı, Ankara, 2004, s.7.

¹² <http://www.igeme.org.tr/TUR/pratik/kalite.pdf>

¹³ David A. Garvin, What Does Product Quality really Mean?, MITSloan Management Review, Vol.26, No.1, Fall 1984, ss.25-43.

¹⁴ Douglas C. Montgomery; Design and analysis of Experiements, John Wiley & Sons Inc., New York, 1991, s.16.

Diğer unsurlar: Ürün ve hizmette çekiciliği sağlayan ikinci dereceden önemlilik gösteren karakteristikler. Bunların mutlaka bulunması gereken asıl unsurlar olmayıp daha etkili sonuçların meydana gelmesini sağlayan unsurlardır.

Uygunluk: Ürün veya servisin belirlenen standartları karşılama seviyesidir. Klasik yönetim yaklaşımı "uygunluğu", önceden tespit edilen tolerans limitleri içinde şartları karşılamaktadır. %95 ve yukarısı yüksek kalitenin göstergesi olabilir. Toplam Kalite anlayışında ise standarttan her sapma kayıp olarak nitelendirilir.¹⁵

Güvenilirlik: Ürünün kullanım ömrü içerisindeki performans özelliklerinin sürekliliğidir. Bir başka deyişle ürünün kullanım ömrü boyunca kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilmesidir.

Dayanıklılık: Ürünün kullanılabilirlik özelliğidir. Veya üründe kullanım ömrünün uzunluğu olarak da düşünülebilir. Aynı fiyatlar sahip ürünlerdeki tercih, daha uzun süre hizmet edebilecek ürünler yönünde olacaktır.

Hizmet görürlük: Ürüne ilişkin problem ve şikâyetlerin kolay çözülebilirliğidir. Satış sonrası hizmetler olarak bilinen ürünün servis ve bakımları müşteri memnuniyeti açısından son derece önem arz etmektedir.

Estetik: Ürünün albenisi ve duylara seslenebilme yeterliliğidir. Ürünün ambalajı, rengi ve şekli gibi özellikler ürünün performansını doğrudan etkilememekle birlikte tüketicinin hislerine ve iç dünyasına hitap edebilen özelliklerdir.

İtibar: Ürünün ya da diğer üretim kalemlerinin geçmiş performansıdır. Bir başka deyişle tüketiciler her zaman ürünle ilgili bilgileri elde edemeyebilirler. Bu durumlarda ürünün, diğer tüketicilerin nazarında nasıl bir iz bıraktığını nazara alır.

Açıkça anlaşıldığı üzere kalitenin birçok boyutu bulunuyor ve ürün kalitesini de bu boyutlar belirliyor.¹⁶

1.2. Kalite Kavramının Tarihsel Gelişimi

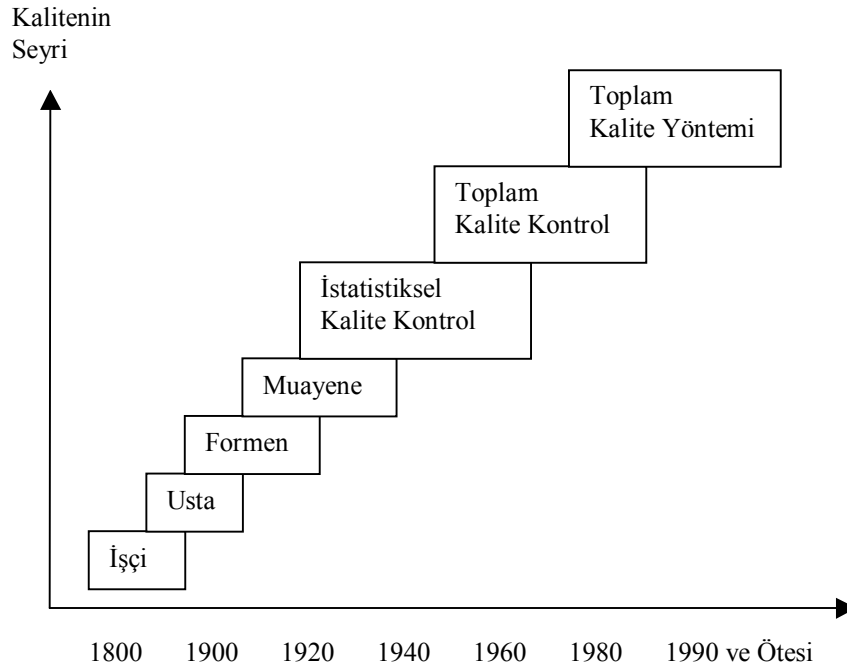
Dünyadaki ilk kalite çalışmaları insanoğlunun bir nesneyi çoğaltma isteği ile başlamıştır. İlk uygulamalar bir çekicin, bıçağın veya mızrağın ucundaki sivri taşın kötü bir kopyasını yapabilmek amacı ile gerçekleştirilirken, daha çok kullanım kolaylığı ve

¹⁵ [http:// www.kaliteofisi.com/makale/makaleler.asp?makale=32&ad=Toplam%20Kalite%20Y%C3%83%C2%B6netimi&id=9](http://www.kaliteofisi.com/makale/makaleler.asp?makale=32&ad=Toplam%20Kalite%20Y%C3%83%C2%B6netimi&id=9)

¹⁶ <http://www.kobifinans.com.tr/article/view/60175/1/255>

boyutsal yakınlık hedefleniyordu. Belirli bir boyuta yakın olarak kopyalanan, çoğaltılan bıçaklar, mızraklar kendilerinden beklenen fonksiyonları daha iyi yerine getirebiliyordu. Bu bağlamda, değişkenliklere ve kalitesizliğe karşı savaşının neredeyse kendi tarihi kadar eski olduğu söylenebilir.

Kalite ile ilgili ilk kayıtlar M.Ö. 215 yılına kadar uzanır. Ünlü Hamurabi Kanunları'nın 229. Maddesinde şu ifadeler yer alır; eğer bir inşaat ustası bir ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp ev sahibinin üstüne çökerek ölümüne sebep olursa, o inşaat ustasının başı uçurulur.¹⁷ İlk dönemlerde kalite, özellikle mesleği elinde bulunduran ustaların sorumluluğu altındaydı. Bunlar ürünün üretilmesinden, imalatından, hammaddesinden sorumluydular. Kendi tasarımlarını, kendileri müşteriye sunabiliyorlardı. Bu durumda kalitenin ne olması gerektiği adım adım belirleniyor. Hâlbuki teknolojik ürünlerin gelişmesi ve çok sayıda tüketiciye hitab etmesi ile birlikte üreticiyle alıcı arasında mesafe açılıyor.¹⁸ Sürekli gelişim kaydeden kalitenin tarihi seyri Şekil 1-1'de özetlenmiştir.



Şekil 1-1: Kalitenin tarihi seyri grafiği

Kaynak: A. V. Feigebaum; Total Quality Control, 3. Edition, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore, 1986, s.16.

¹⁷ TSE, TES ISO 9000 Kalite Broşürü, Ankara, 1996, s.3.

¹⁸ Esin Alp; Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Kuruluşlarında Kalite Sistemleri ve ISO 9000, I.S.O., ISO 9000 ve Kalite Seminerleri, Yayın No: 13, İstanbul, 1993, s.74.

Sanayi devriminden sonraki yıllarda, işletmelerin daha da büyümesi, Taylor modelinin (Klasik model) gelişmesi ve otomasyona geçilmesiyle birlikte belirli spesifikasyonlar ve testler geliştirildi, laboratuvarlar kuruldu ve ayrı bir kalite kontrol birimleri oluşmaya başladı. Bütün sorumluluk da bunlara verildi.¹⁹

Birinci Dünya Savaşı seri üretimi ortaya çıkarırken, artan üretim miktarı ve ürün çeşitliliği ile birlikte kalite kontrolde matematiksel yöntemlerin kullanılması bir zorunluluk oldu. Amerika’da Shewhart 1924 yılında Kontrol Çizelgelerini geliştirdi. Amerika’daki firmalar örnekleme metodunu kullanmaya başlarken, İngiltere’de Duding, elektrik endüstrisinde istatistiksel metotları uygulamaya koydu.

İkinci Dünya Savaşı yıllarında imalatın artmasına bağımlı olarak istatistiksel kalite kontrol metotları geliştirildi ve bu şekilde de muayene maliyetlerinin düşürülmesine çalışıldı. Ancak bütün bunlara rağmen dünya savaşları nitelikli işgücünün yerini, yeterli endüstri kültürü almamış kişilere bırakılmasına sebep olmuştur. Bu durumla eş zamanlı olarak savunma sanayii ve nükleer teknolojiye gelişmeler önce muayene faaliyetlerinin ve istatistiksel yöntemlerin ön plana çıkmasını sağlamıştır. Fakat hata affetmeyen bu sektörler için muayene faaliyetleri yeterli güvence sağlamamış ve çıkar yol olarak başvurulmuş sıklaştırılmış muayene işlemleri ise yanlış uygulamalar neticesinde, mamul maliyetlerini attırmanın yanı sıra çözüm de olmamıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında asıl gelişme Japonya’da yaşanmıştır. İstatistiksel kalite kontrol kavramı önce Deming sonra da Juran tarafından ülkede tanıtılmıştır. Birçok eski yöneticiler işten çıkarılmış, yerlerine işletme içinden üretim ve planlama konusunda uzman insanlar getirilmiştir.²⁰

1.3. Kalite Bileşenleri (Tipleri)

Kalitenin boyutlarından da anlaşılacağı gibi, kalite mutlak anlamda “en iyi” demek değildir. Çok boyutluluğu, kaliteyi bir bileşim olarak ortaya çıkarmaktadır.²¹ Genişletilmiş süreçte kaliteyi iyileştirmek arzusunda olan yöneticilerin kalitenin aşağıdaki üç tipini göz önüne almaları gereklidir:²²

¹⁹ Nüket Yetiş; Kalite Kontrol ve TKY: Kalite Organizasyonu, Eğitim ve İnsan Gücü Geliştirme, I.S.O. ISO 9000 ve Kalite Seminerleri, Yayın No: 1993/13, İstanbul, s.27.

²⁰ Muhittin Şimşek; Kalite Kavramının Tanımı ve Tarihsel Gelişimi, Standard Dergisi, Sayı:465, Eylül 2000, s.35-37.

²¹ Şimşek; Age., s.35-37.

²² Howard Gitlow; Definition of Quality, Proceedings-Case Study Seminar-Dr. Deming’s Management Methods:How They Are Being Implemented in the U.S. and Abroad, Andover, Mass: G.O.A.L., November, 1984, ss.4-18.

- Tasarım/Yeniden tasarım kalitesi
- Uygunluk kalitesi
- Performans kalitesi

Kalitenin bileşenleri olan tasarım kalitesi, uygunluk kalitesi ve performans kalitesi açıklanacaktır.

1.3.1. Tasarım kalitesi

Ürünün tüketici ihtiyacını karşılayabilme derecesine tasarım kalitesi denir. Tasarım kalitesi, müşteri araştırmaları ve hizmet/satış ziyaretleri ile başlar ve müşteriye tatmin edecek bir ürün/hizmet kavramının belirlenmesi ile sürdürülür.²³ Daha sonra ürün/hizmet kavramı için spesifikasyonlar hazırlanır. Bir kuruluştaki müşteri ve tedarikçileri iki ayrı grupta değerlendirmek gerekir: Dış ve iç. Örneğin; satın alma, üretimin tedarikçisi; üretim, sevkiyatın tedarikçisi; sevkiyat ise üretimin tedarikçisi olarak değerlendirilmelidir.²⁴

Tasarım kalitesi, ürünün fiziksel yapısı ve özellikleri ile beraber tasarlanır. Boyut, ağırlık, hacim v.b. fiziksel nitelikler gibi tasarım kalitesi de ölçülerle belirlenir. Tasarım kalitesinin saptanmasında, biri kalite değeri, diğeri de kalite maliyetini oluşturan iki parasal faktör arasında en uygun noktanın bulunmasına çalışılır. Tüketici başlangıçta malın artan kalitesine değer verir, yani kalite karşılığında daha fazla para ödemeye hazırdır. Fakat kalite düzeyi, ihtiyacının üzerine çıkmaya başladığında aynı isteği göstermez. Dolayısıyla onun nazarında kalitenin değeri giderek düşer. Örneğin; ayakkabının bir veya iki yıl dayanıklı olması karşılığında fiyat farkına katlanılır. Fakat dayanıklılık süresi uzadıkça, artan fiyatı ödeyecek tüketici sayısı hızla azalır. Kalitenin maliyeti, tersine bir gelişme gösterir. Kalite derecesi arttıkça maliyetler hızla artar.²⁵

Genel bir kural olarak, yüksek kaliteli bir tasarımın oldukça yüksek bir maliyet getireceği söylenebilir. Bir ürün için en uygun tasarım kalitesi, kalitenin tüketici açısından değeri ile üreticiye olan maliyeti arasındaki ilişki ile ifade edilir. Bu ilişki Şekil 1-2’de verilmiş olup, burada kalite değer eğrisi olarak, - b(x) fonksiyonuna ait eğri- tüketicinin kaliteye verdiği değer; diğer bir deyişle ödemeye hazır olduğu para,

²³ İrfan Ertuğrul; Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Ekin Kitabevi, Bursa, 2004, s.12.

²⁴ Rıdvan Bozkurt; Kalite İyileştirme Araç ve Yöntemleri: İstatistiksel Teknikler, Milli Prodüktivite Merkezi Yayın No: 630, Ankara, 2001, s.15.

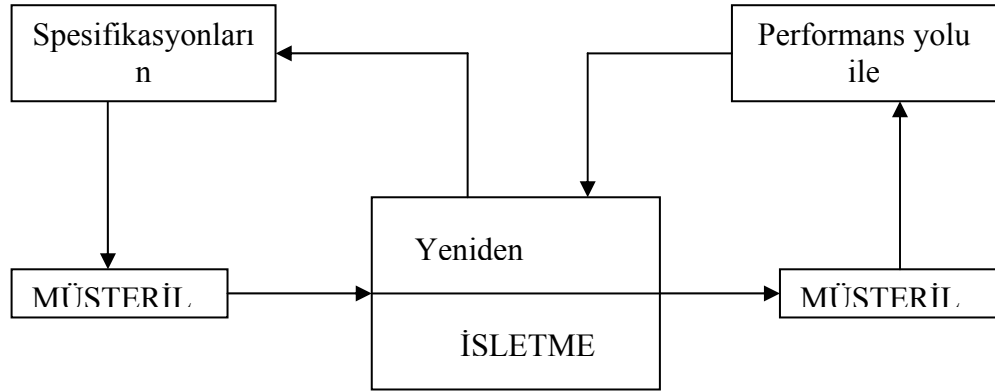
²⁵ Bülent Kobu; Üretim Yönetimi, 11.Basım, Avcıol Yayın, İstanbul, 2003, s.460.

maliyet eğrisi olarak – $c(x)$ fonksiyonuna ait eğri- kalitenin elde edilme maliyeti ifade edilmekte ve en uygun tasarım kalitesinin nasıl sağlanacağı gösterilmektedir.²⁶

farklılık varsa, bu durumda hatalı ve yeniden işlenecek mamuller vardır. Uygunluk kalitesi yükseldiği zaman maliyet düşer.²⁹

1.3.3. Performans kalitesi

Performans kalitesi, bir ürünün piyasada ne kadar iyi bir performans gösterdiği, yani müşteriler tarafından ne derece iyi algılandığı ve kabul edildiği konuları ile ilgilidir.³⁰ Performans kalitesi, işletmenin ürün/hizmetlerinin pazardaki performans düzeylerinin müşteri araştırmaları, satış/hizmet analizleri ile belirlenmesidir. Bu çalışmalar; satış sonrası hizmet, bakım-güvenirlilik ve lojistik destek analizi ile müşterilerin neden işletmenin ürün/hizmetlerini satın almadıklarının araştırılmasını içerir.³¹



Şekil 1-3: Performans kalitesi grafiği

Kaynak: Gitlow H.- Gitlow S.- Oppenheim A.- Oppenheim R.; Tools and Methods for the Improvement of Quality, Irwin Homewood, IL, U.S.A., 1989, s.7.

Performans kalitesi, doğrudan doğruya müşterinin ürünle ilgili düşünceleri ile tanımlanmaktadır. Bu konu ile ilgili bilgilerin firmaya iletilmesinde en önemli rol satış departmanına düşer. Müşterinin ürün ile ilgili şikâyet ve önerileri gerek bu kanaldan, gerekse diğer kanallardan firmaya ulaştığı takdirde, kalite kontrolüne esas oluşturacak

²⁸ Sıtkı Gözlü; Endüstriyel Kalite Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1990, s.5.

²⁹ <http://www.kobifinans.com.tr/article/view/60175/1/255>

³⁰ http://www.kalder.org.tr/preview_content.asp?contID=692&tempID=1®ID=2

³¹ Ertuğrul; Age., s.15.

üç aşama olan tasarım, uygunluk ve performans tamamlanmış olacaktır.³² Performans kalitesinin bir özeti Şekil 1-3’de sunulmuştur.

1.4. Kalite Kontrol ve Gelişimi

Maliyet, finans, stok, satış, üretim konularında olduğu gibi kalite konusunda da kontrolün önemli bir yeri vardır. İşletmeler, mal ve hizmet üretimlerinde öncelikle belirli bir kalite hedefi oluşturup sonra bu hedefe ulaşmak için birçok aracı birlikte kullanarak, sonuca ulaşmaya çalışırlar. Günümüzde işletmeler, ürün kalitesini maksimum düzeyde gerçekleştirmek ve kaliteyi aynı seviyede ve hatta daha mükemmele ulaştırmak için birtakım faaliyetlerde bulunmaktadır. Kaliteyi oluşturacak bu faaliyetler, kalite kontrol faaliyetleridir.

Üretimi yapılan parça, ürün ve ünitelerden alınacak numunelerin incelenmesi suretiyle istenilen kalite seviyesine ulaşılması için yapılan işlemlere “kalite kontrol” denir. Kalite kontrol, aynı zamanda bir muayene, analiz ve tatbikat sistemidir.³³

Kalite kontrol; bir ürünün, tüketicisini tatmin etmesi ve onun beklentilerini en iyi biçimde karşılaması amacıyla, üretimin her aşamasında sürdürülen denetim işlemleridir. Kalite kontrol, üretimin planlaması aşamasında belirlenen kalite standartlarına üretim işlemleri boyunca, öncesinde ve sonrasında ne ölçüde uyulduğunun incelenmesi ve gözlenmesi olarak da tanımlanabilir. Ancak, kalite kontrol, yalnızca gözetleme, muayene ve ölçümleme işlemi olarak anlaşılmamalıdır. Modern anlamda kalite kontrol;

- Kaliteye ilişkin standartların ve ana ilkelerin üst yönetim düzeyinde belirlenmesi,
- Denetleme ve gözetleme işlemlerinin örgütlenmesi ve uygulanan yöntemlerin geliştirilmesi,
- Kalitenin bozulmasına ve planlanan kaliteye ulaşılmasını engelleyen koşulların ortadan kaldırılması,
- Kalite sorunları hakkında, işletmenin tüm birimlerine danışmanlık hizmetlerinin sağlanması çalışmalarını da kapsamaktadır.³⁴

³² Serdar Tan- Nurettin Peşkircioğlu; Kalitesizliğin Maliyeti, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Yayın No:316, Ankara, 1991, s.9.

³³ Ertuğrul; Age., s.24.

³⁴ İsmet Barutçugil; Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri, Uludağ Üniversitesi Yayınları, Bursa, 1988, s.275.

Kalite kontrol, işletme istatistiğinin hızla büyüyen bir kolu olmuştur. Bu yöntemin yararı açıkça görülmektedir. Bunlar.³⁵

Artan verimlilik: Standart dışı parçalar yeterince erken fark edilirse, üretim sürecindeki güçlükler önceden bilinirse, para ve zaman israfının önüne büyük ölçüde geçilmiş olur. Yöntemin başarıyla uygulanması sayesinde, işçilerin çabası ya da maliyet artmaksızın, yeterli kalitede ürünün üretim hacminde daha önceye göre artış sağlanır.

Artan satışlar: Ürünün kalitesi konusunda hak edilmiş iyi bir isim yapmanın rekabetçi pazar ortamında büyük bir üstünlük sağladığı herkesçe kabul edilmektedir. Böyle bir itibar genellikle güç kazanılır, ama bunun yokluğu çoğu sanayide ölümcül olur.

Artan kâr: Azalan birim üretim maliyeti ile artan satışlar, kuşkusuz, şirketin kâr-zarar satırına yansır. Kalite kontrol yöntemlerinin bugün bu kadar tutulmasının nedeni kâr getirmesidir.

Birinci Dünya Savaşının ortaya çıkardığı şartlar, imalat sistemini eskiye göre daha karmaşık hale getirmiş ve kalite kontrol faaliyetinin bu alanda uzmanlaşmış kişiler tarafından yerine getirilmesi zorunlu olmuştur. Bu aşama “muayene” olarak nitelendirilmektedir. Bu gelişmelerin sonucu olarak kalite kontrol işlemleri, üretim bölümünün sorumluluğundan ayrılarak bağımsız bir birim halinde işletme örgütü içinde yerini almıştır.

1924 yılında bir matematikçi olan Walter Shewhart, ilk kez Bell Laboratuvarlarında, seri üretim ortamında kalitenin ekonomik olarak kontrolü için bir yöntem olan istatistiksel kalite kontrol (İKK) kavramını gündeme getirdi. Daha sonra giderek yaygınlaşan kütle üretiminin kalite kontrol ihtiyaçlarını karşılamak üzere ABD, İngiltere gibi birçok endüstri ülkesinin fabrikalarında kullanılmaya ve yayılmaya başladı. Çünkü kütle üretiminde, miktarların çok yüksek olması %100 muayeneyi olanaksız kılmıştı. Örneklem yaparak, tüm üretim partisinin kalitesi hakkında istatistiksel çıkarım yapmaya yönelik olan İKK, gerçekten büyük faydalar sağladı. Bu dönemde muayenecilerin rolü değişti ve sayıları azaldı. Örneklem, kontrol şemaları gibi bazı istatistiksel araçları kullanarak kalite kontroldeki görevlerini devam ettirdiler.

³⁵ Paul Newbold; İşletme ve İktisat için İstatistik, Çev: Ümit Şenesen, Literatür Yayınları, Yayın No:44, İstanbul, 2000, s.724.

İKK uygulamalarının iyice kendini kabul ettirdiği dönem ise II. Dünya Savaşıdır. Savaşın, İKK ve bunun temelini oluşturan istatistik teorisi sayesinde kazanıldığı bile iddia edildi. Hatta bu yöntemler Nazi güçlerinin teslim olmasına kadar askeri bir sır olarak gizli tutuldu. Önceleri ürün kalitesinin kontrolüne ağırlık veren İKK, II. Dünya Savaşı sonrasında ise İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK) yönünde gelişmeye başladı.³⁶

1.4.1. Kalite kontrolünde istatistik yöntemlerin yeri ve önemi

Üzerinde çalışılan konu ile ilgili sayısal verilerin, doğru olarak toplanması, özetlenmesi, konuyu tanıttak şekilde işlenmesi, bilinen faktörlere göre analizi, başka verilerle ilişkilerinin tespiti ile sonuçların yorumlanması ve genelleştirilmesi için yapılan bütün işlemler “İstatistiksel Metotlar” olarak bilinir.

Üretim yöntemlerinin ve ürün yapısının karmaşıklığı kaliteli ve tek düze ürün elde etme çabalarını büyük ölçüde engellemektedir. İstatistik bu sorunların çözümünde kullanılan temel bir araçtır. Büyük miktarlarda üretimler söz konusu olduğunda üretilen mamullerin kalitesini kontrol etmek ve muayene edilecek birimlerin miktarlarını belirlemek istatistik metotların kullanımı ile mümkün olmaktadır. İstatistik tekniklerin kullanımından önce verilerin doğru olarak toplanması gerekmektedir. Doğru veri toplanması ancak, istatistik konusunda eğitimli personelce, belirli bir sistemle, ölçüm hatası olmayan cihazlarla yapılabilir.³⁷

Kalite kontrol faaliyetlerinin yerine getirilmesinde, istatistiksel metotlardan yararlanılmaktadır ve kalitenin kontrol edilmesi ile ilgili olarak iki temel yaklaşım söz konusudur. Bunlardan birincisi, firmaya giren ve firmadan çıkan fiziksel maddelerin kontrol edilmesi, ikincisi ise çevrim veya dönüşüm faaliyetlerinin fiili olarak yürütüldüğü üretim veya imalat sürecinin kontrol edilmesidir. Bu yaklaşımların her ikisi de istatistiksel örnekleme tekniklerini kapsamaktadır.³⁸

Modern kalite kontrolün temelleri, 1920’lerden itibaren istatistiksel metotların sanayide kullanımı ile ortaya çıkmıştır. Bu yıllarda ilk olarak Shewhart, Dodge,

³⁶ <http://www.kaliteofisi.com/makale/makaleler.asp?makale=33&ad=Toplam%20Kalite%20Y%C3%83%C2%B6netimi&id=9>

³⁷ <http://www.kimekskimya.com.tr>

³⁸ Monic, J. G. Operations Management Theory and Problems, McGraw-Hill Book Co., New York, 1987, s.581.

Roming, Pearson gibi bilim adamları istatistiksel metotları, sanayide karşılaşılan kalite problemlerinin çözümünde kullanarak istatistiksel proses kontrolünün temelini atmışlardır. İstatistik birçok bilim dalında olduğu gibi kalite kontrolünde de temel bir yardımcı vazifesi görmektedir.

Üretim yöntemlerinin ve ürün yapısının karmaşıklığı, kaliteli ve tekdüze ürün elde etme çabalarını büyük ölçüde engellemektedir. İstatistik, bu sorunların çözümünde kullanılan temel bir araçtır. Büyük miktarlarda üretim söz konusu olduğunda, üretilen mamullerin kalitesini kontrol etmek ve muayene edilecek birimlerin miktarını belirlemek, istatistiksel metotların kullanımı ile mümkün olmaktadır. Ayrıca kalite konusunda çalışan tüm personelin istatistik konusunda sistematik bir biçimde eğitilmeleri de zorunludur.³⁹

Japonların, dünya piyasalarında kalite konusunda yüksek rekabet gücüne sahip olabilmelerinin önemli nedenlerinden birisi, Japonların Batının takip ettiği geleneksel düzeltici kalite kontrol ve örnekleme yoluyla incelemeye daha az önem vermeleri, kaliteyi mamul ve imalat sürecine yerleştirmeleri ve bu amaçla istatistiksel yöntemleri etkin bir biçimde kullanmaları olmuştur. Bu şekilde gerektiği yerde uygun önlemleri almak daha kolay olmakta ve ekonomik açıdan da yarar sağlamaktadır.⁴⁰

1.4.2. Kalite kontrolde standartlar, spesifikasyonlar ve toleranslar

Bir işletmede kalite kontrolü, geniş kapsamlı faaliyetlerden oluşan bir fonksiyondur. Kalite kontrolde temel amaç, tüketicinin ihtiyaç ve isteklerini en ekonomik seviyede karşılayabilmek için işletmede kalitenin yaşatılması, geliştirilmesi ve korunmasına ilişkin çabaları koordine etmektir. Bütün bunları gerçekleştirebilmek için, üretim sürecinde kaliteyi etkileyebilecek bazı araçlardan faydalanmak gerekir. Bu araçlardan en önemlileri; standartlar, spesifikasyonlar ve toleranslardır.⁴¹

Standart; üretim, ölçme v.b. konularda önceden saptanmış olan kurallardır. Endüstri işletmelerinde çeşitli konularda oluşturulan standartlar tiplerine göre altı grupta toplanabilir:⁴²

³⁹ Ertuğrul; Age., s.181.

⁴⁰ <http://www.igeme.org.tr/TUR/pratik/kalite.pdf>

⁴¹ Ertuğrul; Age., s.182.

⁴² Şevkinaz Gümüşoğlu; İstatistiksel Kalite Kontrolü, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 1996, s.8-9.

Terminoloji standartları: Belirli bir konuda kavramlar arasında uyum sağlamak ve iletişimi kolaylaştırmak için oluşturulan tanım, terim ve simgelerdir.

Temel standartlar: Somut nesnelerin sürekli olarak standartlaştırılmasında kullanılan temel veri, kavram ve yöntemleri belirleyen kurallardan oluşur.

Boyut standartları: Bir yapının tasarımı ile ilgili ölçü ve boyutları belirleyen standartlardır.

Çeşit standartları: Bir yapının değişik ölçülerden veya tasarım farklarından doğan, çeşitlerin sayısını belirleyip kısıtlayan standartlardır.

Performans standartları: Bir yapının tasarım aşamasında saptanan, işlevsel özelliklerini tanımlayan standartlardır.

Denetim ve deney standartları: Dayanıklılık, güvenilirlik, dirençlilik, performans v.b. özelliklerin doğruluk ve geçerliliğini saptamak amacı ile uygulanan denetim işlemleri veya deney yöntemlerini belirleyen kurallardır.

Spesifikasyon ise; bir işin nasıl yapılacağını belirten ayrıntılı talimat şeklinde tanımlanabilir. Spesifikasyon standartlaştırmada kullanılan bir araçtır. Daha açık bir şekilde ifade edilirse; spesifikasyonlar, standartlara göre daha dar kapsamlı ve standartların uygulamasında yardımcı olan araçlardır. Örneğin; ülkemizde vida boyutları standardize edilmiştir. Belirli bir tip vidanın ölçüleri onun spesifikasyonu-⁴³

Tolerans, belirli bir ürünün kalite özellikleriyle ilgili olarak ürün tasarımında öngörülen ve önceden belirlenen sınırlar içinde kabul edilebilen sapmalardır. Üretimin kalite yönüyle kontrol altında olup olmadığı, kalite kontrol grafikleri aracılığıyla önceden belirlenen toleranslara göre tespit edilmektedir.⁴⁴

1.5. Toplam Kalite Kontrol

Kalite kontrolün tarihsel gelişimine bakıldığında, endüstri devriminin ilk dönemlerinde kalite kontrol faaliyetini işin sahibi olan kişinin yaptığını, daha sonraları ölçme yapan kişilerin kalite kontrolden sorumlu oldukları görülmektedir. Bu dönemlerdeki kalite kontrol anlayışı, muayene faaliyeti olarak algılanmış ve II. Dünya Savaşı'nın başlarına kadar o şekilde sürdürülmüştür. Daha sonraki şartlar, kaliteye daha

⁴³ Bülent Kobu; Üretim Yönetimi, Sekizinci Baskı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1994, s.465.

⁴⁴ Ertuğrul; Age., s.52.

fazla önem verilmesini ve kalite kontrol faaliyetlerinde bazı istatistiksel yöntemlerin yanı sıra insan gücünün de kalite çalışmalarına katılması gerektiği düşüncesi ile Toplam Kalite Kontrol (TKK) anlayışı yerleşmiştir.⁴⁵

Toplam Kalite Kontrolü (TKK), tüketici isteklerini en ekonomik düzeyde karşılamak amacıyla işletme içindeki pazarlama, mühendislik, imalat ve müşteri hizmetleri gibi çeşitli birimleri; kalitenin oluşması, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çabalarını birleştirip bu çabalar arasında eşgüdüm sağlayan etkili sistemdir.⁴⁶

TKK kavramı, Armand V. Feigenbaum tarafından ortaya atıldı. Feigenbaum, 1950'li yıllarda New York'taki General Electric kurmay merkezinde kalite kontrolden sorumlu firma yöneticisi olarak hizmet vermiştir. TKK ile ilgili makalesi, Industrial Quality Control'ün Mayıs 1957 sayısında yayımlandı. Bunu 1961'deki Total Quality Control: Engineering And Management adlı kitabı izlemiştir.⁴⁷

Armand V. Feigenbaum Toplam Kalite Kontrol kavramını şu şekilde tanımlamıştır: "Toplam Kalite Kontrol bir organizasyondaki değişik grupların kalite geliştirme, kaliteyi koruma ve kalite iyileştirme çabalarını müşteri tatminini de göz önünde tutarak, üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek için birleştiren etkili bir sistemdir."⁴⁸

Toplam Kalite Kontrol'ün temel görevleri başlıca dört aşamada gerçekleşmektedir:⁴⁹

Yeni tasarım kontrolü: Tüketici ihtiyaçları satın alma gücü ve pazar özellikleri ile teknolojik imkânlar göz önüne alınarak mamulün kalitesini belirleyen teknik spesifikasyonlar ve prosesler tespit edilir.

Gelen malzeme kontrolü: Mamulde kullanılan hammadde, yarı mamul, parça ve yardımcı malzemelerin istenilen niteliklerde olup olmadığının tespitidir. Tedarik, satın alma ünitesinin görevidir. Fakat kalite spesifikasyonlarının belirlenmesi ve malzeme kabulü, kalite kontrolünün sorumluluğundadır.

⁴⁵ Ertuğrul; Age., s.63.

⁴⁶ Armand V. Feingembaum; Total Quality Control, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1986. s.78.

⁴⁷ Kaoru Ishikawa; Quality Control Circles At Work, Asian Productivity Pres Organization, Tokyo, 1984, s.92.

⁴⁸ Coşkun Can Aktan; Toplam Kalite Yönetiminin Temelleri, <http://www.canaktan.org/politika/kamuda-kalite/aktan-kal.pdf>

⁴⁹ Bülent Kobu; Endüstriyel Kalite Kontrol, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1987, s.35.

Mamul kontrolü: İmalatın önceden tayin edilmiş bulunan çeşitli aşamalarında yarı mamul ve mamullerin kalite spesifikasyonlarına uygunluğunun kontrolü ve gerekli hallerde ilgili ünitelerin zamanında düzeltici karar almalarını sağlayacak şekilde uyarılmasıdır.

Özel proses etütleri: Kusurlu ve spesifikasyonlara uygun olmayan mamullerle ilgili hataların belirlenmesi amacıyla gerekli inceleme ve testlerin yapılması ve düzeltici işlemlerin yerine getirilmesi faaliyetidir.

1.6. Toplam Kalite Yönetimi (TKY)

Dünyada küreselleşmeyle birlikte rekabet artmış, gümrük duvarlarıyla korunan ve dar bir alanda faaliyet gösteren organizasyonlar, uluslararası rekabetin içine sürüklenmişler ve kızışan rekabet organizasyonlarda kaliteyi artırırken, bir taraftan da maliyetleri aşağıya çekmeyi sağlayacak değişikliklerin yapılmasını gerekli kılmıştır. Bu sıkı rekabet karşısında ülkeler ve organizasyonlar kendi şartlarını tekrar gözden geçirmişler, yapılarında değişiklik yapma gereği duymuşlardır. Bu nedenle o güne kadar amaç, maksimum kâr elde etmek iken, şimdi hayatta kalabilmek, en iyi olmak ve dünya çapında bir organizasyon olmaktır. Bu amaca ulaşmak için ise, organizasyonlar çeşitli felsefeler geliştirmişlerdir. Bunlarda birisi kaliteyle rekabet edebilmek için, çağdaş yönetim anlayışlarından biri olan toplam kalite yönetimidir. Bu teknik; sistematik bir yönetim yaklaşımı olarak her tip organizasyonda başarıyla uygulanabilir.⁵⁰

Toplam Kalite Yönetimi kavramını tanımlayan ilk kişi olan Feigenbaum, kalitenin işletmelerin başarısı ve büyümesi açısından en önemli tek faktör olduğunu, kalitenin denetim ve muayene ile sağlanamayacağını savunmuştur. Kaliteyi, üretim bittikten sonra yapılanları kontrol etmek değil, fakat daha hammadde alınırken başlayan sürekli bir iş olarak görmüştür.⁵¹

Feigenbaum'a göre kalite sorumluluğu sadece üretim bölümünün üzerinde olmayıp, kalitenin oluşturulması, sürdürülmesi, geliştirilmesi ve denetimi sürecinde işletmede yer alan tüm bölümlerin katılımının sağlanması gerekmektedir. Tedarikçiden tüketiciye kadar uzanan tüm değer zincirini yöneten bir "toplam sistem" oluşturmayı savunmakta olup, kalitenin tüm işletme çalışanlarını kapsaması gerektiğini ifade eder ve

⁵⁰ Mina Özevren; Toplam Kalite Yönetimi, Alfa Yayınevi, İstanbul, 1997, s.1-2.

⁵¹ Tamer Koçel; İşletme Yöneticiliği, 6.Baskı, Beta Yayınları, İstanbul, 1998, s.273.

daha da önemlisi kalitenin işletme kültürünün bir parçası haline getirilmesinden bahseder. Kalite için “tüketici tabanlı” (consumer-based) bir yaklaşım benimsemiştir. “Eğer kalitenizi araştırmak isterseniz, dışarı çıkın ve müşterilerinize sorun” demiştir.⁵²

Son yılların kalite anlayışı haline gelen toplam kalite yönetimi şu şekilde tanımlanabilir: “Tüm proseslerin, ürünlerin ve hizmetlerin tam katılım yoluyla geliştirilmesi, iç ve dış müşteri tatmininin artırılması ve müşteri bağlılığının oluşmasının sağlanması amacıyla, örgütte alınan sonuçların sürekli iyileştirilmesine dayanan; müşteri beklentilerini her şeyin üzerinde tutan ve müşteri tarafından tanımlanan kaliteyi, tüm faaliyetlerin yürütülmesi sırasında mal ve hizmet bünyesinde oluşturulan, günümüzün bir yönetim anlayışıdır.”⁵³

Toplam kalite Yönetimi 1994 tarihli ISO 8402’de şu şekilde tanımlanmıştır: “Bir kuruluş içinde kaliteyi odak alan, kuruluşun bütün üyelerinin katılımına dayanan, müşteri memnuniyeti yoluyla uzun vadeli başarıyı amaçlayan ve kuruluşun bütün üyelerine ve topluma yarar sağlayan yönetim yaklaşımı.”⁵⁴

Toplam Kalite Yönetimi’nin (TKY) doğru uygulanabilmesi için aşağıdaki beş temel öğenin bir araya getirilmesi gerekir:

- Üst yönetimin liderliği;
- Müşteri odaklılık;
- Firma elemanlarının eğitimi;
- Takım çalışması;
- Sürekli geliştirme (kaizen) yaklaşımı.

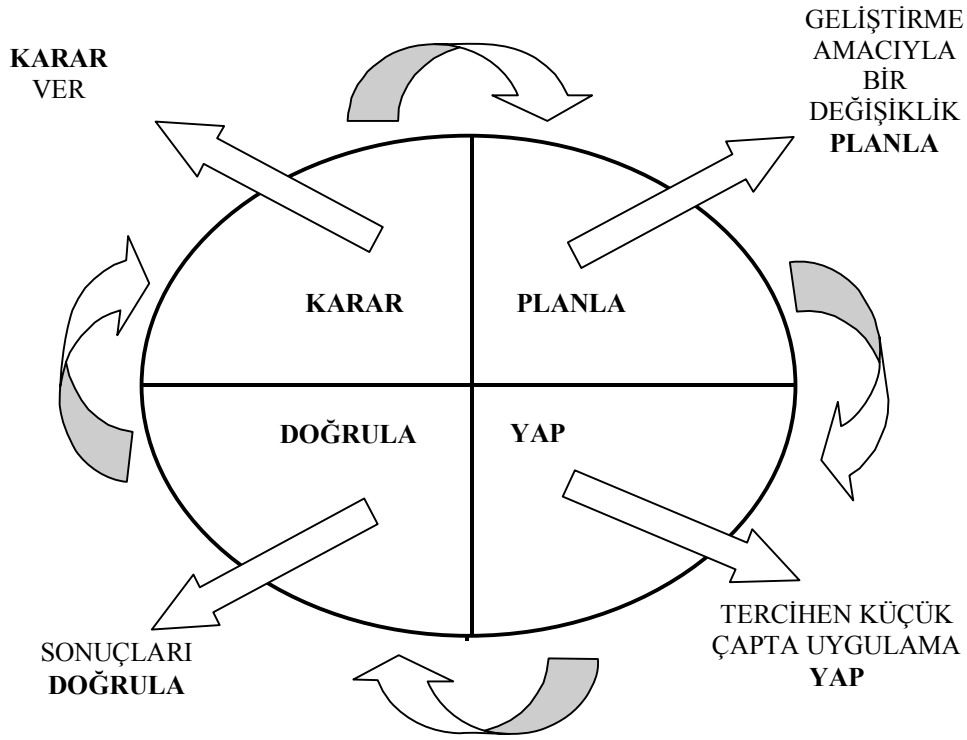
Yukarıdaki öğelerden ilk dördü beşincisi için gereklidir. Firmada ürün ve hizmet kalitesini iyileştirmek için gereken direkt çalışmalar, kayzen yaklaşımı içinde yapılır. Dolayısıyla, sürekli geliştirme, TKY’nin en temel faaliyetidir. Kayzen çalışmalarında, Shewhart veya Deming çemberi olarak tanımlanan “Planla → Yap → Doğrula → Karar Ver” (PYDK) süreci genel çalışma çerçevesi olarak uygulanır.⁵⁵ Deming’in kendi adıyla anılan TKY ile ilgili döngüsü Şekil 1-4’te gösterilmiştir.

⁵² Ashok Rao - Carr Lawrence – John Martin; Total Quality Management: A Cross Functional Perspective, John Wiley and Sons, New York, 1994, s.45-46.

⁵³ Ömer Peker; “Toplam Kalite Yönetimi ve Kamu Hizmetinde Kalite”, Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi, C.5, S.6, Ankara, 1996, s.45.

⁵⁴ Mustafa Taştan; Toplam Kalite Yönetimi, <http://www.humanresourcesfocus.com/tky.asp>

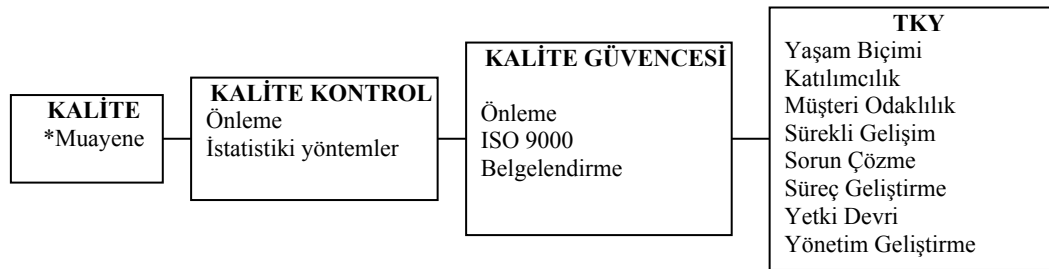
⁵⁵ Mete Şirvancı; Toplam Kalite Yönetiminin Temel Öğeleri, Önce Kalite Dergisi, Cilt:2, Sayı:5, Ekim 1993, s.12.



Şekil 1-4: Deming'in TKY döngüsü grafiği

Kaynak: Mete Şirvancı; Toplam Kalite Yönetiminin Temel Öğeleri, Önce Kalite Dergisi, Cilt:2, Sayı:5, 1993, s.12.

Firmalarda toplam kalite yönetiminin uygulanmasının amacı müşterilerin isteklerine en uygun mal ve hizmet üretmektir. Nitekim Japon Endüstri Standartları adlı kuruluş TKY'ni "müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilecek ürün ve hizmetleri ekonomik olarak üretme sistemi" şeklinde tanımlamaktadır.⁵⁶



Şekil 1-5: Kalite anlayışının merhaleleri grafiği

Kaynak: İsmail Türkmen; Toplam Kalite Yönetimine Geçiş ve Uygulamada Başarıyı Engellleyen Faktörler, Verimlilik Dergisi Özel Sayı, 1995, s.146.

⁵⁶ Masaaki Imai; Kaizen: Japonya'nın Rekabetteki Başarısının Anahtarı, İstanbul, Brisa Yayını, 1997, s.42.

Toplam kalite konusunda çalışmalar yapan teorisyenler ve uygulayıcılar, kalite, kalite yönetimi, kalite kontrol, kalite güvencesi, kalite denetimi, kalite sistemi gibi birçok kavramla karşılaşmaktadırlar. Bütün bu kavramlar, kalitenin önemini vurgulamakla birlikte, kavram kargaşasına da yol açmaktadır. Aslında her biri, TKY'ne giden yolda bir merhaledir. Şekil 1-5'de kalitenin evrimi görülmektedir.⁵⁷

1.6.1. Toplam kalite yönetiminin tarihsel gelişimi ve önemi

TKY'nin gelişmesinde kaliteyi baz alan bazı uzmanlar, ilk referans olarak M.Ö. 3000'lerdeki Hammurabi Kanunlarına kadar inmektedir. Oysa incelenmesi gereken konu örgütlerdeki kalite olgusunun TKY'ne dönüşümü olmalıdır. Bu anlamda ilk çalışmalar Shewhart tarafından Bell Laboratuvarlarında 1930 yılında İstatistiksel Kalite Kontrol ile başlatılmıştır. Yıllar itibariyle kalite olgusunun TKY'ne dönüşümünde emeği geçenler Tablo 1-1'deki gibi sıralanabilir.⁵⁸

Tablo 1-1: Kalite'nin kilometre taşları

1931	W. SHEWHART; İstatistiksel Kalite Kontrol (ABD)
1940+	STANFORD Seminerleri (ABD)
1950	E. DEMİNG'in Seminerleri (Japonya)
1951	E. DEMİNG ; Kalite Ödülü (Japonya)
1952	"Kalite Kontrol" Dergisi (Japonya)
1954	P. DRUCKER ; Hedeflerle Yönetim (ABD)
1954	J. JURAN ; "Kalite Yönetimin Sorumluluğudur" (ABD)
1954	Ulusal Radyo ve Japonya'da "Kalite" Eğitimi Yayınları
1957	A. FEİGENBAUM ; Toplam Kalite Kontrol (ABD)
1961	K. ISHIKAWA ; Formenler İçin Kalite Kontrol Dergisi
1962	K. ISHIKAWA ; Kalite Çemberleri (Japonya)
1960+	G. TAGUCHİ ; İstatistiksel Deney Tasarımı (Japonya)
1963	KOBE STEEL ; Kalite Fonksiyonunun Yayılması (Japonya)
1970+	S. SHINGO ; Poka-Yoke (Hata önleme Yaklaşımı) (Japonya)
1970+	G. TAGUCHİ ; Kalitesizliğin Sapma Maliyeti (Japonya)
1976	T. OHNO ; Toyota Just-In Time (Tam Zamanında Üretim) Sistemi (Japonya)
1980+	G. TAGUCHI ; Robust Design(Sağlam ve Ucuz Tasarım) (Japonya)
1990	Ve Sonrası ; Yeniden Geliştirilen Kalite

Kaynak: Murat Şeneken; Toplam Kalite Anlayışı, Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Büro Personeli Kursu, 2004, s.4.

⁵⁷ İsmail Türkmen; "Toplam Kalite Yönetimine Geçiş ve Uygulamada Başarıyı Engelleleyen Faktörler," Verimlilik Dergisi, Özel Sayı, 1995, s.146.

⁵⁸ Murat Şeneken; Toplam Kalite Anlayışı, Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Büro Personeli Kursu, 2004, s.4.

Tablo 1-1 incelendiği zaman, TKY'nin ABD'de doğmasına rağmen, Japonya'da geniş uygulama alanı bulduğu ve Japon bilim adamları tarafından geliştirildiği görülmektedir. Ayrıca TKY incelendiğinde TKY'nin bir devrim değil, bir evrim olduğu görülmektedir.⁵⁹

Toplam Kalite Yönetiminin başlıca üç hedefi vardır:⁶⁰

- Müşterilerinin isteklerini tatmin edecek ürünleri ve hizmet üretmek, müşterilerinin güvenini kazanmak,
- Firmayı, daha az hata, daha düşük maliyet, daha az borç, çalışma prosedürlerini iyileştirici ve daha avantajlı sipariş getiren önlemlerle daha yüksek kârlılığa yöneltmek,
- Çalışanların firma hedefine ulaşma yolunda potansiyellerini tam olarak kullanmalarına yardım etmek, firmanın politikasının yayılımını ve gönüllü faaliyetleri teşvik etmek.

Bu yeni ortamda başarılı olabilen işletmelere bakıldığında; bunların ortak özelliklerinin, TKY felsefesini ve onun getirdiği yaklaşımı benimseyen işletmeler olduğu görülmektedir. Çünkü TKY sadece ürün ya da hizmet kalitesiyle ilgili olmayıp, aynı zamanda günümüzün çağdaş yönetim felsefesidir. TKY'nin rekabet gücünü yükseltmesinin temel nedeni, bir taraftan işletmenin tüm faaliyetlerinde kaliteyi yükseltmesi ve diğer taraftan da verimliliği arttırmasıdır. Oysa TKY felsefesini benimsemeyen bir işletmede, kalitenin yükseltilmesi kesinlikle maliyetleri arttırmakta, bu da işletmenin rekabet gücünü azaltmaktadır.⁶¹

TKY uygulama'nın işletmeye sağlayacağı yararlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:⁶²

- Kaynak kullanımını optimize ederek kaynak israfının azaltılması,
- Mamul ve hizmet kalitesinin artırılması,
- Verimlilik için gerekli teşvik ve koordinasyonun sağlanması ve verimlilik artışı yaratması,

⁵⁹ Ertuğrul; Age., s.101.

⁶⁰ Imai; Age., 1997, s.49.

⁶¹ İbrahim Kavrakoglu; Toplam Kalite Yönetimi, KalDer Yayınları, Yayın No:2, İstanbul, 1994, s.53.

⁶² Robert M. Grant-Rami Shani-R. Krishnan; TQM's Challenge to Management Theory and Practice, Sloan Management Review. Winter 1994, Vol. 35. s.25-35.

- Tüm organizasyon düzeyinde katılımı artırması ve tatmin düzeyi yüksek bir insan gücü ile iş barışına katkıları,
- Ürün teslim sürelerinin kısalması,
- Mamul geliştirme sürelerinin kısaltılması,
- Süreçlerde sürekli iyileşme,
- Pazardan gelen taleplere esnek davranabilme ve karşılayabilme yeteneğinde artışlar,
- Müşteriye hizmetin temel alınışı, müşteriye ürün teslimi sürelerinin kısalması ve sonuçta müşteri doyumunun artmasıdır.

1.6.2. TKY'ne giden yolda emeği geçen kalite guruları

Toplam kalite yönetimi belirli merhalelerden geçtiği için bu konuya değişik bilim adamlarının katkıları olmuştur. En çok katkısı olan bilim adamlarından bir kaçını anlatılacaktır.

1.6.2.1. Walter Shewhart'ın katkıları

Shewhart, toplam kalite yönetimi alanında liderlik görevini üstlenen W. Edwards Deming ve Joseph M. Juran'ın istatistiksel düşünme yönünden etkilendiği kişidir. Shewhart, 1920'li yıllarda çalıştığı Bell Atlantic firmasında, kalite geliştirme ve problem çözme alanında istatistiksel araçlardan geniş ölçüde yararlanmıştır.⁶³

Değişkenliğin azaltılması fikri 1931'de Bell Labratuarlarında çalışan Shewhart tarafından ortaya konmuştur. Ürün kalitesinin ekonomik kontrolü ile ilgili fikirleri aşağıdaki gibidir:⁶⁴

- Bütün üretim sistemleri ve süreçler değişkenlik gösterirler.
- Değişkenlik rasgele veya özel sebeplerden kaynaklanabilir.
- Özel sebepler, üretim sürecinde verimliliği arttırmak için yapılacak değişikliklerden önce ortadan kaldırılmalıdır.

Shewhart, istatistiksel kalite kontrol teknikleri kullanılarak organizasyonda başlıca şu avantajların elde edilebileceğini belirtmiştir:⁶⁵

⁶³ Ertuğrul; Age., s.102.

⁶⁴ H. Murat Günaydın; <http://www.iyte.edu.tr/~muratgunaydin/TKY3.doc>

- Ürün ortaya çıktıktan sonraki kalite maliyetleri azalır.
- Ürünün alıcılar tarafından reddedilme oranı azalır.
- Üretim miktarından maksimum fayda elde edilir.
- Tüm ürünlerde, yeknesak bir kaliteye ulaşılır.
- Kalite ölçülme işinin dolaylı olarak yapıldığı durumlarda tolerans limitleri azalır.

1.6.2.2. William Edwards Deming'in katkıları

Deming Amerikalı bir danışman olarak TKY devriminin babası kabul edilir. 1940'larda ABD'de uyguladığı istatistiksel süreç kontrolü ile işyerlerinde kalitenin gelişimine önemli katkılarda bulunmuştur. Fakat General Douglas McArthur tarafından 1950'lerde Japonya'ya davet edilmesine kadar Deming'in yaklaşımı fark edilmedi. Bugün Japonların kaliteli ürünler üretmesindeki başarı Deming'in katkılarına bağlanmaktadır. Japonlar bunu 1950'de başlattıkları Deming uygulama ödülü ve daha sonra 1960'da İmparator Hirahito tarafından Deming'e verilen nişan ile belirttiler.⁶⁶

Deming, Taylor döneminin "Planla-Yap-Gör-Kontrol Et" esaslarıyla ifade edilen Muayene esaslı kalite kontrol yaklaşımına dördüncü adım olan "Harekete Geçme"yi ekleyerek gerçek kontrolün yapılmasını sağlayacak olan eylemi tanımlamıştır.⁶⁷

Japonya'da kalite kontrolün temellerini atan Deming'in Toplam Kalite Kontrolün (TKK) başarısının temellerini oluşturan 14 ilkesi şöyle özetlenebilir:⁶⁸

- Amaçların uzun vadeli, geleceğe dönük olarak saptanması: Mevcut kaynakları geleceğe yönelik olarak, firmanızın ve tüketicilerin gelecekteki ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak kullanın.
- Dışarıdan satın alınan girdilerde satıcı sayısını azaltınız
- Son kontrolü, kalite kontrolü olarak görmeyin, süreç kontrolü yapın.
- Ucuz olduğu için hatalı girdileri almayın. Satın alınan firmanın süreç kontrolünü denetleyin.

⁶⁵ Coşkun Can Aktan; http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/shewart.htm

⁶⁶ H. Murat Günaydın; <http://www.iyte.edu.tr/~muratgunaydin/TKY3.doc>

⁶⁷ İsmail Efil; Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Kaliteye Ulaşmada Önemli Bir Araç: ISO 9000 Kalite Güvencesi Sistemi, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, Bursa, 1997, s.54.

⁶⁸ Üzeyme Doğan; Kalite Yönetimi ve Kontrolü, İstiklal Matbaası, İzmir, 1991, s.65.

- Çalışanların organizasyon korkusunu yenin. Soru sorulmamasından doğan kayıplar büyüktür.
- Sistemi kurmadan sadece sloganlarla yetinmeyin. Kalite kontrol sistemi kurulmadan “kusursuz üretim” sloganı işe yaramaz.
- İstatistikî metotları öğretiniz.
- İstatistikî metotları kullanınız.
- Hataların kaynağını arayınız. İş görenlerden mi, yönetim ve üretim sistemlerinden mi kaynaklandığını araştırınız.
- Grup oluşturarak, bunlardan kayıpların nedenlerini araştırmalarını isteyiniz.
- İşbaşında eğitimi geliştiriniz.
- Çalışma standartlarını inceleyiniz.
- Sistemin denetimini geliştiriniz.
- Dinamik bir eğitim modeli uygulayarak, değişen koşullara uyumu kolaylaştırınız.

Bu ilkeler istatistiksel kalite kontrolünü etkili bir şekilde kullanmak için düşünsel bir temel oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde istatistiksel araçların kullanılması ile davranış tekniklerinin birleştirilmesi, kalite ve verimlilik iyileştirme çalışmalarının bütünleyicisi olarak görev üstlenmektedir.⁶⁹

1.6.2.3. Joseph M. Juran’ın katkıları

Juran, ilk olarak “kullanım veya kullanım için uygunluk” terimini buldu. Bunu “özelliklerin uygunluğu” olarak ifade edilen kalite tanımından çıkarmıştır. Tehlikeli bir ürünün tüm şartlarla karşılaşabileceğini ve kullanım için uygun olamayabileceğini işaret etmiştir. Juran, geniş çapta kalite yönetimi yayınlarıyla ilk uğraşan kişidir. Bu onu bilinen teknikleri benimseyenlerden ayırt etmiştir. 1940’larda kalite kontrolünde teknik kabuller iyice azalmıştı. Bu durum, şirketlerin üstün kaliteyi nasıl başaracaklarını bilmelerinden kaynaklandığı savunulmuştur.⁷⁰

Juran, ayrıca “Pareto İlkesi” olarak adlandırılan ilkeyi savunmaktadır. Pareto ilkesi, 80/20 kuralı olarak da bilinir. Juran, sorunların yüzde 80’inin, olası sebeplerin yüzde 20’si tarafından oluşturulduğu ilkesini savunur. Özetle, sonuçların büyük bir

⁶⁹ Cohen Phil; Deming's 14 points, <http://www.hci.com.au/hcisite2/articles/deming.htm>

çoğunluğu, sebeplerin küçük bir yüzdesi tarafından ortaya çıkar. Juran, organizasyonda kalite devrimini başarmak için şu ilkelerin önemli olduğunu vurgulamaktadır:⁷¹

- Organizasyonda lider tarafında Kalite Konseyi oluşturulmalıdır.
- Organizasyonda kalite hedefi açık olarak belirlenmelidir.
- Kalite konusunda eğitim ve seminerlere önem verilmelidir.
- Sadece finansal göstergelere bakmak yetmez; kalite ölçülmelidir.
- Kalite geliştirme sürekli olmalıdır.
- Kalite geliştirme, problem çözme, yaratıcılık ve yenilik, organizasyonda önem taşımaktadır.
- Takdir ve ödüllendirmeye önem verilmelidir.
- Müşterilere yönelik kalite ve performans standartları oluşturulmalıdır.

1.6.2.4. Armand V. Feigenbaum'un katkıları

1950'li yıllarda General Elektrik firmasında kalite yöneticisi olarak çalışmakta olan A. V. Feigenbaum, çalışmalarını ve görüşlerini ilk kez 1957'de "Industrial Quality Control" dergisinde bir makalede açıklamıştır. 1961 yılında Toplam Kalite Kontrolü adında bir kitap yayınlayarak TTK'nün isim babası olarak anılmıştır. Feigenbaum bu kitabında TTK tanımını; "Bir organizasyonda değişik grupların kalite geliştirme, kaliteyi koruma ve iyileştirme çabalarını, müşteri tatminini de göz önünde tutarak üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek için birleştiren etkili bir sistemdir" şeklinde vermiştir.⁷²

Feigenbaum'a göre müşteri tatminine yönelik olarak organizasyonlarda pazarlama, mühendislik, yönetim ve hizmetlerde etkinlik sağlamak için kalite geliştirme, kalite bakımı ve kalite geliştirme çalışmaları yapılmalıdır. Feigenbaum kalite kontrol konusunda dört aşamanın önemli olduğunu vurgulamaktadır:⁷³

- Kalite standartları belirlenmeli,
- Kalite standartlarına uygunluk sağlanmalı,
- Kalite standartlarından sapılması önceden önlenmeli,

⁷⁰ Şimşek; Age., s.119.

⁷¹ Coşkun Can Aktan; http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/Juran.htm

⁷² Selçuk Kendirli - Hülya Çağırın; Sanayi İşletmelerinde Kalite Maliyetleri, <http://dergi.iibf.gazi.edu.tr/pdf/4108.pdf>

⁷³ Coşkun Can Aktan; http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/feigenbaum.htm

- Standartlarda sürekli iyileşme sağlanmalı.

Feigenbaum, aynı zamanda kalite maliyetleri olarak bilinen kavramın, toplam kalite yönetimi yaklaşımını uygulamanın yararlarının ölçülmesinde bir araç olarak kullanılmasını da ortaya atmıştır. Zamanla ortaya çıkardığı sonuçlara bağlı olarak bu yaklaşımını doğrulamış ve geliştirmiştir.⁷⁴

1.6.2.5. Kaoru Ishikawa'nın Katkıları

Ishikawa, kalite kontrol alanındaki çalışmaları ile Japonya'da kalite bilincinin yaygınlaşmasında önemli rol oynadı. Özellikle “kalite çemberleri” adı verilen kalite geliştirme ve problem çözme gruplarının bilimsel anlamda oluşturulmasında çok önemli katkıları oldu. Ishikawa'ya göre bir organizasyonda kalite sorunları kalite geliştirme araçları ile çözülebilir. Bunun için organizasyonda neden-sonuç diyagramı, dağılım diyagramı, pareto diyagramı, kalite çemberleri, histogram ve diğer istatistiksel araçların kullanımının önemli olduğunu savundu. Bu araçlardan neden-sonuç diyagramı Ishikawa tarafından geliştirilmiştir. Bu nedenle, toplam kalite yönetimi literatüründe neden-sonuç diyagramı “Ishikawa Diyagramı” olarak da bilinir.⁷⁵

Ishikawa'ya göre Toplam kalite kontrolünde başarıya ulaşmak için aşağıdaki esaslara uyulmalıdır:⁷⁶

- Tüm organizasyonda kalite kontrol çalışmalarını yürütün ve tüm çalışanların katılımını sağlayın.
- Kalite kontrol eğitimle başlar, eğitimle biter. Kalite kontrol konusunda yoğun eğitim ve seminer programları uygulayın.
- Kalite kontrol çemberlerinin kullanımına önem verin.
- Kalite kontrol çalışmalarını, yönetim kurulu başkanı ve kalite konseyi tarafından yılda en az iki kez denetleyin.
- Problem çözmede istatistiksel araçları kullanın.
- Kalite kontrol faaliyetlerinin ulusal düzeyde yaygınlaştırılması çabalarına katılın.
- Organizasyonda radikal değişim için devrimci olun.

⁷⁴ Şimşek; Age., s.122.

⁷⁵ Ertuğrul; Age., s.108.

⁷⁶ Coşkun Can Aktan; http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/Ishikawa.htm

1.6.3. Klasik yönetim anlayışı ile toplam kalite yönetiminin farklılıkları

Klasik yönetim yaklaşımının amacı belli bir standardı oluşturmak ve belirlenen standartlara göre üretimi gerçekleştirerek denetim altına almaktır. TKY hiçbir standardı kabul etmez, sürekli geliştirme ve iyileştirmeyi amaçlar. Toplam kalite yönetimi hemen her konuda klasik yönetim yaklaşımını neredeyse tam tersine çevirir. Bu konudaki karşılaştırmalı örnekler Tablo 1-2’de sıralanmıştır.⁷⁷

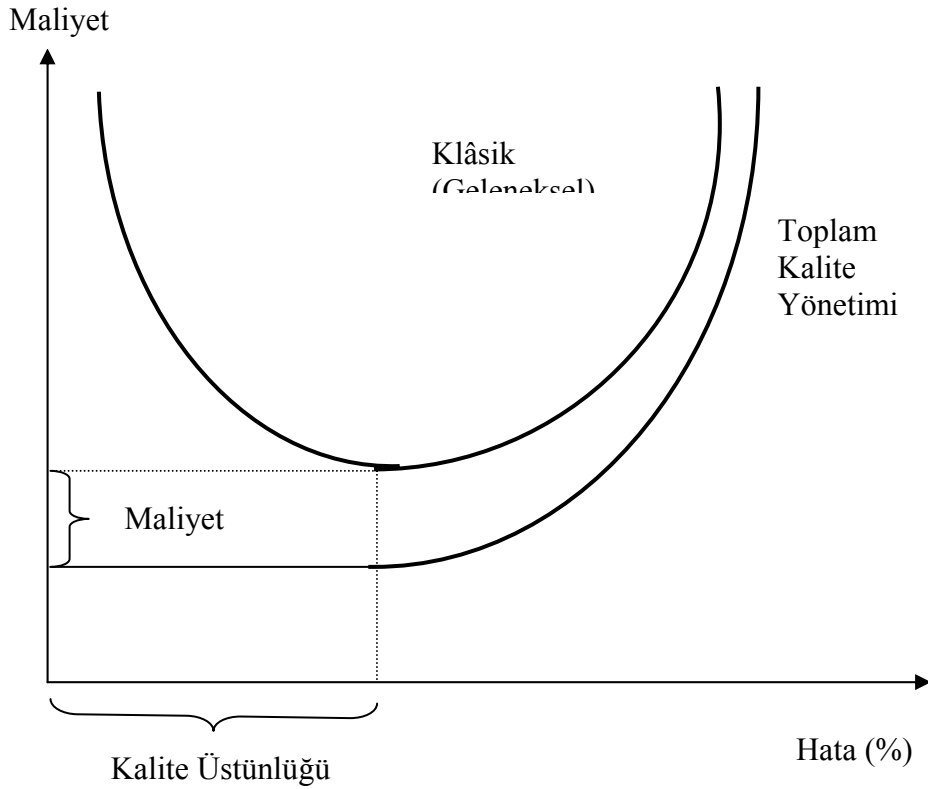
Tablo 1-2: Klasik yönetim modeli ve TKY’nin karşılaştırılması

Klasik Yönetim Modeli	Toplam Kalite Yönetimi
“Muayeneye” dayalı kalite	“Önemeye” dayalı kalite
Yüksek kalite ile artan maliyet	Yüksek kalite ile düşen maliyet
Optimum stok	Sıfır stok
Spesifikasyon limitleri arası üretim	Hedefe uygun üretim
Sorunlar çıktıkça çözüm geliştiren yönetim	Olası sorunları düşünüp, önleyen yönetim
Azami uzmanlaşma ile sistem geliştirme yaklaşımı	İşbirliği ile sistem geliştirme yaklaşımı
Fonksiyonların kesin ayırımına dayalı organizasyon	İşe ideal esnek kalıplı organizasyon
Kabul edilebilir hata düzeyini hedefleyen üretim	Sıfır hatayı hedefleyen üretim
Ödül ve cezaya dayalı motivasyon	Çalışmanın takdirine dayalı motivasyon
Hiyerarşiye dayalı öncelikler	Müşteri tatminine dayalı öncelikler
Rekabete dayalı tedarik sistemi	Karşılıklı anlayış ve güvence dayalı tedarik sistemi
Kâr maksimizasyonunu güdülemeye yönelik motivasyon	Yüksek kaliteyi sağlamayı hedefleyen motivasyon
Standartlara göre ürün kalitesi	Müşteri beklentilerine göre ürün kalitesi
K.K. Fonksiyonunun sorumluluğunda ürün tasarımı	Tüm çalışanların ve yönetimin sorumluluğunda kalite güvencesi
Arge ve pazarlamanın sorumluluğunda ürün tasarımı	Tüm üretim ve satış fonksiyonlarının katkısıyla ürün tasarımı
Optimum fire veya yeniden işleme	Sıfır fire veya yeniden işleme
Optimum 1. veya 2. kalite oranı	Sadece 1. kalite üretim
Evrimsel hızla gelişme	Devrimsel hızla gelişme
Yüksek verimli üretim süreçleriyle randıman artışı	Yeni ürün tasarımı ile sağlanan randıman artışı
İşbaşı eğitimi ile sağlanan tecrübe	İşbaşı eğitimi kadar temel eğitimle de geliştirilen bilgi ve beceri
Fayda/maliyet analizine dayalı işletme kararları	Kaliteyi geliştiren her uygulamayı benimseyen yönetim
İşi en iyi bilinen yönetici olması	İşe en yakın olanın o işi bildiğine inanan yaklaşım
Hatalı uygulamaları önlemek için prosedürler geliştirme	Çalışanların fikirleriyle hataların önlenmesi
Tecrübe insiyatife dayalı yönetim kararları	İstatistik ve kantitatif analizlere dayalı yönetim kararları
Performansa göre ücret	Performansın takdir edilmesi

Kaynak: Ömer Peker; TKY ve TS ISO 9000 Standartları, Verimlilik Dergisi, Kalite Özel Sayısı, 1993, ss.50-51.

⁷⁷ Ömer Peker; TKY ve TS ISO 9000 Standartları, Verimlilik Dergisi, Kalite Özel Sayısı, 1993, ss.50-51.

Toplam kalite anlayışında, klasik yaklaşımdan farklı olarak çalışanlar ve yöneticilerden beklenen rolde önemli değişiklikler olmuştur. Yeni anlayışa göre; işgörenler sorumluluklarını eksiksiz olarak yerine getiren, ancak yaptığı işin daha verimli olması gerektiğine inanan, iş süreçlerinin geliştirilmesi konusunda sürekli düşünen ve belirlenmiş çeşitli katılım yöntemleri ile bu düşüncelerini sisteme katan yeni bir çalışan davranışı sergilemesi gerekir. Yöneticilerin de çalışanları teşvik edici, katılımı sağlayıcı, inisiyatif kullanmayı, sorumluluk almayı ve yenilikler yaratmayı teşvik edici bir insan kaynakları yönetim sistemini benimsemeleri gerekir.⁷⁸



Şekil 1-6: Yönetim modellerinin karşılaştırılması grafiği

Kaynak: Muhittin Şimşek; Toplam Kalite Yönetimi, Alfa Yayınları, İstanbul, 2004, s.124.

Ayrıca TKY, yalnızca ürün ve hizmet kalitesi ile ilgili olmayıp günümüzün çağdaş yönetim anlayışıdır. Bir taraftan kaliteyi yükseltirken diğer taraftan verimliliği

⁷⁸ Toplam Kalite Kontrol; <http://gumyonder.gumruk.gov.tr/dergi/sayi1/toplamkalite.htm>

artırmaktadır. Şekil 1-6'da da görüldüğü gibi yüksek kalite ile birlikte maliyetler düşürülmekte ve daha ucuza üretim yapılmaktadır.⁷⁹

1.6.4. Toplam kalite yönetiminin ilkeleri

Her kuruluş kendi özelliklerine göre TKY modelini geliştirmeli ve uygulamalıdır Buna karşın modelin 5 temel ilkesi bulunmaktadır.⁸⁰ Liderlik, müşteri odaklılık, çalışanların eğitimi, takım çalışması ve kaizen (sürekli gelişme)

1.6. 4.1. Liderlik

Lider; ait olduğu grubun tanımlarını belirleyerek o gruptaki kişileri örgütün amaçları doğrultusunda arkasından sürükleyen kişidir. TKY'nin uygulanmasında etkinlik üst yönetimin liderlik rolünü üstlenmesi ile mümkün olabilir. TKY'nin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için liderin iletişimci, yol gösterici, bilgili, gücünü etkili bir biçimde kullanan bir kişiliğe sahip olması gerekir.⁸¹

Welch'e göre lider, işlerin daha iyi nasıl yapılabileceği konusundaki net vizyonu ile insanları esinlendiren kişidir.⁸² Deming'e göre ise lider, kalitenin sağlanmasında ve sistemin geliştirilmesinde önemli roller üstlenmektedir. Bu açıdan liderler, güven yaratır, yardım eder, ancak yargılamazlar. Çalışanları gelişime sevk ederek, onlara, gurur duyabilecekleri bir çalışma ortamı yaratmaya uğraşırlar.⁸³

Bir kuruluşun performansını, sistem ve insan olarak iki faktörün belirlediği ve sonuç üzerinde bu faktörlerin etkileri olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalarda sonuç üzerinde sistemin %85, insan faktörünün ise %15 etkisi olduğu tespit edilmiştir.⁸⁴

⁷⁹ Şimşek; Age., s.123.

⁸⁰ Shores, A.R., TQM Approach to Achieving Manufacturing Excellence, Wisconsin, Milwaukee, ASQ Quality Press, 1990, s.46-47.

⁸¹ William B. Martin; Müşteri Hizmetlerinde Kalite, Çev: Ahmet Ünver, Rota yayınları, İstanbul, 1997, s.55.

⁸² Robert Slatter; Jack Welch ve General Electric'in Yolu, Çev: Türkan Arıkan ve Saadet Özkal, Literatür Yayınları, İstanbul, 2000, s.29.

⁸³ Rafael Aguaya; Dr.Deming: Japonlara Kaliteyi Öğreten Adam, Çeviren: Kaan Tunçbilek, Form Yayınları, İstanbul, 1994, s.198.

⁸⁴ Mary Walton; Deming Management at Work, GP Putnams's Sons, New York, 1990, s.222.

1.6.4.2. Müşteri odaklılık

Giderek artan rekabetin baskısı, şirketleri “yaptığını satan” olmaktan çıkarıp “satılabileni yapan” haline getirmektedir. Bunun için müşteri odaklılık ilkesi “kaliteyi müşteri belirler” deyiimiyle özdeş olarak ifade edilmektedir. Günümüzde müşterilerin işletmelerce nasıl algılanması gerektiğini L.L. Bean şöyle ortaya koymaktadır:⁸⁵

L.L. Bean: “Müşteri bu ofiste en önemli kişidir. Müşteri çalışmaya engel bir unsur değildir. İşin ana hedefi müşteridir. Biz müşteriye hizmet ederek bir iyilik yapmış olmayız. O, bize kendisine hizmet verme imkânı tanıdığı için iyilik yapar. Müşteri ile hiçbir konuda kesinlikle tartışılmaz. Müşteri bize isteklerini sunar. Bizim görevimiz bu istekleri hem ona hem kendimize kazanç olacak biçimde karşılamaktır.”

TKY’de müşteri önceliği, iki ayrı müşteri tanımıyla ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri iç müşteri, diğeri ise dış müşteri kavramıdır. İç müşteri örgütte çalışanları ifade eder. Bu müşteri grubu, kendisinden önceki bir sürecin çıktısını, kendi uğraşı olan süreçte kullanandır. Dış müşteri ise ürün ya da hizmet satın alan nihai tüketicidir. TKY, her iki müşteri grubuyla aynı ilişkinin kurulmasını öngörmektedir. İç ve dış müşteriyle olan ilişkide aynı dili konuşmak, daha iyi bir dinleyici olmak, anlamaya varmak, sonuçları ölçmek, düzeltmeleri yapmak ve sıfır hataya ulaşmak esastır.

İç müşterilerin istek ve ihtiyaçları, dış müşterilerin istek ve ihtiyaçları gibi dikkatlice tanımlanmalıdır. Bunun için öncelikle kuruluştaki süreçlerin, diğere süreçlerle olan ilişkileri belirlenmelidir. Bu işlem ise, bir sürecin çıktısının hangi sürecin girdisi olduğunu tanımlamaktır. Girdileri ve çıktıları tanımladıktan sonra, bu girdileri kullananlarla, karşılıklı görüşmelerle ya da anketle, işlerin daha iyi yapılabilmesi için neler istendiği belirlenmeli, süreçlerde bu isteklere uygun değişiklikler yapılmalıdır.⁸⁶

1.6.4.3. Çalışanların eğitimi

TKY’nin uygulanmasında eğitimin önemi bütün uzmanlar tarafından kabul edilmiştir. TKY kapsamında kalite herkesin sorumluluğu haline gelir ve eğitimde firmanın her seviyesi hedef alınır.⁸⁷

⁸⁵ Şimşek; Age., s.135.

⁸⁶ Sema Ulaş; <http://www.ceterisparibus.net/isletme/yonetim.htm>

⁸⁷ Masaaki Imai; Kaizen, the key to Japan’s competitive success. Random House, New York, 1986, s.38.

TKY’de eğitimin gayesi Toplam Kalite düşüncesini herkese aşlamak ve bu konuda duyarlılığı arttırmaktır. Eğitim bir sefere has bir faaliyet olarak algılanmamalıdır. Her kademe eğitim devamlılığı ve herkesin aynı dilden konuşması sağlanmalıdır. Japon kalite uzmanı Ishikawa, “Kalite kontrol, eğitimle başlar eğitimle biter” der. TKY’de eğitimin üst yönetimden alt seviyeye kadar, firmadaki tüm fertlerin dahil edilmesi anlamına gelir.⁸⁸

1.6.4.4. Takım çalışması

Toplam Kalite Yönetiminin diğer bir temel ilkesi ise, problemin çözümünde, değişim ve gelişim sağlanmasında, çalışanların enerjisinden faydalanılmasıdır. Katılımdan, sadece üst yönetimde olan kişilerin değil, tüm örgüt çalışanları kastedilmektedir. Bu da her konuda oluşturulabilecek grup çalışmalarında, katılımın sağlanması ile mümkün olabilir.⁸⁹ Bu şekilde çalışanlar, işin yapımına katılır ve ilgili konuda çeşitli alternatifler geliştirmeleri sağlarsa, yaptıkları işten daha çok zevk alırlar ve işi daha kaliteli yaparlar.⁹⁰

Takım çalışmalarının esas gayesi, işin yapılma metotlarını tahlil etmek ve geliştirmektir. Çalışma ekiplerinin fonksiyonları ve faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:⁹¹

- İşletme körlüğünü aşmada en etkili yöntem takım çalışmasıdır. Sistemdeki aksaklıkları fertler kolayca keşfedemezler. Fakat gruplar bunları kolayca bulur.
- Bu tür çalışmalar ferdin teknik bilgisini geliştirerek işini daha iyi anlamasına ve konuya bütün olarak bakmasına yardımcı olur.
- Çalışanların sorun çözme kabiliyetlerini geliştirerek iletişim alışkanlıklarını yerleştirir.
- Yeni icatların ortaya çıkmasını temin ve teşvik eder.

⁸⁸ Selami Özcan; ISO 9000 Standartlarının Uygulanmasında Ortaya Çıkan Kalite Maliyetleri Analizi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 1998, s.4.

⁸⁹ Johnson Russ- William Winchel O.; Management and Quality, American Society for Quality Control, Milwaukee, 1989, s.98.

⁹⁰ İşıl Mendeş Pekdemir; İşletmelerde Kalite Yönetimi, Beta Matbaası, İstanbul, 1992, s.58.

⁹¹ Kavrakoglu; Age., s.34.

- Takım oyunu anlayışını yerleştirerek şahsi ilişkileri ve etkileşimi kuvvetlendirir.
- İktisadi analiz, çağdaş yönetim ve katılımcı karar verme anlayışını getirir.
- Fertlerin işlerini seven, muvaffakiyetleri ile iftihar eden insanlar haline gelmelerine katkıda bulunur.

1.6.4.5. Kaizen (sürekli gelişme)

Firmaların rekabet savaşında başarılı olabilmeleri için TKY'nin değişmeyen felsefesinin gereği “yeterince iyi yeterli değildir” ilkesi ışığında sürekli olarak kendilerini yenilemeleri ve hızla gelişmeyi kabullenmeleri zorunlu hale gelmiştir.⁹²

Süreç geliştirme, Japonların “Kaizen” olarak adlandırdığı ve insanın her geçen gününün bir öncekinden daha iyi olabilmesi için çaba sarfetmesine dayanan sürekli gelişim, Deming döngüsü olarak bilinen, planla-uygula-kontrol et ve düzelt sürecidir.⁹³

Geliştirme, iyileştirme ve özellikle sürekli olarak bu işlemlerin yapılması anlamında kullanılan “kaizen” kemesi Japonca'da “Değişim” anlamını taşıyan “Kai” ve “İyi” anlamına taşıyan “Zen” kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur. Kaizen: Değişim iyidir.

Kaizen metodunun amacı, gereksiz her şeyi ortadan kaldırmak yoluyla maliyetleri düşürmek ve kalite ile kârlılığı artırarak piyasada kalmak olduğuna göre bunu gerçekleştirebilmek için gereksiz şeylerin bilinmesi gerekmektedir. Bunlar şöyle sıralanabilir:⁹⁴

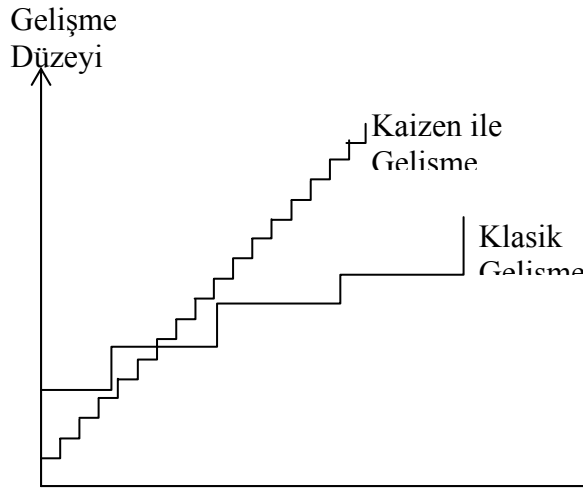
- Müşteri talebinden fazla yapılan üretim,
- Gereksiz malzeme, fazla stok,
- Üretim içindeki gereksiz işlemler,
- Malzeme temini için harcanan zaman,
- İşlemler arasındaki gereksiz bekleme zamanı,
- Kalite sorunları nedeniyle harcanan gereksiz tamir ve düzenleme zamanı,
- Yarı mamullerin ya da hammaddelerin birimler arasında taşınması için harcanan gereksiz zaman,

⁹² Gönül Yenersoy; Toplam Kalite Yönetimi, Rota Yayınları, İstanbul, 1997, s.79.

⁹³ Michael J. Price-Eva E. Chen. Total Quality Management in a Small, High-Technology Company, California Management Review, Spring 1993, s. 97.

Kaizen, bu yedi israfın ortadan kaldırılması için sürekli kendini yenilemektedir.

Japonlar Kaizen'i gerçekleştirirken, sıçramaların büyüklüğü ile değil, sıklığı sayesinde Batıdan daha büyük ilerlemeler kaydetmişlerdir. Bu durum Şekil 1-7'de gösterilmiştir.⁹⁵



Şekil 1-7: Kaizen gelişme ile klasik gelişme yaklaşımı grafiği

Kaynak: İbrahim Kavrakoğlu; Toplam Kalite Yönetimi, Kalder Yayınları, 1992, s.32.

1.6.5. Toplam kalite yönetimi, maliyet ve kârlılık ilişkisi

Kalitenin iyileştirilmesi ve etkili kalite kontrolü sağlamak, maliyet gerektiren bir konu olarak algılanabilir. Öte yandan bir işi baştan doğru yapmanın, birçok dolaylı giderleri önleyeceği de bir gerçek olarak karşımızda durmaktadır. Kalitesizlikten doğan giderlerin kontrolü üretkenliğe yansıtacağından kalite sistemlerine yönelik her çabanın, gelecek için çok verimli bir yatırım olduğu kesindir.⁹⁶

Toplam Kalite Yönetimi Sistemi kullanılmayan bir firmada belirli bir kalite düzeyinde üretim yapabilmek için yapılan masrafların (kalite maliyetleri) çok büyük boyutlarda olduğu bilinmektedir. Değişik sektörlerde yapılan hesaplamalar bu rakamın tipik olarak sanayi maliyetlerinin %25'i civarında olduğunu göstermiştir. Ayrıca hatalı

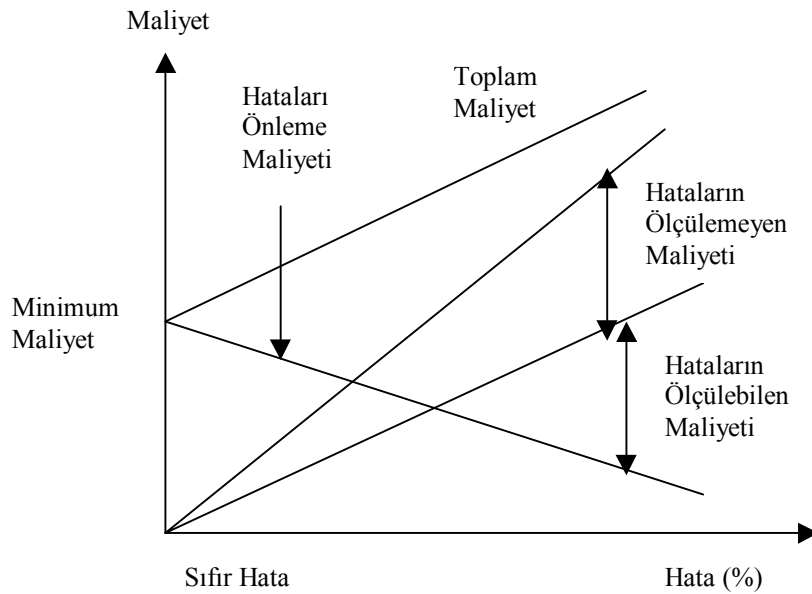
⁹⁴ Şeneken; Age., s.4.

⁹⁵ İbrahim Kavrakoğlu; Toplam Kalite Yönetimi, KalDer Yayınları, Yayın No:2, İstanbul, 1992, s.32.

⁹⁶ http://www.bilgiyonetimi.org/cm/pages/mkl_gos.php?nt=520

mamulün müşteriye ulaşmasıyla oluşan imaj kaybından dolayı ortaya çıkan kayıplar bu hesaba dahil değildir. Oluşan bu kayıplar da hesaba katıldığında maliyetler daha büyük boyutlara ulaşmaktadır. Bu tür hataların minimuma indirilmesi TKY'nin hedefleri arasındadır.

Amerika Birleşik Devletlerinde yapılan bir araştırmaya göre, aldığı üründen tatmin olan bir müşteri memnuniyetini 20 kişiye anlatırken, aldığı üründen tatmin olmayan bir müşteri şikâyetini 40 kişiye anlatmaktadır. Bu durumda hata maliyetlerinin belirlenmesinde ölçülemeyen maliyetleri de Şekil 1-8'de olduğu gibi göz önünde bulundurmak gerekir.⁹⁷



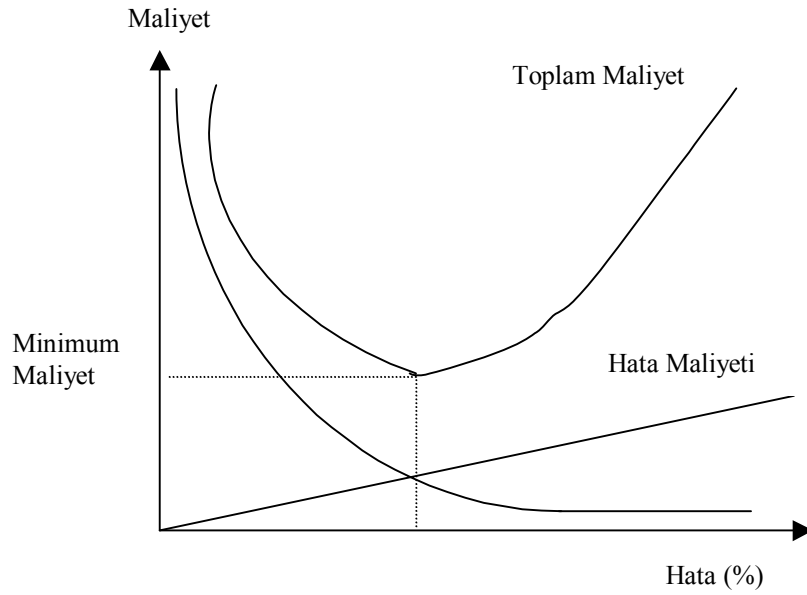
Şekil 1-8: Toplam Kalite Yönetiminde kalite maliyet ilişkisi grafiği

Kaynak: Muhittin Şimşek; Toplam Kalite Yönetimi, Alfa Yayınları, İstanbul, 2004, s.37.

Klasik yönetim anlayışında kalite ve maliyet çelişir. Çünkü belli kalite düzeyinin üzerinde bir ürün üretmek maliyetlerin artırılması ile mümkündür. Şekil 1-9'da görüldüğü gibi asgari maliyet optimum kalitede yani belli bir hata yüzdesinde gerçekleşmektedir. Klasik anlayışa göre hatayı daha düşük oranlara indirmek maliyetleri artıracak, belki de sıfır hataya ulaşmak mümkün olmayacaktır.⁹⁸

⁹⁷ Şimşek; Age., s.36.

⁹⁸ Selçuk Kendirli-Hülya Çağırın; Sanayi İşletmelerinde Kalite Maliyetleri, <http://dergi.iibf.gazi.edu.tr/pdf/4108.pdf>



Şekil 1-9: Klasik yönetimde kalite-maliyet ilişkisi grafiği

Kaynak: Selçuk Kendirli - Hülya Çağırın; Sanayi İşletmelerinde Kalite Maliyetleri, <http://dergi.iibf.gazi.edu.tr/pdf/4108.pdf>

1.6.6. TKY ve kalite kontrol çemberleri

Kalite Çemberleri ilk olarak 1960 yılında Japonya’da ortaya çıkmıştır. Bir işi yapan kişinin, kendi işini herkesten daha iyi bildiği ve bu nedenle de hataları düzeltme ve sorunlara çözüm getirme çabalarında aktif olarak yer alması gerektiği görüşüne dayanır. Kalite çemberleri benzer işleri yapan, 5-10 kişi arasında değişen sayıda gönüllülerden oluşan, homojen gruplardır. Çemberler düzenli olarak toplanır. Üyeler sorun çözme yöntemlerini kullanarak çözüm önerilerini hazırlayıp, periyodik olarak üst yönetime sunarlar.⁹⁹

Kalite ustalarından olan Kaoru Ishikawa, Kalite Kontrol Çemberleri etkinliklerini şöyle tarif etmektedir:¹⁰⁰

“KKÇ, kalite kontrol etkinliklerini gönüllü olarak aynı iş yerinde yürütülen küçük bir gruptur. Bu küçük grup sürekli olarak firma çapında kalite kontrolün bir

⁹⁹ Asuman Türkel; İnsan Kaynaklarının Etkin Yönetimi, Türkmen Kitapevi, Yayın No: 121, Eğitim Dizisi:21, İstanbul, 1998, s.33.

¹⁰⁰ Şimşek; Age., s.177.

parçası olarak bütün üyelerin katılımıyla kendini geliştirme ve karşılıklı gelişme, atölye içinde denetim ve ilerleme, kalite kontrol etkinliklerinden yararlanma işini yürütür.”

Verimliliğin artırılması amacıyla insan kaynaklarının ve teknik kaynakların bir araya getirilmesi kalite çemberlerinin temel konusudur. Kalite çemberlerinde amaç, kalite kontrolünü ve kalite arayışını atölyelerin hatta çalışanların beynine sokmaktır.¹⁰¹ Örneğin, Fransız otomobil şirketi Citroen, insan kaynaklarının ve teknik kaynakların bir araya getirilmesinin bir örneğini sergilemektedir. Mühendislik alanındaki başarılarından gurur duyan bu firma, iş etüdü, değer analizi ve istatistik kalite kontrolü gibi tekniklere yoğun ilgi duymuştur. Ancak sonunda yönetim başarıları için insanlara da itibar edilmesi gerektiğini fark etmişlerdir. Firma, toplam kalitenin yalnızca teknik bir amaç değil, aynı zamanda bir insani amaç olduğunun ayırımına vardıktan sonra kalite çemberleri ve görev grupları oluşturmuştur.¹⁰²

Kalite çemberleri sayesinde, ortak görev anlayışıyla çatışmalar azalır ve çalışanlar daha fazla sorumluluk almaya yönelirler.¹⁰³

¹⁰¹ Zeynep Düren; İşletmelerde Kalite Çemberleri, Evrim Basım Yayım, İstanbul, 1990, s.41.

¹⁰² Joseph Prokopenko; Verimlilik Yönetimi, Çev.: Olcay Baykal, Nevda Atalay, Erdemir Fidan, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1992, s.233.

¹⁰³ Sema Ulaş; <http://www.ceterisparibus.net/isletme/yonetim.htm>

İKİNCİ BÖLÜM

ALTI SİGMA VE İLGİLİ KAVRAMLAR

Bu bölümde ilk olarak Altı Sigma'nın tanımı yapılarak Altı Sigma'nın gelişim sürecinden bahsedilmiştir. Daha sonra Altı-Sigma yaklaşımını uygulayan bazı şirketler hakkında bilgi verilmiş ve nihayet Süreç Yeterliliği Endeksleri ve Altı Sigma Hesaplama Yöntemlerinden bahsedilmiştir.

2.1. Altı Sigma'nın Tanımı

Ağırlaşan ekonomik şartlar, daralan pazar ve küreselleşen dünya göz önüne alındığında, sadece çalışmalarının her aşamasında doğru işleyişi garantileyen firmaların hayatta kalmayı başarabilecekleri söylenebilir. Bu durum göz önüne alındığında, hata oranlarını azaltabilen ve yaptıkları hatalardan ders çıkartan bir yönetim anlayışına sahip firmaların, kârlılıklarını ve verimliliklerini devam ettirebilecekleri görülmektedir. Yapılan hatalar incelendiğinde ise, bunların sonuçlarının doğurduğu kayıpların zaman zaman firmaların kârlarından çok daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Mesela herhangi bir işin %99 başarı ile yapıldığı varsayılsa bile geriye kalan %1'lik hata payı sonucunda oluşacak olumsuz sonuçlar için, tüm dünyada günde ortalama 15 dakika sağlıklı su içilmesi, haftada 5000 hatalı ameliyat yapılması, ayda 7 saat elektrik sağlanamaması gibi sonuçlar doğabilir.¹

Yapılan araştırmalar neticesinde hataları önlemek için ayrılan bütçenin, hatalı ürünü düzeltmek için ayrılandan çok daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan işlerin kaliteyi ön planda tutan bir sistem çerçevesinde yapılması, tekrarları daha başından önleyeceğinden, hatalı üretim ve hizmet sonucu ortaya çıkacak yeniden yapma, hurdaya atma, müşteri şikâyetleri gibi maliyetleri artırıcı unsurlar kalite sistemi sayesinde en az seviyeye indirilebilecektir.

Buradan da anlaşılacağı gibi, yapılan hataları düzeltmek ve yeniden doğru olarak yapmak için gereğinden fazla zaman ve para harcanmaktadır. Hâlbuki günümüz piyasa ve rekabet şartlarında firmaların para ve zaman kaybetmeye tahammülleri yoktur. Bu nedenle firmalar etkin kalite sistemleri geliştirmek zorundadırlar.²

¹ Mikel J. Harry; The Vision of Six Sigma: Tools and Methods for Breakthrough, Sigma Publishing Company, 1994, s.25.

² Gönül Yenersoy; Toplam Kalite Yönetimi, Rota Yayınları, İstanbul, 1997, s.71.

Altı Sigma, şirket süreçlerini ve ürünlerini iyileştirmek için Motorola, Texas Instruments, Allied Signal, General Electric, Boeing, Sony gibi firmaların kullandığı bir kalite ve proje yönetim metodudur. 1980'lerin ortalarında Motorola tarafından, Japon kalite düşüncesi ve sistemlerinin süreçlerde uygulanması amacıyla geliştirilmiştir.

Altı Sigma yaklaşımını seçen şirketlerin sağladıkları olağanüstü başarılar nedeniyle bu metod, pek çok yazar ve yönetim bilimcinin ilgi odağı haline gelmiştir. Ancak konunun yeni olması ve hakkında henüz yeterli araştırma yapılmamış olması nedeniyle genel geçer bir Altı Sigma tanımı yapılamamıştır. Dolayısıyla Altı Sigma'nın ne olduğu konusunda farklı bakış açıları vardır.

Basın dünyası Altı Sigma'yı çoğunlukla "süreçleri ve ürünleri daha düzgün hale getirmek için mühendis ve istatistikçilerin kullandığı ileri derecede teknik bir yöntem" olarak tanımlar. Çünkü ölçümler ve istatistikler Altı Sigma iyileştirmesinin kilit unsurlarıdır.

Altı Sigma; işte başarıyı yakalamak, sürdürmek ve en üst düzeye ulaştırmak için tasarlanmış, kapsamlı ve esnek bir sistemdir. Altı Sigma; müşteri ihtiyaçlarını derinlemesine kavrayıp, gerçekleri, verileri ve istatistiksel analizleri bir disiplin çerçevesinde kullanarak, iş süreçlerini yönetme, iyileştirme ve yeniden keşfetmekten ibarettir.³

Altı Sigma; organizasyonun temel süreçlerini, müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde, değerlendirmek ve iyileştirmek için, şimdi ve gelecekte, tüm çalışanların bilgilerinin ve kantitatif metotların etkin olarak kullanılmasıdır.⁴

Tüm tanımları içeren bir tanım yapılacak olursa; Altı Sigma stratejik süreç iyileştirilmesini, yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesini istatistik metotlara ve bilimsel yöntemlere dayandırarak müşteri tarafından tanımlanan hata oranlarında büyük bir indirim sağlamaya yönelik bütünleşik ve sistematik bir yoldur.⁵

Altı Sigma'nın amacı, mevcut problemleri çözmek, deneyimlere dayalı karar vermeden, verilere dayalı karar verme sürecine yönelmek; adım adım iyileştirmeden

³ Robert P. Neuman - Peter S. Pande – Roland R. Cavanagh; Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri, Çev: Nafiz Güder, Dharma Yayınları, İstanbul, 2004, s.12.

⁴ Türker Baş; Altı Sigma, <http://www.kaliteofisi.com/download/e-kitap.asp>

⁵ Erhan Ada - Burcu Aracıoğlu - Yiğit Kazançoğlu; Türk İşletmelerinde Verimlilik Artışı İçin Altı Sigma Yönetim Sistemi Modeli, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi, Haziran 2004.

sıçramalı iyileştirmeye yönelmek, altı sigma kalitesinde yeni ürün ve süreçler tasarlamaktır. Ayrıca, sıfır hataya ulaşmada yeni bir adım oluşturmak, ürün ve hizmetlerde %99.5'ten %99.9 mükemmelliğe ulaşmaktır.

Sadece %99'luk bir kalite, yıllık bazda ya da milyon ürün bazında kalitesiz ürün ve servislerin mevcudiyeti demektir. Bu durum, bir müşteri bazında düşünüldüğünde %100'lük bir hata anlamına gelmektedir.⁶

Bir Altı Sigma kuruluşunun vizyonu aşağıdaki altı temayı işler:⁷

1. Verilere ve bulgulara dayalı yönetim ile hem sonuçları ve çıktıları yani Y'leri; hem de süreç, girdi ve diğer öngörülebilir etkenler olan X'leri izleyen etkili ölçüm sistemlerine sahiptir.
2. Yapılan iş ile "Müşterinin Sesi" arasında bağ kurmayı sağlayan sistem ve stratejilerle olduğu kadar, müşterinin ihtiyaçlarını üst sıraya yerleştiren bir yaklaşımla da desteklenir.
3. Süreçlere odaklanma, yönetim ve iyileşme; büyüme ve başarının motoru gibi olduğundan Altı Sigma'da süreçler sürekli olarak belgelenir, başkalarına duyurulur, ölçülür ve iyileştirilir. Ayrıca, müşteri ihtiyaçlarına ayak uydurmak için belli aralıklarla tasarlanır ya da tasarımları güncellenir.
4. Proaktif yönetim mantığıyla, problemleri ve değişiklikleri önceden gören davranış ve uygulamaları benimsemek, bulgu ve verileri kullanmak, hedeflere ilişkin fikirleri ve "bir işin nasıl yapıldığını" sorgulamak demektir.
5. Kurum içi gruplar arasındaki dayanışmayı, müşteriler, tedarikçiler ve tedarik zinciri üyeleriyle bir arada çalışmayı sağlayarak sınırsız işbirliği kurar.
6. Risk üstlendikleri ve yanlışlardan ders çıkardıkları sırada bile bir Altı Sigma kuruluşundaki çalışanlara yeni yaklaşımları deneme özgürlüğü verir. Bu da mükemmele yöneliş ve hataya karşı hoşgörü demektir. Böylece, performans ve müşteri memnuniyeti konusunda çitayı yükseltir.

2.2. Altı Sigma'nın Tarihsel Gelişimi

Altı Sigma yaklaşımı, Japon kalite düşüncesi ve kontrol sistemlerinin süreç iyileştirmelerinde kullanılması amacı ile Motorola şirketi tarafından geliştirilmiştir.

⁶ Mehmet Özkan; http://www.danismend.com/konular/stratejiyon/str_6_sigma.htm

⁷ Neuman - Pande – Cavanagh; Age., s.109.

İşletmelerdeki mevcut problemleri çözmek, Altı Sigma seviyesinde yeni ürün ve süreçler tasarlamak için oluşturulmuş, kendini kanıtlamış bir proje yönetim yaklaşımıdır.

1970’li yıllarda Japonların kalite devrimi meyvelerini vermeye başlamış ve Japonlar, müşteri beklentilerini karşılayan ucuz ürünleriyle Amerika pazarında egemen olmuşlardır. Birçok Amerika şirketi gibi, Motorola da Japonlarla rekabet etme yeteneğinden mahrum bir vaziyette her geçen gün pazar kaybetmekte ve küçülmekteydi. Öyle ki, 1970’li yıllarda, Amerika’da televizyon üretimi yapan Quasar şirketi yüksek kalitesizlik maliyetleri nedeni ile Japonların ünlü bir şirketi olan Matsushita’ya satıldı. Televizyon üretiminde %150’lere varan hata oranlarının meydana getirdiği verimsizlik ve maliyetler (her 100 televizyonda toplam 150 tane komponentin hatalı olması ve bu komponentlerin onarılması ya da hurdaya atılıp yenilerinin takılmasının meydana getirdiği kalitesizlik maliyeti) artık dayanılacak boyutların çok ötesindeydi.

Aslında Motorola Şirketi’nin yöneticileri de diğerlerinden pek farklı değildi. Onlar da yaşadıkları problemlerin çözümünü diğer pek çok şirketin yöneticisi gibi şirket dışında arıyorlardı. Fabrika yönetimi Japonlara geçtikten sonra hata oranının bir anda 20 kat azalması, Motorola yöneticilerinin ilk kez kendi yönetim şekillerini sorgulamalarına yol açtı. Artık bazı şeyleri hatalı yaptıklarını kabul etmeliydiler. Her şeyden önce kalite ciddiyetle ele alınmalıydı.⁸

1980’lerin ortalarında Motorola tarafından, Japon kalite fikirleri ve sistemlerinin süreçlerde uygulanması amacıyla geliştirilmiş olan altı sigma kısa süre sonra şirket süreçlerini ve ürünlerini iyileştirmek için Texas Instruments, Allied Signal, General Electric, Boeing, Sony gibi firmaların kullandığı bir kalite ve proje yönetim sistemi haline geldi.

Çok geçmeden diğer firmalar da hem hizmet hem de üretim sektöründe kârlılıklarının arttırılmasında Altı Sigma’yı kullanmaya başlamışlardır. Amerika’da Motorola ve General Electric başta olmak üzere; Johnson& Johnson, American Express, Citibank, Sun Microsystems v.b.; Avrupa’da Nokia, Siemens, ABB, Bosh, Ericsson v.b.; Uzakdoğuda Kodak, LG, Hyundai, Honda v.b. firmalar üretim ve hizmet süreçlerinde Altı Sigma’yı kullanan dünya çapında firmalardır.⁹

⁸ Six Sigma at Motorola, <http://www.qualityamerica.com>

⁹ S.P.A.C.; Age., s.19.

2.3. Değişkenlik ve Altı Sigma

Süreçlerde bazı hataların oluşmasının nedeni, süreçlerin parametrelerindeki değişkenliktir. Bir işin ya da ölçeğin her seferinde aynı şekilde oluşmaması “değişkenlik” olarak adlandırılır. Değişkenlik her süreçte vardır. Önemli olan değişkenliğin büyüklüğüdür.

Ürünlerdeki değişkenliğin nedeni, yetersiz tasarım, yetersiz süreç kontrolü ya da malzeme eksikliği olabilir. Değişkenlik başta yok edilebilir ise, doğru iş doğru zamanda yapılarak hata düzeltmek gibi ikinci bir sürece girilmemiş olur. Altı Sigma yaklaşımı, mükemmele ulaşma, sıfır hatayı yakalama, süreç iyileştirme ve müşteri tatmini sağlama gibi hedeflerine değişkenliği kaldırarak ulaşmaktadır.¹⁰

Değişkenlik ne kadar azalırsa, tutarlılık ve dolayısıyla kalite o kadar artacaktır. Kuruluşlarda yapılan temel hatalardan birisi de, parametrelerin yalnızca ortalamayla ifade edilmesi ve değişkenliğinden hiç bahsedilmemesidir. Bir süreç hakkında kesin bilgi sahibi olabilmek için, ortalamayla birlikte sürecin değişkenliğinden de söz etmek gerekmektedir. Örneğin, bir şirkette çalışanların yaş ortalamasının 30 olduğu belirtildiğinde, pek çok kişi için bunun anlamı, çalışanların yaşlarının 30 civarında olduğudur. Hâlbuki 45 ve 15 yaşındaki 20’şer çalışanın bulunduğu bir şirketin yaş ortalaması da 30 olacaktır. Dolayısıyla bir süreci yalnızca ortalamayla ifade etmek yanlış olacaktır.¹¹

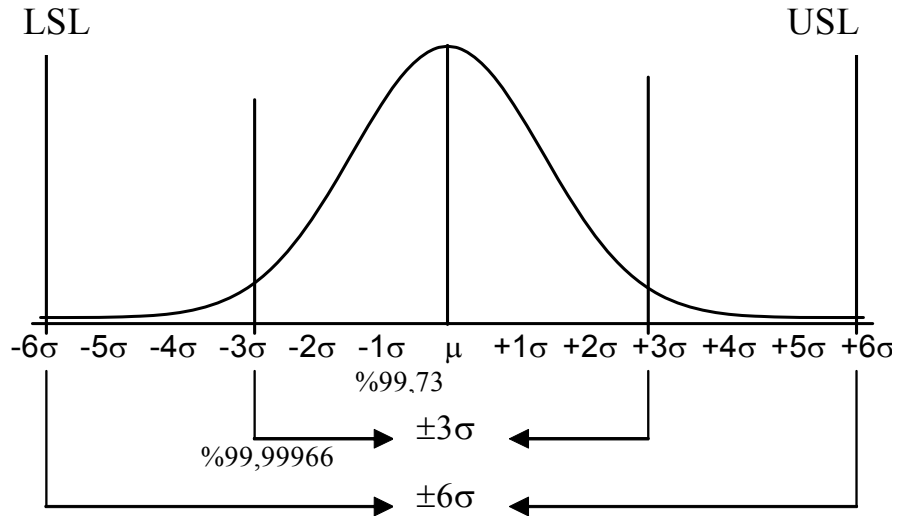
Altı Sigma için değişkenlik en büyük düşmandır. Altı Sigma’nın en önemli amaçları arasında değişkenliğin, hataların, yanlışların ve kusurların azaltılması gelir. Bu amaç için de değişkenliğin ölçülmesi gerekir. İstatistiksel düşüncenin temel elemanları süreç, değişkenlik ve veridir. Süreçler çözülecek problemin içinde bulunduğu bağlamı sağlar. Bütün süreçler değişkenlikten etkilenir. Değişkenlik birçok problemin kaynağıdır ve çözümler için yol gösterir. Veri ise, değişkenliği nicelleştirmemize ve etkin süreç iyileştirme yaklaşımları geliştirmemize yarar.¹²

Herhangi bir sürecin değişkenliği, sürecin ortalamaya yani dağılımın merkezine olan uzaklığı standart sapmalar (sigmalar) ile ölçülerek bulunur. Bir sürecin normal dağılımı ± 3 sigma uzaklığında olmalıdır. Bu durum %99.7 ölçeğidir. Yani üretilen ürün

¹⁰ Mikel J. Harry, The Nature of Six Sigma Quality, Motorola University Pres, New York, 1997, s.4.

¹¹ S.P.A.C. Altı Sigma Mükemmellik Modeli Nedir?, S. P. A. C. Danışmanlık Şirketi Yayınları, Ankara, 2003, s.38.

¹² Snee D. Ronald, “Six Sigma Improves Both Statistical Training and Processes”, Quality Progress, Ocetober 2000, s.70.



Şekil 2-1: Altı Sigma süreç değişkenliği

Kaynak: <http://www.itil-itsm-world.com/sigma.htm>

ya da hizmetten milyonda 997300 tanesi, bu ± 3 sigma sınırlarının içinde kalmaktadır, geri kalan 2700 tanesi hatalı olmaktadır. Oysa ki süreç iyileştirilerek, sürecin normal değişkenliğinin iki katını kabul eden bir tasarım (± 6 sigma), her ürün ya da hizmet için milyonda 2700 yerine milyonda 3.4 hata verecektir.¹³

Bir üretim sürecindeki değişkenlik; şans faktörleri nedeniyle ortaya çıkan değişkenlik ve nedenleri belirlenebilir değişkenlik olarak iki gruba ayrılır. Değişkenliğin bu iki nedeni bazı yazarlar tarafından genel nedenler ve özel nedenler olarak da adlandırılmaktadır. Özel nedenler belirlenebilir nedenlerdir, buna karşılık genel nedenleri belirlemek mümkün değildir.¹⁴

2.4. Altı Sigma Kalite Düzeyi

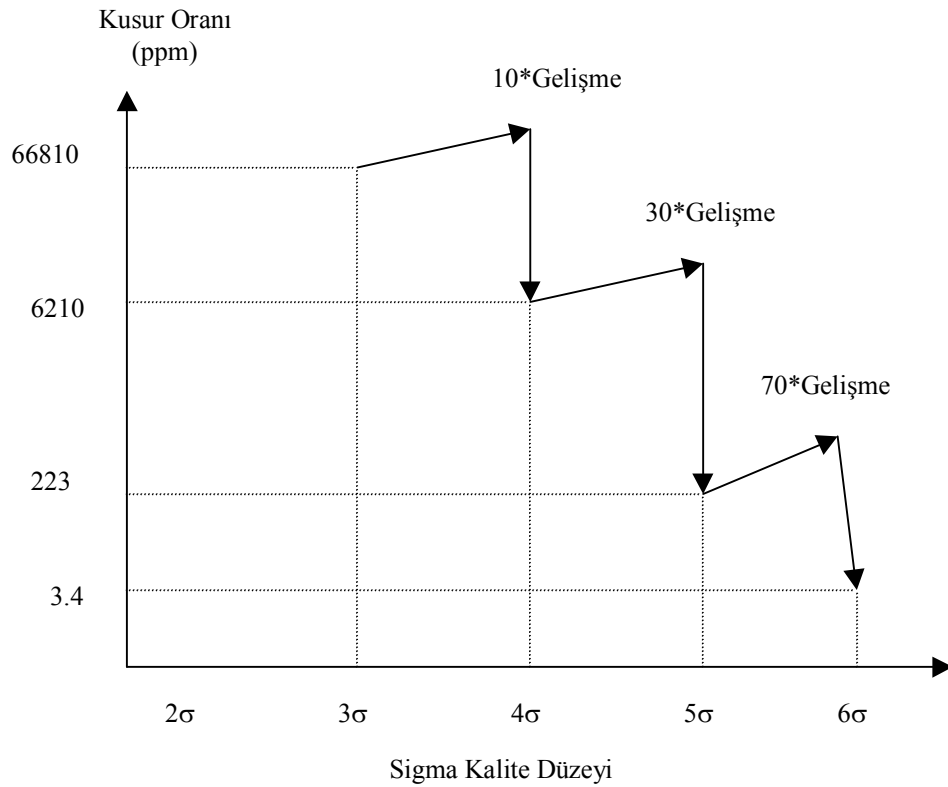
Altı Sigma, ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin ne kadar iyi olduğu hakkında sayısal bir göstergedir. Sürecin sıfır hatalı konumdan ne kadar saptığını gösterir. Bir sürecin altı sigma kalite düzeyinde olması demek, elde edilen ürün veya hizmette 1 milyonda 3.4 adet hataya rastlanması demektir. Temel amaç süreçteki değişimlerin kaynağını izleyip, ortadan kaldırarak kalite seviyesini altı sigma düzeyine çıkarmaktır.¹⁵

¹³ Mehmet Özkan; http://www.danismend.com/konular/stratejiyon/str_6_sigma.htm

¹⁴ Necmi Gürsakal - Ayşe Oğuzlar; Altı Sigma, Vipaş A.Ş., Bursa, 2003, s.175.

¹⁵ Yılmaz Argüden; Altı Sigma Ve Toplam Kalite Yönetimi, "İş, Güç Bakış" - İş Yaşamı Dergisi Sayı:6, Aralık 2002, s.23.

Altı Sigma, kalitenin hatırına yapılan bir kalite programı değildir. Müşterilere, yatırımcılara ve çalışanlara daha iyi değerler sağlamayı amaçlar. 3σ 'dan 6σ kalite düzeyine doğru milyonda kusur sayıları doğrusal olarak değil, parabolik olarak azalmaktadır. Gelişme 3σ 'da 4σ 'ya 10 kat, 4σ 'da 5σ 'ya 30 kat, 5σ 'da 6σ 'ya 70 kat olmaktadır. Bu da 6σ kalite düzeyine ulaşmanın işletme yararları açısından önemini ispatlamaktadır.¹⁶ Gelişme ile ilgili anlatılan durum Şekil 2-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2-2: 3σ 'dan 6σ 'ya milyonda hata değerlerinde meydana gelen değişim

Kaynak: Forrest W. Breyfogle; Implementing Six Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods, John Wiley and Sons, New York, 1999, s.10.

Motorola firması altı sigma kalite düzeyinin daha anlaşılır olması açısından başarı oranı %99 ve sigma seviyesi 3.8 ile başarı oranı %99.99966 ve sigma seviyesi 6 olan iki değişik durumu ve sonuçlarını Tablo 2-1'de özetlemiştir.

¹⁶ Thomas Pyzdek; The Value of Six Sigma, <http://www.qualitydigest.com/dec99/html/sixsigma.html>

Tablo 2-1: 3.8σ ve 6σ karşılaştırılması ve sonuçları

3.8 sigma (başarı %99)	6 sigma (başarı %99,99966)
Her saat 20000 mektubun kaybolması	Her saat 7 mektubun kaybolması
Her gün 15 dakika güvensiz içme suyunun akması	Her 7 ayda 1 dakika güvensiz içme suyunun akması
Haftada 5000 hatalı ameliyatın yapılması	Haftada 1,7 hatalı ameliyatın yapılması
Her gün büyük havaalanlarına 2 hatalı inişin yapılması	Her 5 yılda büyük havaalanlarına 2 hatalı inişin yapılması
Her yıl 200000 hatalı reçetenin yazılması	Her yıl 68 hatalı reçetenin yazılması
Her ay 7 saat elektriğin kesilmesi	Her 34 yılda 1 saat elektriğin kesilmesi

Kaynak:Altı Sigma Nedir?, Ulusal Strateji Dergisi, Aralık 2002, s.90.

Kalite düzeyi açısından bakıldığında bugün birçok şirket üç sigma civarında çalışmaktadır ki, bu da bir milyon fırsatta yaklaşık olarak 67000 hata anlamına gelmektedir. İmalatçılar sık sık dört sigmayı yakalarken, hizmet veren firmalar çoğu kez bir veya iki sigmada kalmaktadırlar.¹⁷

2.5. Yönetim Felsefesi Olarak Altı Sigma

Altı Sigma, yalnız bir kalite inisiyatifi değil, hata oranlarının azaltılmasından fazlasını içeren bir yönetim felsefesidir. Geçtiğimiz yüzyılın en iyi yönetim fikirlerini ve en güçlü araçlarını içerir. Altı Sigma'nın uygulandığı işletmelerde kolay çözümlere ihtiyatla yaklaşılır. Çözüm öncesi, problem ve iyileştirme fırsatlarının anlaşılması için zaman ayrılır. Altı Sigma'nın etkin istatistik araçları kullanılarak, ilgili süreçler tüm yönleri ile incelenir ve elde edilen bu bilgilerin ışığında karar alınır. “Yaptım oldu”, “ne diyorsam o” gibi anlayışlar, Altı Sigma yaklaşımında yer almaz.

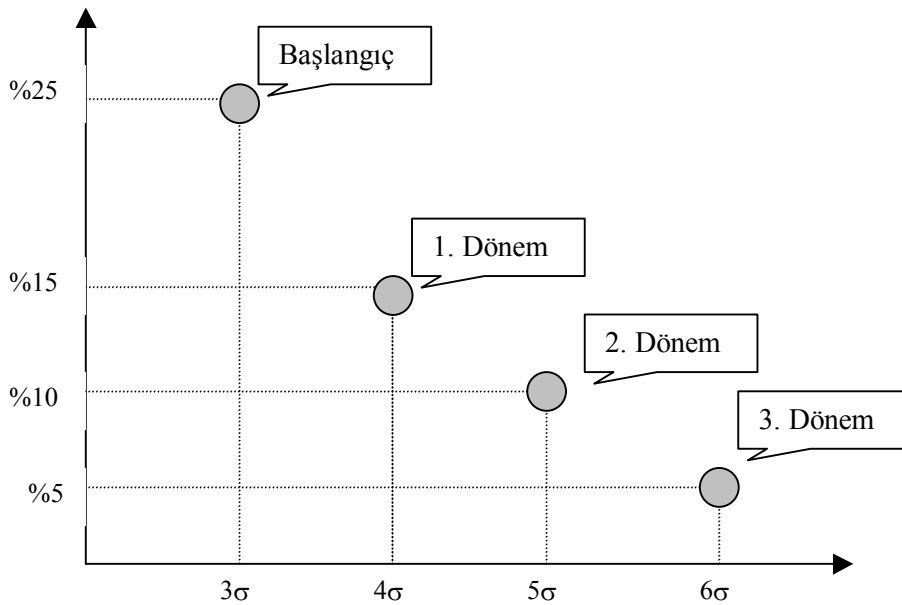
Altı Sigma, salt bir iyileştirme programı değildir. İyileştirme için iyileştirmeyi öngörmez. Müşteri tatminini ve işletme kârını arttırmak için stratejik problem çözme tekniklerini kullanır. Temel istatistik kavramlara dayalı etkin bir karar verme mekanizması ve disiplini sağlar. Çalışanlara iş yapma şekillerini nasıl iyileştirebileceklerini ve yeni performans düzeylerini nasıl koruyabileceklerini öğretir.

Altı Sigma yaklaşımı, süreç gücü ve insan gücünü çok iyi bir şekilde bir araya getirerek sinerji sağlar. Pek çok çalışan için en büyük ödül Altı Sigma projelerinden

¹⁷ Jerome A. Blakeslee; Implementing the Six Sigma Solution, Quality Progress, July 1999, s.77-86.

elde edilen somut sonuçlardır. Ayrıca Altı Sigma, kapsamlı ve esnek yapısı itibariyle stratejik planlamadan, iş programlarına; Ar-Ge çalışmalarından, müşteri hizmetlerine kadar hemen hemen tüm iş faaliyetlerine uygulanabilecek bir yaklaşımdır. Birkaç önemli sürecin iyileştirilmesinden, tüm organizasyonun yeniden yapılanmasına kadar çok farklı ölçeklerde kullanılabilir.¹⁸

Altı Sigma, temel süreç bilgilerinin işlenmesiyle hataları yok etmeyi amaçlayan bir iş yapma düşüncesidir. Girdiler ve çıktılar arasındaki bağlantılar yardımıyla, süreçleri inceleyerek, gerekli iyileştirme noktalarını tespit etmeye yarayan bir yönetim yaklaşımıdır.¹⁹



Şekil 2-3: 6σ'ya doğru süren gelişme

Kaynak: Pyzdek Thomas; The Value of Six Sigma, <http://www.qualitydigest.com/dec99/html/sixsigma.html>

3σ kalite düzeyini işletebilecek düzeyde olan bir işletme, var olan sisteminin dışında daha iyi kalite düzeyine ulaşmayı denerse; bu, o işletme için maliyet artışına sebep olur. Aynı zamanda hem daha iyi kalite hem de düşük maliyetlere ulaşılacak yeni sistemler geliştirilmelidir. Bu aşamada altı sigma sistemine ihtiyaç duyulur. Altı sigma bir varış yeri ya da son nokta değildir, altı sigma sürekli gelişim için bir

¹⁸ Türker Baş; Altı Sigma, <http://www.kaliteofisi.com/download/e-kitap.asp>

¹⁹ <http://www.spac.com.tr/altisigma>

yolculuktur. Altı sigma yönetim felsefesinde hiçbir firma kısa sürede ve kolayca 3σ 'dan 6σ 'ya geçemez. Bunun yerine, genel performans önce 3σ 'dan 4σ 'ya, daha sonra 5σ 'ya ve bunun gibi artan şekilde, insanların eğitimi ve sistemlerin yeniden tasarımı ve geliştirilmesi ile geçilir. Şekil 2-3, 6σ 'ya doğru süren gelişimi göstermektedir.²⁰

Altı Sigma felsefesini diğerlerinden ayıran özellik; sistemin, tek bir projenin tamamlanması ile sınırlı kalmamasıdır. Bir organizasyon veya bir süreç lastik banda benzetilebilir. Lastik bant yeni uzunluğunu uygulanan germe kuvveti sonucunda elde eder. Ancak lastik bandın ucu bırakıldığında yeniden eski halini alması kaçınılmazdır.²¹

2.6. İstatistiksel Ölçüm Olarak Altı Sigma

Eski bir Yunan harfi olan sigma (σ), istatistikte bir değişkenlik ölçüsü olan standart sapmayı gösterir. Sigma, ana kütleyle ilişkin olarak normal dağılımın standart sapmasını gösteren bir parametredir.²² Sigma ölçeği ise, süreç yeterliliğini yansıtan istatistiksel bir birimdir. Dağılımın merkezinden iki yana doğru oluşan standart sapmalar, sigmalardır. Sigma ölçeği, aynı zamanda ürün başına hata, milyon ürün başına hatalı ürün, hata olasılığı gibi tanımlarla yakından ilişkilidir.²³

Üç sigma, çıktıların müşteri spesifikasyon limitleri arasındaki normal dağılımını ifade eder. Üç sigma değerinde çıktıların %99.73'ü spesifikasyonları içinde, %0.27'si ise spesifikasyon limitleri dışındadır. Bu alanın dışında her iki kuyrukta sadece 0.00135'lik birer oran kalır. İlk bakışta her iki kuyruğun toplamı olan %0.27'lik bir oran çok küçük görünse de bir milyon ürün üretildiğinde, bu oran ürünlerden 2700 tanesinin hatalı olması anlamına gelir. Elde edilen bu sayı ise küçümsenecek bir sayı değildir. Altı sigma değerinde (süreç ortalaması merkezde) ise çıktıların yalnızca milyonda 0.002'si yani milyarda 2'si limitler dışındadır.²⁴

Altı Sigma tekniğindeki amaç, prosesteki değişkenliğin azaltılıp standart sapmanın küçültülerek ASL ve USL arasına iki yönde 6 standart sapmayı ($\pm 6\sigma$) sığdırmak ve bir milyon işlemdeki hatalı ürün sayısını 3.4 (süreç ortalamasının 1.5σ

²⁰ Thomas Pyzdek; The Value of Six Sigma, <http://www.qualitydigest.com/dec99/html/sixsigma.html>

²¹ Larry Holpp- Peter Pande; What is Six Sigma?, McGraw-Hill, New York, 2000, s.40.

²² Yılmaz Argüden; Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi, <http://www.Kalder.org>

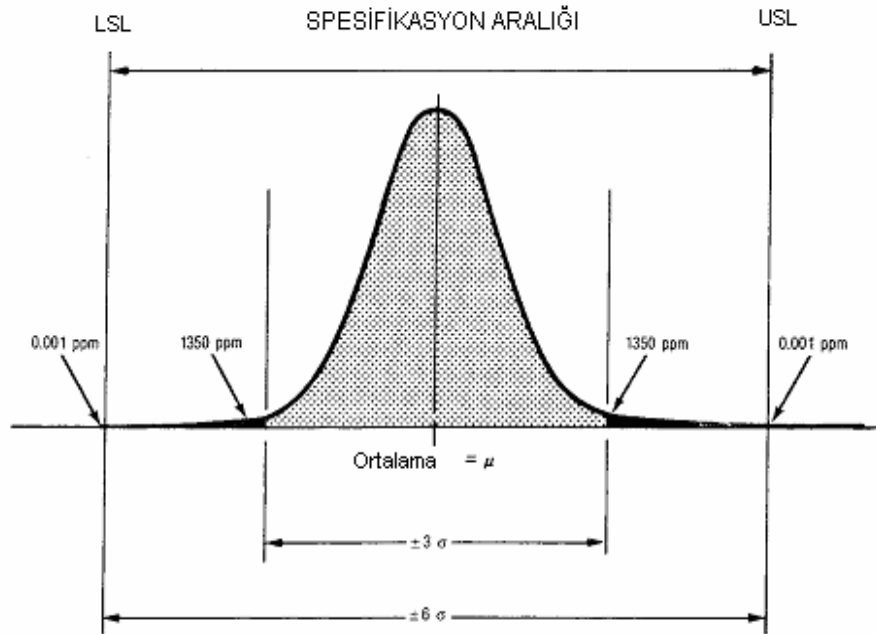
²³ Mehmet Özkan; http://www.danismend.com/konular/stratejiyon/str_6_sigma.htm

²⁴ Perin Ünal; ASELSAN TKY Faaliyetleri ve Uygulamaları, <http://www.aselsan.com.tr/DERGI/temmuz98/tky.htm>

kayması varsayımı) seviyesine indirmektir. Prosesteki ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak elde edilen Z değeri prosesin sigma seviyesini gösterir.²⁵

Tablo 2-2: Ortalama merkezde iken sigma seviyeleri ve hata değerleri

Sigma Seviyesi	Başarı Yüzdesi	PPM/DPMO
2	95.45	45500
3	99.73	2700
4	99.9937	63
5	99.99943	0.570
6	99.999998	0.002



Şekil 2-4: Üç Sigma ve Altı Sigma'nın istatistiksel gösterimi

Kaynak: Desphande, P.B.-Makker, S.L.-Goldstein; M. Boost Competitiveness via Six Sigma, Chemical Engineering Progress, September, 1999, ss.65-70.

Altı Sigma çalışmalarında, elde edilen bilgiler sayısal değerler ile ifade edilerek ortaya çıkan sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilir. Bulunacak olan sigma değeri, hatanın ne miktarda olduğunu ifade etmektedir. Sigma değerinin 6'ya doğru yaklaşması,

²⁵ General Electric Aircraft Engines Altı Sigma Yeşil Kuşak Eğitimi Notları, 2000, s.48.

hataların azalması demektir. Burada hedef, milyonda 3.4 hata oranını yakalamaktır. Bu durum günümüzde az sayıda firmanın ulaşabileceği bir hedef olarak kabul edilmektedir.²⁶

Ortalama spesifikasyon limitlerinin merkezinde olduğunda 3 sigma ve 6 sigma için her iki kuyrukta oluşan hata oranları Şekil 2-4’de gösterilmiştir.

2.6.1. Ortalamanın 1.5σ kayması ve sonuçları

Üzerinde durulması gereken önemli noktalardan biri de prosesin performansı ile prosesin yeteneği arasındaki farktır. Prosesin performansı, o prosesin bütün zaman boyunca ortaya koyduğu performansla ilgili iken; proses yeteneği, prosesin zaman boyunca en iyi yeteneği sergilediği zaman aralığındaki durumudur. Buradaki amaç, değişkenliği ve prosesteki hatalı ürün oranını en aza indirmek için prosesin en iyi yeteneği sergilediği zaman dilimindeki davranışını tüm proses süresine yaymaktır. Literatürde prosesin performansı “uzun dönem”, yeteneği ise “kısa dönem” olarak tanımlanan parametreler ile açıklanmaktadır. Bu iki parametre arasındaki fark, prosesin kontrolündeki eksikliğin bir belirtisidir. Araştırmalar, prosesin “kısa dönem” yeteneğinin “uzun dönem” performansına uyarlanmasında, proses yeteneğinde ortalama 1.5σ ’lık bir kayma olduğunu göstermiştir.²⁷

Sigma kalite düzeyi ile milyonda hatalı parça sayısı (DPM) veya aynı anlama gelen (PPM) arasındaki ilişkiyi iki farklı durumda incelemek gerekir. Birinci durum sürecin merkezileştirildiğini, sürecin ortalamasının belirli bir hedef değere ayarlandığını varsaymaktır. Diğeri ise normal dağılımın ortalamasının 1.5σ kayması varsayımı ile Altı Sigma limitlerini göstermektedir.

Altı Sigma yaklaşımında amaç, süreç değişim miktarının, alt ve üst spesifikasyon limitleri arasındaki değerini $\pm 6\sigma$ olacak şekilde azaltmaktır. Bir sürecin 3σ kalite düzeyinde olması, bir milyon ürün veya hizmette yaklaşık 67000 hatalı ürün veya hizmetin üretilmesi anlamını taşımaktadır. Bu seviye, istatistiksel proses kontrolünün (İPK) dayandığı 3σ kalite düzeyidir. Bir sürecin 6σ kalite düzeyinde olması ise, bir milyon ürün veya hizmette yaklaşık 3.4 hatalı ürün veya hizmetin

²⁶ Pande- Holpp; Age., s.10.

²⁷ Forrest W. Breyfogle; Implementing Six Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods, John Wiley and Sons, New York, 1999, s.67.

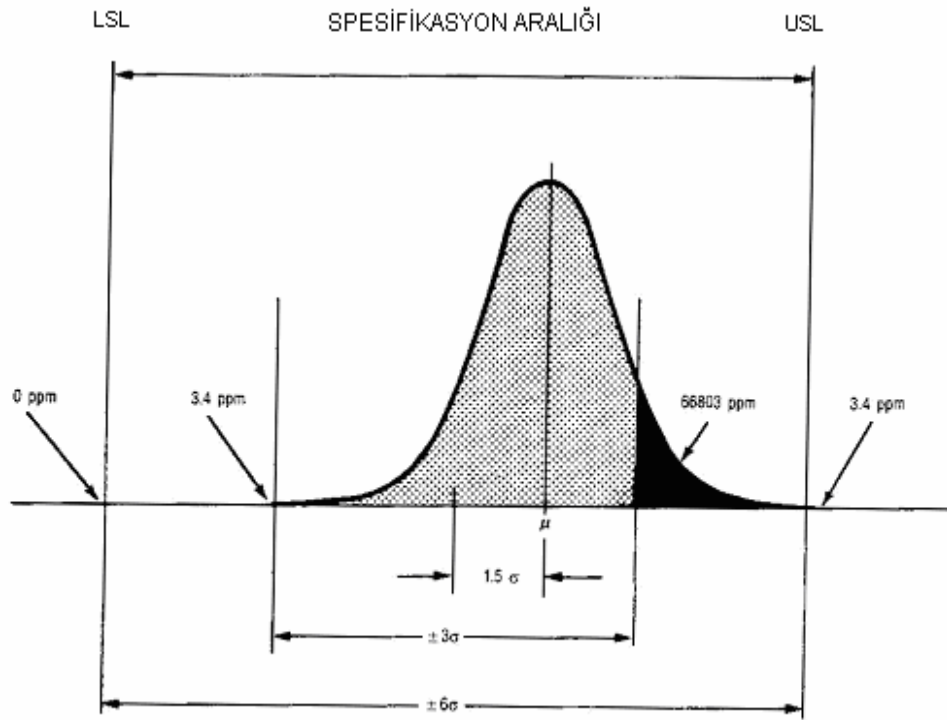
üretilmesi anlamını taşımaktadır. Yani süreç, %99.99966 hatasız ürün veya hizmet üretme yeteneğine sahiptir. Bu da onu sınıfının en iyisi yapar.²⁸

Tablo 2-3: Ortalamanın $1,5\sigma$ kayması sonucu sigma seviyeleri ve hata değerleri

Sigma Seviyesi	Başarı Yüzdesi	PPM/DPMO
2	69.15	308537
3	93.32	66807
4	99.379	6210
5	99.9676	233
6	99.99966	3.4

Kaynak: Pande Pete-Larry Holpp; What is Six Sigma?, McGraw-Hill, New York, 2000, s.11.

Ortalamanın $1,5\sigma$ kayması sonucu 3 sigma ile 6 sigma değişiminin istatistiksel gösterimi Şekil 2-5’dir.



Şekil 2-5: Ortalamanın $1,5\sigma$ kaydırılmış durumu

Kaynak: Forrest W. Breyfogle; Six Sigma Smarter Solution Using Statistical Methods. Austin: John Wiley, 1999.

²⁸ Desphande, P.B. -Makker, S.L. - Goldstein, M. Boost Competitiveness via Six Sigma, Chemical Engineering Progress, September, 1999, s.65-70.

Sürecin ortalamasının 1.5 sigma kayması gerektiğinin belli bir ispatı yoktur. Ancak firmaların özellikle Motorola firmasının uzun süren tecrübeleri, ortalamanın 1.5 sigma kayması gerektiğini ortaya koymuştur. Değişik kaymaların kalite seviyeleri ile ilişkileri Tablo 2-4’de gösterilmiştir.²⁹

Tablo 2-4: Sürecin merkezden kayması ile değişik kalite seviyeleri ilişkisi

Kayma	3 sigma	3.5 sigma	4 sigma	4.5 sigma	5 sigma	5.5 sigma	6 sigma
0	2,700	465	63	6.8	0.57	0.034	0.002
0.25 sigma	3.577	666	99	12.8	1.02	0.1056	0.0063
0.5 sigma	6.440	1,382	236	32	3.4	0.71	0.019
0.75 sigma	12,288	3,011	665	88.5	11	1.02	0.1
1 sigma	22,832	6,433	1,350	233	32	3.4	0.39
1.25 sigma	40,111	12,201	3,000	577	88.5	10.7	1
1.5 sigma	66,803	22,800	6,200	1,350	233	32	3.4
1.75 sigma	105,601	40,100	12,200	3,000	577	88.4	11
2 sigma	158,700	66,800	22,800	6,200	1,300	233	32

Kaynak: Pandu R. Tadikamalla; “The confusion Over Six Sigma Quality,” Quality Progres, November, 1994.

Yapılan ankete göre ortalamanın 1.5 σ kayması durumu için müşteriler telefonda bekletilme süreleri 15 dakikadan fazla olduğunda mutsuzluk duysunlar. Bekleme zamanları mükemmel olarak normal dağılmış olsun. Ortalama bekleme süresi 12 dakika ve standart sapma 1 dakika olsun. 15 dakika ortalamanın üzerinde 3 standart sapmadır. Normal dağılım alanına baktığımızda ± 3 standart sapmanın ötesinde, müşteri bekleme zamanlarının özellikleri (specifications) %0.135 aşacağını tahmin edebiliriz.

Altı sigma, özelliğin dışındaki yüzdeyi hesaplarken yukarıda sözü edilen prosedürü, hesaplanan ortalamayı 1.5 sigma değiştirmek sureti ile yapmaktadır. Hatta bekleme zamanı örneği için hesaplanmış olan 12 dakikalık değer yerine hesaplamalarımızı altı sigmaya göre, artık ortalama 13.5 dakika üzerinden yapmalıyız. Bu bizim özelliği %6.68 aşan bir tahminle yapmamızı sağlayacaktır.

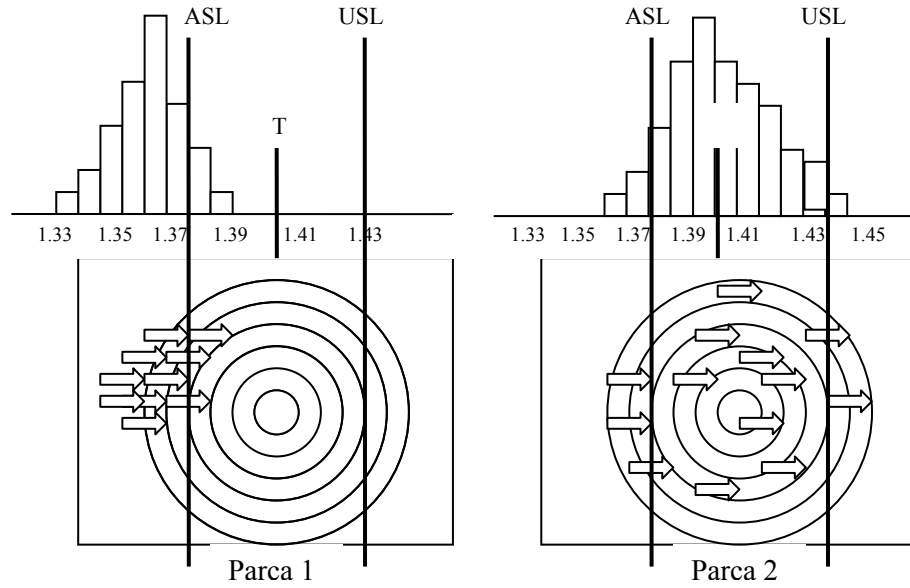
Modellerin bire bir gerçek sisteme uyum göstermeleri çok zordur. Modeller doğru olmalarından ziyade kullanışlıdır. Bir üretim örneği düşünüldüğünde, aşırı genellemeler, kısa dönem değişkenliğine dayanılarak tahmin edilen sigma değerini içerir. Aslında durum böyle değildir. Ürünün sunulacağı çevreyi düşünmekte başarı

²⁹ Tadikamalla R. Pandu; The confusion Over Six Sigma Quality, Quality Progres, November 1994, s.57.

sağlanamaz ve müşteri ihtiyaçları tam anlaşılamaz. İşte bu durumda 1.5 sigmalık fark modelde hesaba katılmayan faktörlerin düzeltilmesine yardımcı olur.³⁰

2.6.2. Sürecin ortalamasının merkezileştirilmesi ve önemi

Altı Sigma yaklaşımında, bir süreçteki hataları azaltmak ve toplam süreç verimliliğini artırmak için, hem sürecin ortalamasını hedef değere çekmek hem de değişkenliğini azaltmak gerekmektedir. Şekil 2-6'da, atışların yapıldığı iki farklı süreç vardır. Şekilde gösterilen siyah çizgiler, atışların olması gereken ve istenilen aralığıdır. Solda gösterilen süreçte, değişkenlik az olmasına karşın, atışların ortalaması istenen hedeften farklı bir yerde olduğundan birçok atış istenen sınırların dışına çıkmaktadır. Sağda gösterilen süreçte ise, ortalama hedef değerde olmasına karşın, değişkenliğin fazla olması nedeniyle, bazı atışlar sınırların dışına çıkmaktadır.



Şekil 2-6: İki farklı sürecin karşılaştırılması

Kaynak: SPAC; Altı Sigma Mükemmellik Modeli Nedir?, SPAC Danışmanlık Şirketi Yayınları, Ankara, 2003, s.38.

Hangi sürecin daha iyi olduğu sorulduğunda, kimileri birinci süreci, kimileri de ikinci süreci söyleyecektir. Aslında her iki cevap da doğrudur. Birinci sürecin iyi olduğu cevabını verenler, sistemin sınırlar dışında ürettiğini, ancak tutarlı olduğunu söyleyecek ve böylelikle iyileştirmenin daha kolay olduğunu belirteceklerdir. İkinci sürecin iyi

³⁰ Thomas Pyzdek, The 1.5 Sigma Shift, <http://www.qualitydigest.com/may01/html/sixsigma.html>

olduğu cevabını verenler ise, sürecin birinci sürece göre çok daha az hatalı parça ürettiğini savunacaklardır.

Her iki açıklamanın da doğru yanları bulunmaktadır. Eğer süreç iyileştirmek istenirse, birinci süreç daha iyi bir süreç olacaktır. Çünkü deneyimler bu tür süreçlerin bir parametre değişikliği ile düzeltilebildiğini göstermektedir. Ancak sürece hiç dokunulmayacaksa, ikinci süreç daha iyi bir süreç olacaktır. Çünkü sonuçta daha az hatalı parça verecektir.³¹

Bir ürünün kalitesi, o ürünün tasarımının gerektirdiği spesifikasyonlara ne derece uyduğu ile ölçülür. Üretim sürecinin ortalamasının belirli bir hedefe ayarlanmasının önemi bir örnek yardımıyla daha iyi anlaşılabilir:³²

Örnek: Varsayalım ki üretilen bir parçanın yarıçapı 6.37 mm. ortalama ve 0.02 mm. standart sapma ile normal dağılıma sahiptir. Bu parçanın spesifikasyonları 6.350 ± 0.0381 mm. olsun. Böyle bir durumda üretilen parçaların yüzde kaç bu spesifikasyonlara uyar? Bu sorunun cevabını vermek için, 6.350 değerine 0.0381 değerinin eklenip çıkarılmasıyla bulunan iki sınır değer için aşağıdaki olasılığı hesaplamamız gerekir:

$$P(6.3119 \leq x \leq 6.3881) = ?$$

İlgilenilen değişken normal dağılıma sahip olduğu için, bu olasılığı hesaplamada z değerlerinden yararlanılır.

$$z_1 = \frac{6.3119 - 6.37}{0.02} = -2.905$$

$$z_2 = \frac{6.3881 - 6.37}{0.02} = 0.905$$

$$P(6.3119 \leq x \leq 6.3881) = 0.4981 + 0.3159 = 0.8140$$

Demek ki bu şartlarda üretilen parçaların %81.40'ı verilen bu spesifikasyonlara uymaktadır. Küçüklük nedeniyle spesifikasyonlara uygun olmayan parçalar olduğu gibi, yarıçapları büyük olduğu için bu spesifikasyonlara uymayan parçalarda vardır ve bu parçaların oranı:

$$0.5000 - 0.3159 = 0.1841$$

³¹ S. P. A. C.; Age., s.38-39.

³² Necmi Gürsakal; Bilgisayar Uygulamalı İstatistik II, Alfa Yayınları, İstanbul, 2002, s.472-473.

olmaktadır. Yani yarıçapları büyük olduğu için bu spesifikasyonlara uymayan parçaların oranı %18'den fazladır.

Şimdi ise sürecin ortalamasını 6.37 mm'den 6.35 mm değerine çektiğimizi düşünelim ve yine $P(6.3119 \leq x \leq 6.3881)$ olasılığını hesaplayalım.

$$z_1 = \frac{6.3119 - 6.35}{0.02} = -1.905$$

$$z_2 = \frac{6.3881 - 6.35}{0.02} = 1.905$$

$$P(6.3119 \leq x \leq 6.3881) = 0.4713 + 0.4713 = 0.9426$$

Demek ki bu şartlarda üretilen parçaların %94.26'sı verilen bu spesifikasyonlara uymaktadır. Sonuçta üretim sürecinin ortalamasını belirli bir hedefe ayarlamakla, yani merkezileştirmekle spesifikasyona uyan ürün yüzdesinde yaklaşık %13'lük bir artış sağlanmış olmaktadır.³³

2.7. Altı Sigma Yaklaşımını Uygulayan Bazı Şirketler ve Kazançları

Dünyada birçok şirket, Altı Sigma yöntemlerini uygulayarak çok kısa sürelerde inanılmaz sonuçlar elde etmişlerdir. Örneğin Altı sigmayı 1980'li yıllardan beri uygulayan Motorola'nın 19 yılda elde ettiği getiri 11 milyar dolar civarındadır. Motorola dünya çapında verimliliğini 3 katına çıkarmıştır. 1991 yılında Altı sigma yaklaşımını kullanmaya başlayan 14 milyar dolar ciroya sahip Allied Signal Inc.'nin 8 yılda elde ettiği getiri 800 milyon doları aşmıştır. Bu miktar toplam cironun %6'sı civarındadır.³⁴

Etkin bir şekilde Altı Sigma yaklaşımını kullanarak büyük kazançlar sağlayan bazı firmaların sonuçları Tablo 2-5'te gösterilmiştir.

Altı Sigma çalışmalarında sağlanan önemli başarılarından sonra birçok büyük firmada Altı Sigma uygulamalarının patladığı görülmektedir. Genellikle 1990'lı yılların ikinci yarısında bu çalışmalara başlayan bazı şirketler şunlardır: Kodak, Siemens, Polaroid, Sony, Nokia, Toshiba, Dupont, Johnson&Johnson, Ford, Siebe, BMW, Samsung, John Dere, Asea Brown Boweri (ABB), Texas Instrument, American Express, Citibank, Dow Chemical, Federal Express.

³³ Gürsakal; Age., s.473.

Tablo 2-5: Altı Sigma'yı uygulayan bazı şirketler ve kazançları

FİRMALAR	KAZANÇ	SÜRE
General Electric (GE)	1.5 Milyar \$	3 Yıl
Motorola	2.2 Milyar \$	2.6 Yıl
Allied Signal	1.2 Milyar \$	2 Yıl
ABB	900 Milyon \$	1 Yıl
Texas Instruments	600 Milyon \$	1.8 Yıl
Nokia	300 Milyon \$	2 Yıl
Siebe PLC	100 Milyon \$	9 Ay

Kaynak: [http:// www.spac.com.tr/altisigma.html](http://www.spac.com.tr/altisigma.html)

Bu şirketler dışında IBM, DEC gibi büyük şirketler de Altı Sigma çalışmalarını denemiş ancak yanlış uygulamalar sebebiyle başarısız sonuçlar elde ederek bu sistemden vazgeçmişlerdir.³⁵

Altı Sigma uygulamalarında başarılı olmuş bazı şirketlerin elde ettikleri tasarruflar Tablo 2-6'da gösterilmiştir.

Tablo 2-6: Bazı firmalar ve bir yılda elde ettikleri tasarruflar

Firmalar	Yıllık Tasarruf
TI	340 milyon \$
Asea Brown Boweri(ABB)	900 milyon \$
Polaroid	100 milyon \$
Sony	100 milyon \$
Siebe	130 milyon \$
Nokia	150 milyon \$

2.7.1. Altı Sigma Yaklaşımının Motorola'da Uygulanışı

Bugünün elektronik liderlerinden biri olan Motorola firması 1980'lerin sonunda pek çok Amerikalı ve Avrupalı kuruluş gibi ekmeğini Japon rakiplerine kaptırmış durumdaydı. O dönemdeki pek çok şirket gibi Motorola da, yalnızca bir tek değil,

³⁴ Argüden; Age., s.32.

³⁵ Güven Borça; Bu topraklardan dünya markası çıkar mı?, Dördüncü Basım, Şefik Matbaası, İstanbul, 2002, s.27.

birden fazla kalite programı yürütüyordu. Ancak 1987’de George Fisher yönetimindeki Motorola iletişim grubu yeni bir düşünce olan altı sigma yaklaşımını ortaya koydu. Motorola’nın varlığının ve başarısının temel nedeni, altı sigma yaklaşımına olan bağlılığıdır. Bu kapsamlı yönetim sistemini oluşturacak kavramları icat eden bu şirkettir.³⁶

Motorola kaliteyi zor yoldan –büyük zararlar, rekabetçi konumun kaybı, iflasın eşiğine gelme vb.– öğrenen pek çok şirketten sadece biridir. Ancak Motorola’nın bu öğrenme sonrası, verimlilik, üretkenlik, kârlılık, müşteri tatmini gibi konularda sağladığı olağanüstü başarılar onu diğerlerinden ayırmaktadır. Şirketin 1988 yılındaki Genel Müdürü Bob Galvin’in, Beyaz Sarayda Malcolm Baldrige Kalite Ödülü’nü alırken, bu başarıyı Altı Sigma olarak adlandırdıkları bir yaklaşıma borçlu olduklarını söylemesi, Altı Sigma’yı çok sayıda şirketin ilgi odağı haline getirmiştir.³⁷

İşe kalite güvence bölümünden başlandı. Diğer pek çok şirket gibi Motorola’da da ürün kalitesinden birinci derecede bu bölüm sorumluydu. Bu sorumluluk müşteri ihtiyaçlarının karşılanması ve kalite sistemlerinden planlanan sonuçların alınması gibi çok ciddi görevleri içeriyordu.

Ancak uygulamada bir takım problemler söz konusu idi. Birincisi, ürün kalitesi ile ilgili doğrudan sorumluluk taşımayan icracı personel –üretim hattı çalışanları, hizmet sağlayıcıları vb.– kaliteyi iş yapmanın ve başarının önündeki bir engel olarak görüyordu. Ayrıca tüm ödüllerin, üretim miktarı gibi nicel ölçütlere bağlı olması, kaliteyi yüksek kazancı frenleyen bir maliyet merkezi konumuna sokmuştu. Kalite güvence bölümü ise bir türlü kontrol sağlayamadığı bu konuda çaresiz kalmaktaydı.

Bu kısır döngüyü fark eden Motorola’nın üst yönetimi çıkışı, yöneticileri kendi bölümlerinin kalitesinden sorumlu tutmakta buldular. Böylece kalite güvence bölümünün görevi de, bölüm yöneticilerine kaliteyi başarmalarında yardımcı olmak, onlara kalite danışmalığı ve eğitimi sağlamak olarak değiştirildi.³⁸

Ayrıca muhasebe ve pazarlama gibi bölümlerindeki ‘kalite’ ile üretim katındaki ‘kalite’nin birbirinden çok farklı olması işleri güçleştiriyordu. Benzer durum karmaşık bir ürünün kalitesinin sağlanması ile basit bir ürünün kalitesinin sağlanması için de söz

³⁶ İ. İlker Gür; Altı Sigma Trendi Yükselişte, http://www.sistemim.com.tr/article_tr_6sigma.htm

³⁷ <http://www.procen.com.tr/altisigma.htm>

³⁸ Motorola ve Altı Sigma; www.kaliteofisi.com/makale/makaleler.asp?makale=84&ad=Altı%20Sigma&id=12-35k -

konusuydu. Bu nedenle şirketteki tüm birimler ve tüm ürünler için uygun bir yaklaşım gerekmektedir. Ayrıca bu yaklaşım objektif olmalı, veri ve ölçümlere dayanmalıydı.

Bunun için hata oranlarını ölçen bir yaklaşım belirlidiler. Fikir basitti: “Tüm ürünler imalât sırasında uygun ya da uygun olmayan basamaklardan geçerler. Benzer durum her türlü hizmetin sağlanması için de geçerlidir. Dolayısıyla her bir süreç basamağı bir ‘hata olasılığı’dır ve bu olasılık standard bir ölçüm birimi olarak kullanılabilir. Basit ürünler daha az hata, karmaşık ürünler daha fazla hata olasılığına sahip olacaktır.”

Motorola bu kalite ölçümünü somutlaştırmak için MHO: Milyonda Hata Olasılığı –bir milyon işlem basamağında hata yapma olasılığı– kavramını geliştirdi ve 1985 yılından itibaren bu ölçütü uygulamaya koydu. 1987 yılında üst yönetimin kalite iyileştirme konusundaki iddialı gayretlerinin etkisi ile Altı Sigma hedefi, yani bir milyon basamakta 3.4 hata hedefi belirlendi. Bu aynı zamanda müşteri ihtiyaçlarını kusursuza yakın karşılama hedefiydi.

Ancak hedef, yalnız başına bir anlam ifade etmiyordu. Bunun için öncelikle hedefi gerçekleştirmek için gerekli yöntem ve araçlar geliştirildi. Basit grafiksel gösterimlerden ileri istatistik tekniklere kadar uzanan bu yöntem ve araçlar, iyileştirme için gerekli altyapıyı oluşturdu. Fakat asıl fayda bunların şirketin tüm kademelerinde etkin olarak kullanılması ile sağlandı. Altı Sigma yaklaşımına şirket bazındaki bu bağlılık ise beraberinde bir kültür değişimini getirdi.³⁹

Motorola Altı Sigma’yı uygulamaya koymasından iki yıl sonra, Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü’ne layık görülmüştür. Şirketin 1980’lerde 71000 olan çalışan sayısı, Altı Sigmayı uyguladıktan birkaç yıl sonra 130000’in üzerine çıkmıştır. Ayrıca Altı Sigma’nın başlatıldığı 1987 ile 1997 arasındaki on yıllık dönemde elde edilen başarılar arasında şunlar bulunuyordu:

- Satışlarda sağlanan beş kat artış ile birlikte, kârın yılda yaklaşık %20 tırmanması.
- Altı Sigma çalışmalarıyla sağlanan toplam 14 milyar dolarlık tasarruf.
- Motorola’nın borsadaki hisselerinden elde edilen kazancın yıllık bileşik %21.3 artması.

³⁹ <http://arveo.port5.com/6sigma.html>

Bütün bunlar 1980'lerin başında varlığı tehlikede olan bir şirkette gerçekleştirilmiştir.⁴⁰

2.7.2. Altı Sigma Yaklaşımının Allied Signal/Honeywell'da Uygulanışı

Allied Signal (1999'da gerçekleşen birleşmeden sonraki adıyla Honeywel), Motorola ve GE ile bağlantılı bir başka başarı öyküsüdür. Altı Sigma'nın denenmeye değer bir yaklaşım olduğu konusunda Jack Welch'i ikna eden, -uzun süre GE'de üst düzey yöneticilik yapan ve 1991'de Allied Signal'ın başına geçen- CEO Larry Bossidy'dir.

Allied Signal kendi kalite iyileştirme etkinliklerini 1990'ların başında uygulamaya soktu ve 1999'a gelindiğinde, Altı Sigma konusunda geniş kapsamlı personel eğitimi ve Altı Sigma ilkelerinin uygulanması sayesinde, yılda 600 milyon dolardan daha fazla tasarruf sağlıyordu. Allied Signal'ın Altı Sigma ekipleri, yalnızca mükerrer işlerden kaynaklanan maliyetleri azaltmakla kalmayıp, aynı ilkeleri uçak motorları gibi yeni ürünler için de uygulayarak, tasarımdan tescile kadar geçen 42 aylık süreyi de 33 aya indiriyordu. Şirket Altı Sigma sayesinde, 1998'de %6 verim artışına ve bir rekor olan %13'lük bir kâr payına ulaştığını bildiriyordu. Altı Sigma girişimlerinin başlamasından 1998 mali yılına kadar, şirketin Pazar değeri yılda bileşik %27'lik bir artış gösterdi.

Allied Signal liderleri Altı Sigma'yı yalnızca bir sayı olmaktan daha farklı algıliyordu. Onlara göre Altı Sigma, ellerinin altındaki her türlü aracı kullanarak ve kullandıkları yöntemleri yeni baştan düzenlemekten asla çekinmeden mükemmel standarda ulaşma hedefiydi.

Allied Signal'ın Altı Sigma ile yönetilmesi, çalışma alanı çeşitliliği açısından dünyanın en iyi şirketi ve en beğenilen uluslararası havacılık şirketi unvanlarını kazandırdı.⁴¹

2.7.3. Altı Sigma Yaklaşımının General Electric'de Uygulanışı

Sektöründe dünya devi olan General Electric (GE), 1995 yılında altı sigma hareketini başlatan bir diğer şirkettir. GE, Altı sigmayı “nasıl ayakta kalabiliriz”

⁴⁰ Neuman-Pande-Cavanagh; Age., s.36.

⁴¹ Neuman-Pande-Cavanagh; Age., s.37.

endişesi içerisindeki Motorola'dan farklı olarak daha güçlü bir şirket haline gelmek amacı ile kullandı. Bu çalışmalar şirket içerisinde o kadar büyük titizlikle gerçekleştirildi ki, kavramı ortaya atan Motorola'dan çok GE ile beraber anılır duruma geldi. GE'deki bu büyük hareketin öncüsü Genel Müdür Jack Welch olmuştur.⁴²

GE'de altı sigma uygulaması 1995 yılında Jack Welch tarafından şirketin strateji ve hedeflerine dahil edilmiştir. 1997 yılında altı sigma konusundaki eğitimlere 400 milyon dolar harcanmış, karşılığında (altı sigma projeleri sonucu) 600 milyon dolar getiri elde edilmiştir. GE'nin bu işe başladığı 1995 yılında 3 sigma olan kalite düzeyi, 22 ayda 3.5 sigma seviyesine çıkmıştır. GE'nin bugünkü düzeyi 5.6 sigmadır.

GE'de 1998 yılından itibaren çalışanların performans değerlendirmesi de altı sigma uygulamalarına bağlanmıştır. Altı sigma eğitimi almamış bir çalışan, kıdemi veya yeterlilikleri ne olursa olsun kıdemi artırılmamakta veya yönetim kademesine yükseltilmemektedir. Bunun yanında yöneticilere verilen yıllık primlerin %40'ı altı sigma konusundaki başarılarına bağlanmıştır.⁴³

Altı Sigma girişimi şirkete hiçbir mali yararının olmadığı 1996 yılındaki başlangıcından itibaren gelişerek 1999 yılında 2 milyar dolardan fazla yarar sağladı.

Altı Sigma'nın başlangıç aşamalarında hedeflenen 100 binden fazla kişiyi Altı Sigma bilim ve metodolojisi konusunda eğitmekten ve binlerce "proje"yi verimliliği artırıp sanayi tesislerinden finansal hizmetlere kadar tüm şirket içi faaliyetlerdeki farklılıkları azaltmaya odaklanmaktan ibaretti. O günlerden beri GE, girişimi "Altı Sigma'lı" ürünler hazırlamaya yönlendirdi ve hızla finansal hizmetler sektörünün müşteri işlemleri süreçlerine götürdü. Her GE ürün işletmesi ve finansal hizmet faaliyeti, ürün tasarım ve gerçekleştirme sürecinde Altı Sigma'yı kullanıyor.

GE'de Altı Sigma Sistemi, kaliteyi geliştirmek ve GE'yi dünyanın en rekabetçi şirketi haline getirecek strateji hamlesi olarak planlandı. Rekabetin yoğunlaştığı ve çok iyi firmaların da ortaya çıktığı dönemde en önemli kriter kalite olmuştur. Bu doğrultuda kalite kavramının GE'de yönetim için can alıcı bir odak haline getirilmesi amaçlanarak, Motorola'nın öncülük ettiği Altı Sigma modeline geçilmeye karar verildi. Sistemin başlangıcında, şirket müdürleri konu uzmanları ile birlikte Altı Sigma yaklaşımının yararları hakkında görüşmeler gerçekleştirdiler. Altı Sigma, 1 milyon ayrı faaliyette

⁴² İ. İlker Gür; Altı Sigma Trendi Yükselişte, http://www.sistemim.com.tr/article_tr_6sigma.htm

⁴³ Yılmaz Argüden; Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi, <http://www.Kalder.org>

hata ölçümü yapmakta olan ve kaliteyi istatistiksel olarak gösteren bir modeldir. Hata sayısı ne denli düşükse, kalite o denli yüksektir. Bir sigmada ürünlerin %68'i kabul edilebilir; 3 sigmada %99.7'si kabul edilebilir. Altı Sigma ise son hedeftir ve mamullerin %100'e yakınının kabul edilmesi anlamına gelir.

1997 yılında GE plastik sektöründe altı sigma turnuvası düzenledi. Bu turnuvada Asya Pasifik ülkelerinden 10 GE plastik ekibi, en iyi kalite projesi için birbirleriyle rekabet ettiler. Kalite ölçümüne Haziran 1996 yılında başlamış ve projesini “Paranın Rengi” diye adlandıran Singapur ekibi, plastik ürünleri arasındaki renk farklılıklarını en düşük düzeye indirmesinden dolayı yarışmayı kazanmıştır. Kaliteyi 2 sigmadan 4.9 sigmaya yükselten paranın rengi projesi 4 ay sürmüş ve bir General Electric'e 400000 \$ tasarruf sağlamıştır.⁴⁴

GE'in gerçekleştirdiği iyileştirmelerden biri; GE'in Lighting birimindeki altı sigma ekibi, faturalama hatalarını %98 oranında azaltarak, ödemeleri hızlandırarak ve her şirket içinde daha verimli bir çalışma ortamı oluşturarak, şirketin en önemli müşterilerinden birinin fatura hazırlamada yaşadığı sorunları çözmüştür.⁴⁵

2.8. Altı Sigma Yaklaşımının Toplam Kalite Yönetimden Farklılıkları

Temel olarak Altı Sigma bir kalite geliştirme yöntemidir. Kullanılan teknikler ve felsefe olarak Toplam Kalite ve Altı Sigma yöntemleri benzerlik göstermelerine rağmen geniş bir açıdan bakıldığında bazı önemli farklar ortaya çıkmaktadır. Her iki sistemde müşteri memnuniyetine odaklı olup, sürekli gelişmeyi ve uzun süreli başarıyı hedeflemektedir. Asıl fark, yönetim anlayışından kaynaklanmaktadır. TKY'de yöneticilerin hedef cümleleri çok soyut, felsefi ve genel olduğundan, iş yapabilen bir kalite yönetimi stratejisi oluşturmak çok güç olmaktadır. Başarısızlıktan etkilenen firmalar TKY'den vazgeçmekte veya dünya çapında olmasa da standart kabul edilen bir düzeyde başarıyı garantileyen ISO'yu tercih etmektedirler. Hâlbuki kalite teknik ve yöntemlerinin asıl amaçları olan “mümkün olan en başarılı sonucu elde etme” hedefine ulaşmalarını sağlayacağına inanan profesyonel yöneticiler tarafından geliştirilen Altı

⁴⁴Six Sigma, http://www.geocities.com/alti_sigma/

⁴⁵ Forrest W. Breyfogle; Implementing six sigma, A Wiley-Interscience Publication, Newyork, 1999, s.5.

Sigma; somut ve ölçülebilir hedefler ortaya koyarak çok daha teşvik edici bir rol oynamaktadır.⁴⁶

Tablo 2-7: Toplam Kalite Yönetimi ve Altı Sigma yaklaşımının karşılaştırması

TKY Hatası: Kalite sık sık, şirket stratejisi ve performansının temel konularından farklı bir yan etkinlik gibi görülmüştür.	Altı Sigma Çözümü: Altı Sigma kuruluşları süreç yönetimini, iyileştirmeyi ve ölçümü özellikle işletmeden sorumlu müdürlerin günlük işlerinin bir parçası olarak uygulamaya koyar.
TKY Hatası: TKY, değişimin çok sayıda küçük iyileşmeden oluştuğunu vurgular. Yani adım adım iyileşmeyi savunur.	Altı Sigma Çözümü: Hem küçük iyileşmelerin hem de büyük değişimlerin, 21. yüzyılda iş dünyası açısından ayakta kalmanın bir şartıdır.
TKY Hatası: Sadece ürün kalitesine önem verir. Hizmet, lojistik, Pazarlama ya da eşdeğer öneme sahip diğer hayatsal alanlara gereken önemi vermez.	Altı Sigma Çözümü: Bütün iş süreçlerine önem verir. Yalnızca hizmet ve işlemsel süreçleri ele almakla kalmaz, üretime kıyasla bu alanlara daha fazla önem verir.
TKY Hatası: Etkisiz bir eğitim vardır. İnsanlar TKY araçlarının ne olduğunu biliyor. Fakat onları nasıl, ne zaman uygulayacaklarını bilmiyor. Özellikle iyileştirmenin nasıl hayata geçirileceği konusunda belirgin bir içerik sunmaktan çok eğitim araçlarına odaklanmıştır.	Altı Sigma Çözümü: Altı Sigma kuruluşları eğitim konusunda çok yüksek standartlar koyar ve çalışanlarının bu standartlara ulaşmasını sağlamak için gerekli zamanı ayırır ve parasal yatırımı yapar. Eğitimcilerine kurslar düzenleyip sertifikalar verir. Uzman Kara Kuşak, Kara Kuşak, Yeşil Kuşak gibi.
TKY Hatası: Belirsiz bir hedefi vardır. Pek çok şirket kulağa hoş gibi gelen kavramlarla kalite kavramını daha da bulanık hale getirmişlerdir. Çünkü hedeflere doğru ilerlemeyi değerlendirecek gereçleri oluşturamamışlar. Bu da TKY'yi açık uçlu bir çevrim olmaya mahkum etmektedir. TKY'yi uygulayan bazı şirketler belirli bir hedefi tutturamadıkları için onlar için sonuç hüsrana olmuştur.	Altı Sigma Çözümü: Anlamlı ve net bir hedefi vardır. Özellikle anlaşılır bir hedef Altı Sigma'nın belkemiğidir. Bu hedef çok iddialı olmakla birlikte "sıfır hata" kampanyalarının tersine inandırıcı bir hedeftir. Hedefte başarı oranıyla %99,99966 mükemmellik, milyon fırsatta 3.4 hata gibi sonuçlar vardır. İyileşmeler para ile de ifade edilebiliyor.

Kaynak: Neuman P. Robert-Pande, S. Peter- Cavanagh R. Roland; Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri, Çev: Nafiz Güder, Dharma Yayınları, İstanbul, 2004, s.75.

Altı Sigma çalışmaları, mevcut kalite çabalarını ret eden bir yaklaşım değildir. Tıpkı iş mükemmelliği modelleri, Toplam Kalite Yönetimi, ISO 9000:2000 serisi standartları ve diğer sistemler gibi süreç yaklaşımını esas almaktadır, iyileştirme odaklıdır, gerçekçi verilere dayalı istatistiksel analizleri içerir. Ancak geçmişte uygulanan ve başarısız sonuçlara uğramış kalite çabalarının düştüğü hataları

⁴⁶ Thomas Pyzdek; Why Six Sigma is not TQM, http://www.pyzdek.com/six_sigma_vs_tqm.htm

tekrarlamayacak bir yapı gerektirmektedir. Örneğin, Altı Sigma, Toplam Kalite Yönetiminde olduğu gibi süreçlerin sürekli olarak iyileştirilmesini talep eder, faydalı ancak ömrünü tamamlayan süreçlerin de yeniden tasarlanması gerektiğini ortaya koyar. Eğer şartlar oluşmuş ise adım adım iyileştirmeden sıçramaya geçilir.⁴⁷

Altı Sigma yaklaşımı, neler yapılması gerektiğinden çok nasıl yapılacağının yöntemlerini sunmaktadır. Dolayısıyla TKY ve diğerlerine alternatif değil, onu bütünleyen, destekleyen ve birlikte yürütülecek bir yöntemdir. TKY, kaliteye yönelmiş bir yaklaşımken, Altı Sigma iş sonuçlarına yönelmiştir. Altı Sigma, kendisinden önceki pek çok yaklaşımının başarılı yönlerini bünyesinde toplaması ve sahip olduğu çok güçlü araçlarla diğer yaklaşımları vaat ettiklerini gerçeğe dönüştürebilmesiyle de TKY ve diğerlerinden ayrılmaktadır. TKY, işletmede çalışan herkes tarafından benimsenmesi ve uygulanması gereken bir yöntemdir. Altı Sigma ise öncelikle Altı Sigma yöneticilerinin eğitime alınmasıyla başlamaktadır.⁴⁸

Toplam kalitenin başarısız olduğu durumlarda Altı Sigma yaklaşımının nasıl başarılı olduğu Tablo 2-7’de gösterilmiştir.

2.9. Altı Sigma Hesaplama Yöntemleri

Veri toplama tekniklerinin farklı olması, firmaların sigma seviyelerinin tespitinde değişik sigma hesaplama yöntemlerine başvurmasını doğurmuştur.⁴⁹ Firmaların süreçlerinde kullandıkları değişik Altı Sigma hesaplama yöntemleri vardır.

2.9.1. Milyonda hatalı parça sayısı yöntemi

Hata, bir müşterinin gereksinimi, performans standardını karşılayamamaktır. Sızıntı yapan motor karteri, ev kredisinin verilisinin ertelenmesi, yanlış rezervasyon, anlaşmada bir yanlışlık vb. birer hata örneğidir.

Bazı işletmelerde üretilen ürün adetlerinin çok fazla olması nedeniyle ölçümler milyon bazında yapılmaktadır.⁵⁰ Tablo 2-8’de parça başına hata yöntemi ve örnekleri verilmiştir.

⁴⁷ İ. İlker Gür; Altı Sigma Trendi Yükselişte, http://www.sistemim.com.tr/article_tr_6sigma.htm

⁴⁸ İrfan Ertuğrul; Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Ekin Kitabevi, Bursa, 2004, s.283.

⁴⁹ Lane Bishop; Corporate Sigma Calculation Methods, Honeywell International Inc., Motorola University, 1994, s.15-18.

Tablo 2-8: Parça başına hata yöntemi formül ve örnekleri

$$\text{Formül : } \frac{\text{Hata Sayısı}}{\text{Parça Sayısı}}$$

Hizmet Örnekleri:

- 250 kredi başvurusundan 52'sinde hata var

$$\frac{52 \text{ hatalı}}{250 \text{ parça}} = 0.208 \text{ (veya \%20.8 Parça Başına Hata)}$$

- 286 reklam sözleşmesinden 3'ünde hata var

$$\frac{3 \text{ hatalı}}{586 \text{ parça}} = 0.0051 \text{ (veya \%0.51 Parça Başına Hata)}$$

Üretim Örnekleri:

- 1750 mikroçipten 99'unda hata var

$$\frac{99 \text{ hatalı}}{1750 \text{ parça}} = 0.056 \text{ (veya \%5.6 Parça Başına Hata)}$$

- 1150 çelik kırıktan 33'ünde hata var

$$\frac{33 \text{ hatalı}}{1150 \text{ parça}} = 0.028 \text{ (veya \%2.8 Parça Başına Hata)}$$

Kaynak: Neuman P. Robert-Pande, S. Peter- Cavanagh R. Roland; Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri, Çev: Nafiz Güder, Dharma Yay., İstanbul, 2004, s.266.

Tablodaki sonuçların başarı oranı, Milyonda Hata Oranı ve Sigma seviyeleri Ek Tablo 1'den şu şekilde bulunur:⁵¹

Hizmet sektörü örnekleri için;

- Başarı Oranı = %100 - %20.8 = %79.2
Milyonda Hata Oranı = 190000
Sigma Seviyesi = 2.30
 - Başarı Oranı = %100 - %0.51 = %99.49
Milyonda Hata Oranı = 6300
-

⁵⁰ Neuman -Pande – Cavanagh; Age., s.265.

⁵¹ Neuman -Pande – Cavanagh; Age., s.266.

Sigma Seviyesi = 4.10

Üretim sektörü örnekleri için;

- Başarı Oranı = %100 - %5.6 = %94.4

Milyonda Hata Oranı = 60000

Sigma Seviyesi = 3.07

- Başarı Oranı = %100 - %2.8 = %97.2

Milyonda Hata Oranı = 25000

Sigma Seviyesi = 3.40

Sigma seviyesi Excel ile de bulunabilir. Excel ile sigma seviyesini bulmak için boş bir Excel hücreesine,

$$=NORMSTERS(1-(\text{Hata Sayısı}/\text{Parça Sayısı}))+1.5$$

formülü girilir.⁵²

Örnek: 1750 mikroçipten 99'unda hata olduğuna göre sigma seviyesi için Excel hücreesine,

$$=NORMSTERS(1-(99/1750))+1.5$$

formülü yazılıp enter tuşuna basıldığında sigma seviyesinin 3.08 olduğu görülür.

2.9.2. Hata oranlarının (DPMO veya PPM) sigma kalite düzeyi birimine dönüştürme yöntemi

Çoğu defa Altı Sigma seviyesi için milyon parçada hata (DPM-PPM) veya milyon fırsatta (DPMO) hata oranı hesaplanarak bu değer 1.5σ kaydırılmış Altı Sigma birimine dönüştürülür. Genellikle hata oranı (ppm) ile Altı Sigma seviyesi arasındaki ilişki tablo halinde verilir.⁵³ Fakat aynı işlem doğrudan Schmidt ve Launsby (1997) tarafından bulunan ve 1.5σ kaydırılmış Altı Sigma hesap tablosundaki aynı değeri veren

$$\text{Sigma Kalite Düzeyi} = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 * \ln(ppm)}$$

formülü ile hesaplanabilir.⁵⁴

Örnek: 1750 mikroçipten 99 tanesinde hata olduğunu kabul ederek sigma kalite seviyesi Schmidt ve Launsby (1997) tarafından bulunan formül yardımıyla,

⁵² Robert J. Gnibus; Six Sigma's Missing Link, Quality Progress, Novemeber, 2000, ss.77-83.

⁵³ Breyfogle; Age., s.136.

⁵⁴ Urdhwareshe Hemant; The Six Sigma Approach, <http://www.symphonytech.com/articles/pdfs/sixsigma.pdf>

$$\begin{aligned}
\text{Sigma Kalite Düzeyi} &= 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 * \ln(ppm)} \\
&= 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 * \ln(60000)} \\
&= 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 * 11.002099} \\
&= 0.8406 + \sqrt{4.934338} \\
&= 0.8406 + 2.221337 \\
&= 3.0619
\end{aligned}$$

şeklinde hesaplanır.⁵⁵

2.9.3. Fırsatlar ve hatalar yöntemi

Fırsatlar ve hatalara göre yapılan hesap yöntemi en çok kullanılan hesaplama yöntemidir. Milyonda parça sayısı ile milyon fırsatta hata sayısı birçok firma tarafından karıştırılmaktadır. Bu ikisi kesinlikle eş anlamlı değildir.

Milyon fırsatta oluşan hatanın doğrudan sigmaya çevrilmesi ile sigma seviyesi bulunmuş olur. Bu yöntem için,

$$DPMO = \frac{\text{Hataların Sayısı}}{(\text{Birim Başına Hata Fırsatları Sayısı}) * (\text{Birim Sayısı})} * 1000000$$

formülü kullanılır.⁵⁶

Örnek: Hata fırsatlarına dayalı üretim ve hizmet sektörüne ait bazı örnekler Tablo 2-9'de gösterilmiştir. Tablodaki sonuçların Milyon Fırsatta Hata Sayısı ve Sigma seviyeleri Ek Tablo 1'den şu şekilde bulunur:⁵⁷

Hizmet örnekleri için;

$$\text{Milyon Fırsatta Hata Sayısı} = 0.052 * 10^6 = 52000$$

$$\text{Sigma Seviyesi} = 3.1$$

$$\text{Milyon Fırsatta Hata Sayısı} = 0.216 * 10^6 = 216000$$

$$\text{Sigma Seviyesi} = 2.3$$

Üretim örnekleri için;

$$\text{Milyon Fırsatta Hata Sayısı} = 0.00088 * 10^6 = 880$$

$$\text{Sigma Seviyesi} = 4.6$$

$$\text{Milyon Fırsatta Hata Sayısı} = 0.018 * 10^6 = 18000$$

$$\text{Sigma Seviyesi} = 3.6$$

⁵⁵ Breyfogle; Age., s.137.

⁵⁶ <http://www.sixsigmamk.com/sigmacalc.htm>

Tablo 2-9: Fırsatta hata sayısı yöntemi formül ve örnekleri

$$\text{Formül : } \frac{\text{Hata sayısı}}{\text{Parça} * \text{Hata}}$$

Hizmet Örnekleri:

- 250 kredi başvurusundan 52'sinde hata var 4 hata fırsatı/başvuru

$$\frac{52 \text{ hatalı}}{250 \text{ parça} * 4 \text{ hata fırsatı / başvuru}} = 0.052 \text{ Fırsatta Hata Sayısı}$$

- 321 hata, 186 reklam sözleşmesi, 8 hata fırsatı/başvuru

$$\frac{321 \text{ hata}}{186 \text{ parça} * \text{herbiri için } 8 \text{ fırsat}} = 0.216 \text{ Fırsatta Hata Sayısı}$$

Üretim Örnekleri:

- 99 hata, 750 mikroçip, 150 hata fırsatı

$$\frac{99 \text{ hata}}{750 \text{ çip} * 150 \text{ fırsat / çip}} = 0.00088 \text{ Fırsatta Hata Sayısı}$$

- 319 hata, 1150 çelik kiriş, 15 hata fırsatı

$$\frac{319 \text{ hata}}{1150 \text{ birim} * 15 \text{ fırsat / çelik kiriş}} = 0.018 \text{ Fırsatta Hata Sayısı}$$

Kaynak: Neuman P. Robert-Pande, S. Peter- Cavanagh R. Roland; Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri, Çev: Nafiz Güder, Dharma Yayınları, İstanbul, 2004, s.271.

Sigma seviyesi Excel ile de bulunabilir. Excel ile sigma seviyesini bulmak için boş bir Excel hücreesine,

$$= \text{NORMSTERS}(1 - (\text{Hata Sayısı} / (\text{Parça Sayısı} * \text{Hata Fırsatı}))) + 1.5$$

formülü girilir.⁵⁸

Örnek: 750 mikroçipten 99'u hatalı ve hata fırsatı 150 olduğuna göre sigma seviyesini bulmak için Excel hücreesine,

$$= \text{NORMSTERS}(1 - (99 / (750 * 150))) + 1.5$$

formülü girilir. Enter tuşuna basıldığında sigma seviyesinin 4.62 olduğu görülür.

⁵⁷ Neuman -Pande - Cavanagh; Age., s.271.

⁵⁸ Process Sigma Calculation, <http://main.isixsigma.com/forum/showmessage.asp?messageID=437>

2.9.4. Ortalama, standart sapma ve spesifikasyon limitleri ile hesaplama yöntemi

Toplanan örneklerin sayısının az veya yetersiz olması durumunda sigma düzeyi değeri; standart sapma, ortalama ve spesifikasyon limitlerinden hesaplanır. Bu yöntemde hataların sayılmasına ihtiyaç yoktur.⁵⁹

Z, ortalaması 0 ve varyansı 1 olan bir normal rassal değişken olsun. Bu durumda,

$$Z \sim N(0,1)$$

olarak yazılır. Bir prosesteki ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak elde edilen Z değeri, prosesin sigma seviyesini gösterir. Prosesin sigma seviyesini gösteren Z değerinin hesaplanmasında,

$$Z_{ASL} = \frac{\hat{\mu} - ASL}{\hat{\sigma}}; \quad Z_{USL} = \frac{USL - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}$$

eşitlikleri kullanılır.⁶⁰

Bu eşitliklerde kullanılan standart sapmanın tahmini değeri, “uzun dönem” ve “kısa dönem” için farklı şekillerde hesaplanmaktadır. Kısa dönem için standart sapmanın tahmini değeri,

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$$

eşitliği kullanılarak bulunabilir. Ayrıca kısa dönem standart sapmanın tahmini değeri,

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (n_i - 1)}} \quad \text{ve} \quad d = \left(\sum_{i=1}^m n_i \right) - m + 1$$

olmak üzere,

$$\hat{\sigma} = \frac{s_p}{c_4(d)}$$

eşitliği kullanılarak da bulunabilir. Minitab programı bu eşitliği kullanmaktadır. Uzun dönem için standart sapmanın tahmini değeri ise,

⁵⁹ Bishop; Age., s.15-18.

⁶⁰ www.webpages.uidaho.edu/~redgeman/Powerpoint%20Folders/Six%20Sigma%20Lectures/Six-Sigma-DMAIC-Analyze.ppt

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

eşitliği kullanılarak bulunabilir. Uzun dönem değişkenliğindeki kaymadan dolayı, bulunan bu standart sapmaya,

$$\hat{\sigma}_{\text{düzeltme}} = \frac{\hat{\sigma}}{c_4(n)}$$

düzeltilmesi yapılır.⁶¹

Örnek: Tablo 2-10’da bir makine parçasının herhangi bir kalite karakteristiği ile ilgili ölçümler verilmiştir. Kalite karakteristiği ile ilgili kısa ve uzun dönem sigma seviyelerini bulalım.

Tablo 2-10: Bir makine parçasının herhangi bir kalite karakteristiği ölçümleri

Grup No	Ölçümler						$\bar{x}$	R
1	36	35	34	33	32	34.0	4	
2	31	31	34	32	30	31.6	4	
3	30	30	32	30	32	30.8	2	
4	32	33	33	32	35	33.0	3	
5	32	34	37	37	35	35.0	5	
6	32	32	31	33	33	32.2	2	
7	33	33	36	32	31	33.0	5	
8	23	33	36	35	36	32.6	13	
9	43	36	35	24	31	33.8	19	
10	36	35	36	41	41	37.8	6	
11	34	38	35	34	38	35.8	4	
12	36	38	39	39	40	38.4	4	
13	36	40	35	26	33	34.0	14	
14	36	35	37	34	33	35.0	4	
15	30	37	33	34	35	33.8	7	
16	28	31	33	33	33	31.6	5	
17	33	30	34	33	35	33.0	5	
18	27	28	29	27	30	28.2	3	
19	35	36	29	27	32	31.8	9	
20	33	35	35	39	36	35.6	6	
Toplam						671.0	124.0	
Ortalama						33.55	6.2	

Standart sapmanın tahmini değeri için Tablo 2-10’dan her grubun kendi ortalamasından farklarının kareleri toplamı kullanıldığında,

⁶¹ Breyfogle; Age., s.200-201.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 10.0 + 9.2 + 4.8 + 6.0 + 18.0 + \dots + 19.2 = 702.4$$

bulunur.

Uzun dönem için standart sapmanın tahmini değeri,

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100} (x_i - 33.55)^2}{100-1}} = 3.52874$$

olarak hesaplanır. Uzun dönem değişkenliğindeki kaymadan dolayı, bulunan bu standart sapmaya,

$$\hat{\sigma}_{\text{düzeltme}} = \frac{\hat{\sigma}}{c_4(n)} = \frac{3.52874}{c_4(100)} = \frac{3.52874}{0.9975} = 3.53776$$

olarak belirlenir. Standart sapmanın bulunan tahmini değeri kullanıldığında Z değerleri,

$$Z_{ASL} = \frac{\hat{\mu} - ASL}{\hat{\sigma}} = \frac{33.55 - 24.00}{3.53776} = -2.70$$

$$Z_{USL} = \frac{USL - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} = \frac{50.00 - 33.55}{3.53776} = 4.65$$

olarak hesaplanır. Bulunan bu Z değerlerinden PPM değerleri,

$$PPM_{ASL} = \Phi(Z_{ASL}).10^6 = \Phi(-2.70).10^6 = 3472.7$$

$$PPM_{USL} = \Phi(Z_{USL}).10^6 = \Phi(4.65).10^6 = 1.7$$

$$PPM_{\text{Toplam}} = PPM_{ASL} + PPM_{USL} = 3472.7 + 1.7 = 3474.4$$

biçiminde hesaplanır.

Kısa dönem için standart sapmanın tahmini değeri,

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (n_i - 1)}} = \sqrt{\frac{702.4}{20.(4)}} = \sqrt{8.78} = 2.963106$$

$$d = \left(\sum_{i=1}^m n_i\right) - m + 1 = (20.5) - 20 + 1 = 81$$

olmak üzere,

$$\hat{\sigma} = \frac{s_p}{c_4(d)} = \frac{2.963106}{c_4(81)} = \frac{0.93412055}{0.9969} = 2.97238$$

olarak bulunur. Standart sapmanın bulunan tahmini değeri kullanıldığında Z değerleri,

$$Z_{ASL} = \frac{\hat{\mu} - ASL}{\hat{\sigma}} = \frac{33.55 - 24.00}{2.97238} = -3.21$$

$$Z_{USL} = \frac{USL - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} = \frac{50.00 - 33.55}{2.97238} = 5.53$$

olarak hesaplanır. Bulunan bu Z değerlerinden PPM değerleri,

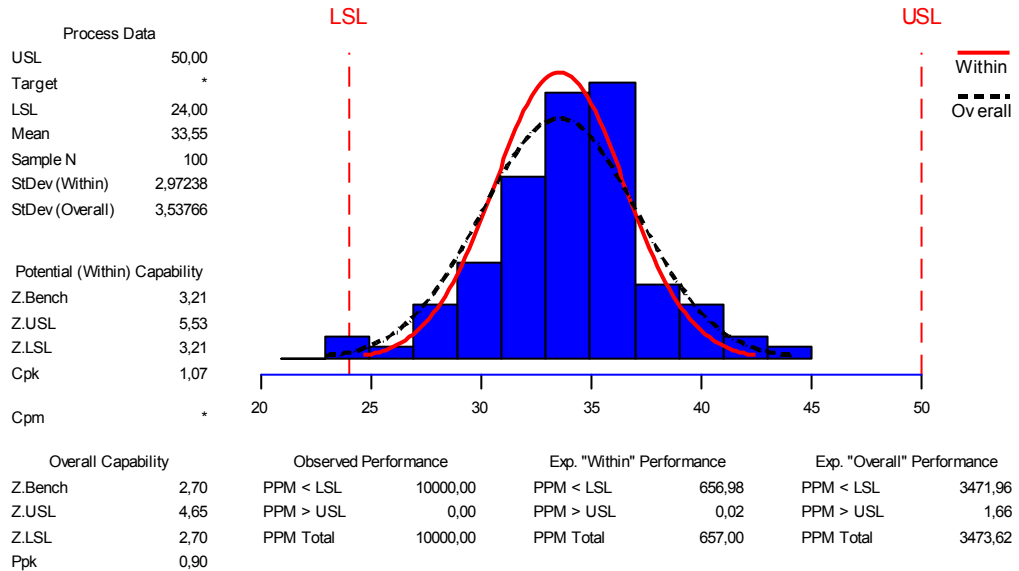
$$PPM_{ASL} = \Phi(Z_{ASL}).10^6 = \Phi(-3.21).10^6 = 657$$

$$PPM_{USL} = \Phi(Z_{USL}).10^6 = \Phi(5.53).10^6 = 0$$

$$PPM_{Toplam} = PPM_{ASL} + PPM_{USL} = 657 + 0 = 657$$

biçiminde hesaplanır.⁶²

Aynı örneğin minitab çıktısı, Şekil 2-7'de görülmektedir. Minitab çıktısı incelendiğinde hesaplanan değerlerle aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 2-7: Örneğin minitab çıktısı

⁶² Breyfogle; Age., s.202-204.

2.9.5. İlk kontrol sonrası hesaplama yöntemi

İlk kontrol sonrası ortaya çıkan hatalardan toplam hata miktarı ve buradan da sigma seviyesi bulunabilmektedir.

$$\text{Milyon fırsattaki hata oranı} = \frac{1 - FPY}{\text{Operasyon Sayısı}} * 1000000$$

Burada bahsedilen operasyon sayısı, ürün üretim hattından çıktıktan sonraki kontrol sayısını vermektedir. FPY ise, ilk testte sağlam olan parçalar için kullanılmıştır.⁶³

2.9.6. Basit kazanç (hasıla) ilişkisi ölçümü

Kazanç, özellik limitleri arasında ihtimal yoğunluk eğrisi altında kalan alan olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, süreçteki hata sayının sıfır olması ihtimali kazançtır.⁶⁴

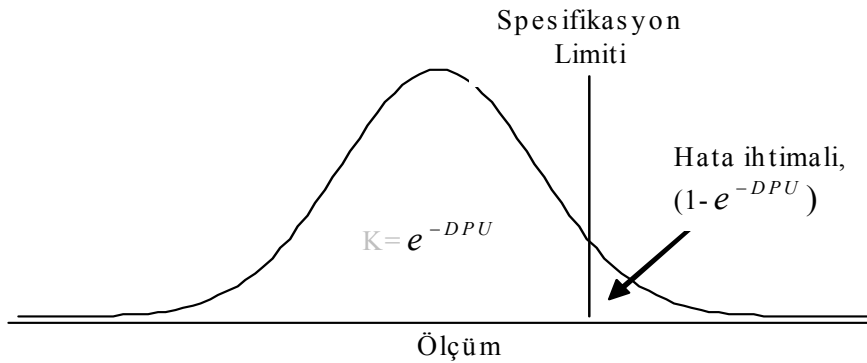
Süreç dağılımının ortalaması λ ve hata sayısı x olmak üzere kazanç,

$$K = P(x = 0) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

poisson dağılımına sahiptir. Bu dağılımda $x = 0$ yazılırsa,

$$K = P(x = 0) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^0}{0!} = \frac{e^{-\lambda} \cdot 1}{1} = e^{-\lambda} = e^{-D/U} = e^{-DPU}$$

biçiminde yazılır.⁶⁵



Şekil 2-8: Kazanç gösterimi grafiği

Kaynak: Forrest W. Breyfogle; Implementing Six Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods, 1999, s.139.

⁶³ Bishop; Age., s.15-18.

⁶⁴ Motorola University, http://careers.peopleclick.com/client40_motorola/external/ola/JobSearchResults.xml?JPJOBAREA=73&SRCH_RESULTS_PER_PAGE=50

⁶⁵ Breyfogle; Age., s.139.

Kazanç (başarı) ilişkisini gösteren ilişki Şekil 2-8’de gösterilmiştir. Poisson dağılımı, Z değişkeninin tahmininde kullanılabilir. Bu iş DPU için Z değerinin normal dağılım tablosundan bulunması ile yapılır. Bu Z değeri $Z_{eşdeğer}$ olarak tanımlanır. Zaman zaman Z “uzun dönem”, zaman zaman Z “kısa dönem” değişkenliğini tanımlamada kullanılır. Z “kısa dönem” değeri, sorunlu bir sürecin neden olduğu zararları engellemek için gereken önlemlerin hızla alınması için hesaplanır. Z “uzun dönem” değeri ise, kademeli iyileştirmeler ile önlenen sorunların tekrarlanmaması ve sorunlara kalıcı çözümler getirebilmesi için hesaplanır.⁶⁶

Z “uzun dönem”, $Z_{UD} = Z_{eşdeğer}$ olarak hesaplanır. Z “kısa dönem”, Z “uzun dönem” ile 1,5 standart sapma kaydırılması ile ilişkilidir. Ve Z “kısa dönem”,

$$Z_{KD} = Z_{UD} + 1.5_{kayma}$$

eşitliği ile hesaplanır. Z_{KD} değeri PPM değerine dönüştürmekle hata oranı bulunmuş olur.⁶⁷

Örnek: Üretilen 467 birimde 5 hata gözleniyorsa, birim başına hata sayısı,

$$DPU = \frac{D(hata\ sayısı)}{U(birim\ sayısı)} = \frac{5}{467} = 0.01071$$

olarak bulunur. Sıfır hatalı birimleri elde etme ihtimali olan kazanç(hasıla) ise,

$$K = P(x = 0) = e^{-D/U} = e^{-DPU} = e^{-0.01071} = 0.98935$$

olarak hesaplanır.

Z değişkeninin tahmini ise normal dağılım tablosundan $Z_{eşdeğer} = 2.30$ olarak bulunur. $Z_{UD} = Z_{eşdeğer}$ olduğundan Z_{ST} değeri,

$$Z_{KD} = Z_{UD} + 1.5_{kayma}$$

eşitliği kullanılarak,

$$Z_{KD} = Z_{UD} + 1.5_{kayma} = 2.30 + 1.5_{kayma} = 3.8$$

olarak hesaplanır. Bu değer sürecin 3.8 sigma kalite düzeyinde olduğunu göstermektedir. Bu sigma değeri ekler tablosunda 1.5 ortalama kayması ile PPM karşılığı 10724.14 olarak bulunur.⁶⁸

⁶⁶ Mikel J. Harry – Ronald J.Lawson; Six Sigma Producibility Analysis and Process Characterization, Motorola University Press, Schaumburg,1992, s.117.

⁶⁷ www.webpages.uidaho.edu/~redgeman/Powerpoint%20Folders/Six%20Sigma%20Lectures/Six-Sigma-DMAIC-Analyze.ppt

⁶⁸ Breyfogle; Age., s.139-140.

2.9.7. Bileşik kazanç (hasıla) ilişkisi ölçümü

Bir ürünü seri süreçler ile üretir veya birleştirirken sıfır hata olması ihtimalidir. m işlem adımlarının sayısını göstermek üzere toplam kazanç,

$$K_{toplam} = \prod_{i=1}^m K_i$$

eşitliği ile hesaplanır.⁶⁹

Bileşik kazanç ölçülürken Tablo 2-11'un kullanılması kolaylık olması açısından Breyfogle (1999) tarafından önerilmiştir.

Tablo 2-11: Bileşik kazanç hesaplama tablosu

Operasyon	Hatalar	Birimler	DPU	Operasyon Kazancı
Adım No	D	U	DPU = D/U	$K = e^{-D/U} = e^{-DPU}$
1				
2				
3				
4				
Toplamlar	Hataların Toplamı	Birimlerin Toplamı	DPU'ların Toplamı	$K_{toplam} = \prod_{i=1}^m K_i$
Ortalamalar				BBTH = -ln(K _{toplam})

Kaynak: Forrest W Breyfogle; Implementing Sig Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods, John Wiley and Sons, New York, 1999, s.144.

Örnek: 10 adımdan oluşan bir süreç için hata ve birim sayıları verilmiştir. Bu sayılar kullanılarak birim başına hata, her bir işlem kazancı, toplam kazanç ve birim başına toplam hataların nasıl elde edildiği gösterilmiştir.⁷⁰

Adım 1 için, DPU = D/U = 5/523 = 0.00956

$$\text{Operasyon Kazancı} = e^{-DPU} = e^{-0.00956} = 0.99049$$

Toplam Kazanç ise,

$$K_{toplam} = \prod_{i=1}^m K_i = 0.99049 * 0.91564 * 0.94753 * \dots * 0.92929 = 0.47774$$

⁶⁹ Harry –Lawson; Age., s.119.

⁷⁰ Breyfogle; Age., s.144-145.

Tablo 2-12: Bileşik hasıla örneği tablosu

Operasyon	Hatalar	Birimler	DPU	Operasyon Kazancı
1	5	523	0.00956	0.99049
2	75	851	0.08813	0.91564
3	18	334	0.05389	0.94753
4	72	1202	0.05990	0.94186
5	6	252	0.02381	0.97647
6	28	243	0.11523	0.89116
7	82	943	0.08696	0.91672
8	70	894	0.07830	0.92469
9	35	234	0.14957	0.86108
10	88	1200	0.07333	0.92929
Toplamlar	479	6676	0.73868	0.47774
Ortalamalar	47.9	667.6	0.07387	0.73868

olarak hesaplanır. Birim başına toplam hata ise,

$$BBTH = -\ln(K_{\text{toplam}}) = -\ln(0.47774) = 0.73868$$

olarak elde edilir.

2.10. Süreç Yetenek ve Performans Endeksleri

İstatistiksel teknikler, geliştirme faaliyetleri ve imalat dahil ürün çevriminin bütün aşamalarında süreç değişkenliğinin sayısallaştırılmasında, değişkenliğin ürün gereklilikleri yada spesifikasyonlarına göre analiz edilmesinde ve değişkenliğin ortadan kaldırılmasında yada en az düzeyde tutulmasında imalat ve geliştirme bölümlerinde çalışanlara önemli yararlar sağlar. Bu genel faaliyete süreç yeterliliği denir.⁷¹ Süreç yeterliliği analizleri ile sürecin kararlı durumda olup olmadığı belirlenir, sürecin kararlı olmasını engelleyen kaynaklar araştırılır, nedenler belirlenir ve bu nedenleri ortadan kaldıracak önlemler alınır.

⁷¹ Gitlow, H.- Gitlow S.-Oppenheim A.- Oppenheim R. Tools and Methods for the Improvement of Quality, Irwin Homewood, IL, U.S.A., 1989, s.65.

Bir süreç iyileştirilmeden önce belirli bir süreç yeterliliğine sahip olmalıdır. Süreç iyileştirme çalışmalarında başarılı olunabilmesi için süreç yeterliliği çalışması başarılı bir şekilde tamamlanmış olmalıdır.⁷²

İşletmelerin rekabette başarılı olabilmesi için, tüketici spesifikasyonları içerisinde üretim yapmaları gerekmektedir. Yakın gelecekte işletmeler rekabet üstünlüğü sağlayabilmek için, hedef değerde üretim yapma durumunda kalacaktır.⁷³ İşletmelerin istenilen kalite düzeyini sağlayabilmesi için ürünler, tüketici beklentilerini ifade eden spesifikasyonların içerisinde oluşturmalıdır. Buna göre, üretim sürecinin spesifikasyonları karşılayan ürün oluşturabilme yeteneği sürekli olarak incelenmelidir. Bu inceleme, süreç yeterlilik endeksleri ile yapılabilir. Yeterlilik endekslerinin periyodik olarak hesaplanması ile süreç sürekli olarak kontrol altında tutulabilir.⁷⁴

Süreçler için belirli bir andaki anlık değişkenlik ve zaman içindeki değişkenlik gibi iki tür değişkenlik söz konusudur. Bir sürecin değişkenliği anlık ve zaman içindeki değişkenlik gibi iki şekilde değerlendirildiği için, süreç yeterliliğini de kısa ve uzun dönem olmak üzere iki bakış açısına göre değerlendirmek gerekir. Tablo 2-13’de özel ve genel nedenlerden hangilerinin uzun ve kısa dönem yeterlilikleri etkilediği gösterilmiştir.

Tablo 2-13: Değişkenlik türleri ile kısa ve uzun dönem yeterliliği

	Özel nedenlerle ortaya Çıkan değişkenlik	Genel nedenlerle ortaya Çıkan değişkenlik
Uzun Dönem Yeterliliği	X	X
Kısa Dönem Yeterliliği		X

Tablo 2-13’de belirtildiği gibi, genel nedenlerle ortaya çıkan değişkenlik bir sürecin uzun ve kısa dönem yeterliliğini etkilerken; özel nedenlerle ortaya çıkan değişkenlik ise, bir sürecin sadece uzun dönem yeterliliğini etkiler.⁷⁵

⁷² http://www.geocities.com/alti_sigma

⁷³ McCoy, P. F. Using Performance Indexes to Monitor Production Process, Quality Progress, February, 1991, s.50.

⁷⁴ Günay Söndürmez - Onur Özveri; Süreç Yeterlilik Analizi Tekniklerinin Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması, V. Ulusal Ekonometri Sempozyumu, Eylül 2001, ss.35-47.

⁷⁵ Gürsakal-Oğuzlar; Age., s.201.

2.10.1. Histogram ile süreç yeterliliği analizi

Histogram, süreç yeterliliğinin tahmininde kullanılan yararlı bir yöntemdir. Anlamlı bir süreç yeterliği sonucuna ulaşabilmek için en azından 100 ya da daha fazla gözlem yapılması gereklidir.⁷⁶ Veri toplama öncesinde aşağıdakiler yapılmalıdır.⁷⁷

- Öncelikle kullanılacak tezgâh ya da tezgâhlar seçilmelidir. Seçilen tezgâhlarda yapılacak uygulama daha büyük bir tezgâh grubuna genişletilecekse seçilen tezgâhlar bu anakütleyi temsil etmelidir.
- İkinci aşamada süreç çalışma şartları (kesme hızları, besleme oranları, sıcaklıklar, vb.) tanımlanmalı ve seçilmelidir. Bu faktörlerdeki değişikliklerin süreç yeterliği üzerindeki etkilerinin incelenmesi önemli olabilir.
- Temsilci bir operatör seçilmelidir. Bazı analizlerde operatör değişkenliğinin tahmin edilmesi önemli olabilir. Böyle durumlarda operatörler, operatör anakütlesinden tesadüfi olarak seçilmelidir.
- Veri toplama süreci dikkatli bir şekilde izlenmeli ve her birimin üretim zamanı kaydedilmelidir.

Örnek: Tablo 2-14’de 100 adet bir litrelik içecek şişesinin çatlamaya karşı dayanıklılığı sonuçları verilmiştir. Tablo 2-15’de ise verilerin frekans dağılımı yer almaktadır.

Tablo 2-14: Şişelerin çatlamaya karşı dayanım sonuçları

265	197	346	280	265	200	221	265	261	278
205	286	317	242	254	235	176	262	248	250
263	274	242	260	281	246	248	271	260	265
307	243	258	321	294	328	263	245	274	270
220	231	276	228	223	296	231	301	337	298
268	267	300	250	260	276	334	280	250	257
260	281	208	299	308	264	280	274	278	210
234	265	187	258	235	269	265	253	254	280
299	214	264	267	283	235	272	287	274	269
215	318	271	293	277	290	283	258	275	251

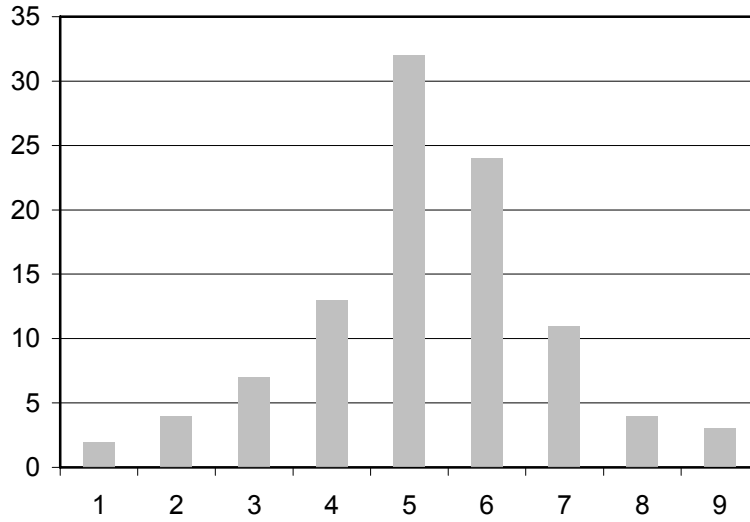
⁷⁶ Douglas C. Montgomery; Introduction to Statistical Quality Control, 4th Edition, John Wiley and Sons. Inc., 2001, s.352.

⁷⁷ Rıdvan Bozkurt; Kalite İyileştirme Araç ve Yöntemleri: İstatistiksel Teknikler, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No:630, Ankara, 2001, s.144.

Tablo 2-15: Örnek için frekans dağılımı

Sınıf Aralığı	Frekans	Nispi Frekans	Kümülatif Nispi Frekans
$170 \leq x < 190$	2	0.02	0.02
$190 \leq x < 210$	4	0.04	0.06
$210 \leq x < 230$	7	0.07	0.13
$230 \leq x < 250$	13	0.13	0.26
$250 \leq x < 270$	32	0.32	0.58
$270 \leq x < 290$	24	0.24	0.82
$290 \leq x < 310$	11	0.11	0.93
$310 \leq x < 330$	4	0.04	0.97
$330 \leq x < 350$	3	0.03	1.00
Toplam	100	1.00	

Tablo 2-15’de bulunan veriler kullanılarak hazırlanan histogram Şekil 2-9’da gösterilmiştir.

**Şekil 2-9:** Çatlama mukavemeti verileri için histogram

Kaynak: Douglas C. Montgomery; Introduction to Statistical Quality Control, 4th Edition, John Wiley and Sons Inc., 2001, s.353.

Verilerin analizi ile; $\bar{x} = 264.06$ ve $S = 32.02$ olarak hesaplanır. Bu nedenle süreç yeterliği;

$$\bar{x} \pm 3S$$

ifadesi ile,

$$264.06 \pm 3(32.02) = 264 \pm 96$$

olarak tahmin edilebilir. Histogram, mukavemet dağılımının normale yakın olduğunu göstermektedir. Bu durumda ürünlerin %99.73'ünün dayanımlarının 168 ile 360 arasında olabileceği tahmin edilebilir.⁷⁸

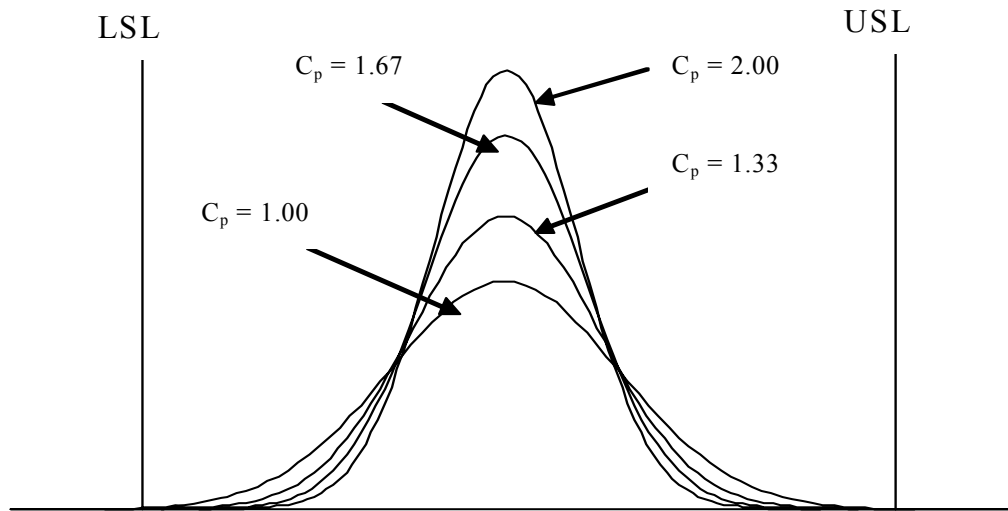
2.10.2. Süreç potansiyel endeksi (C_p)

Süreç potansiyel endeksi, süreç standart sapmasının, spesifikasyon sınırları ile ilişkilendirilmesiyle oluşturulur ve verilerin yayılımını inceler. Ölçülen bir (x) karakteristiği için, alt ve üst spesifikasyon sınırları ASL, USL olarak ve standart sapması da σ olarak ifade edilirse, süreç potansiyel endeksi,

$$C_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma}$$

biçiminde formüle edilir.⁷⁹

Formülünden de görüldüğü gibi, C_p indeksi yalnızca süreç yayılımını analiz eder. Şekil 2-9'den de görüldüğü gibi, C_p değerinin 1'den büyük olması istenen bir durumdur. Buna karşın, uygulamalarda $C_p > 1.33$ durumu önerilir. Ayrıca güvenilir sonuçlar elde edebilmek için de, örnek sayısının en az 50 olması uygun olur.⁸⁰



⁷⁸ Montgomery; Age., s.353-354.

⁷⁹ Victor E. Kane; Process Capability Indices, Journal of Quality Technology, Vol:18, No:1,1986, s.41.

⁸⁰ Samuel I. Kotz - Norman L. Johnson; Process Capability Indices, Chapman and Hall, England,1993, s.5.

Şekil 2-10'da, spesifikasyon limitleri sabit kalmak şartı ile farklı C_p değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

$C_p = 1.00$ olması demek, üretilen parçaların %0.27'sinin spesifikasyon limitleri dışında kalması demektir. Bu da milyonda yaklaşık 2700 hata anlamına gelir.

$C_p = 1.33$ olması demek, üretilen parçaların %0.0064'ünün spesifikasyon limitleri dışında kalması demektir. Bu da milyonda yaklaşık 64 hata anlamına gelir. Bu durum 4σ ($1.33*3\sigma = \pm 4\sigma$) hedefine karşılık gelmektedir.

$C_p = 1.67$ olması demek, üretilen parçaların %0.000057'sinin spesifikasyon limitleri dışında kalması demektir. Bu durum 5σ ($1.67*3\sigma = \pm 5\sigma$) hedefine karşılık gelmektedir. $C_p = 2$ değerini yakalaması ise altı sigma hedefi demektir.⁸¹

Süreç yeterlilik oranı olan C_p , sürecin spesifikasyonları karşılayan ürün imal etme yeteneğinin bir ölçüsü olduğundan, C_p endeksi ile kusurlu ürün imal etme sayıları birbiriyle yakından ilişkilidir. Tablo 2-16'de değişik C_p değeri için bir milyon parçada hatalı parça sayıları gösterilmiştir.⁸²

Tablo 2-16: C_p ile milyonda hata sayısı arasındaki ilişki

C_p	Milyonda Hata Sayıları (ppm)	
	Tek yönlü spesifikasyon	Çift yönlü spesifikasyon
0.25	226.628	453.255
0.50	66.807	133.614
0.60	35.931	71.861
0.70	17.865	35.729
0.80	8.198	16.395
0.90	3.467	6.934
1.00	1.350	2.700
1.10	484	967
1.20	159	318
1.30	48	96
1.40	14	27
1.50	4	7
1.60	1	2
1.70	0.17	0.34
1.80	0.03	0.06
2.00	0.0009	0.0018

Kaynak: Douglas C. Montgomery; Introduction to Statistical Quality Control, 4th Edition, Wiley, 2001. s.360.

⁸¹ <http://www.sytsma.com/tqmttools/proccapanal.html>

⁸² Montgomery; Age., s.360.

Bazı durumlarda ürün spesifikasyonları tek taraflı olarak belirlenir. Örneğin bir kimyasal süreç sonucunda elde edilen ürünün saflığının en az %98 (LSL = %98) olması istenebilir. Başka bir durumda ise, %3'ten fazla ezilmiş buğday içeren ürünün (USL = %3) satın alınmaması istenebilir. Bu durumda süreç yeterlilik kavramı aşağıdaki iki ölçü ile tanımlanır:⁸³

- Sadece LSL ile ilgili süreçler için,

$$C_{PL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

- Sadece USL ile ilgili süreçler için,

$$C_{PU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

$C_p < 1$ olduğunda çok yüksek bir hurda oranı mevcuttur. Bu durum, Amerika sanayinin 1970'li yıllardaki genel durumudur. $C_p = 1$ (3σ) olması Amerika sanayinin 1980'li yıllardaki genel durumudur. $C_p = 1.33$ (4σ) olması Japon sanayinin 1980'li yıllardaki genel durumudur. $C_p = 2$ (6σ) olması Japon ve Amerika sanayinin günümüzdeki genel durumudur. İşte Altı Sigma denilen mükemmellik hareketi budur.⁸⁴

2.10.3. Fiili yeterlilik endeksi (C_{pk})

Bir ürünün kalitesinin belirlenmesinde, ürünün gösterdiği yayılımın incelenmesi kadar, ortalama değerinin hedef değere ne ölçüde yakın olduğunun bilinmesi de önemlidir. C_p endeksi ile süreç yayılımının hangi düzeyde olduğunu incelenebilir. Ancak sürecin hedef değerde oluşma derecesi ile ilgili bilgi sağlanamaz. Bu nedenle ortalama değer yerleşimini değerlendiren C_{pk} endeksi geliştirilmiştir. Bu endeks,

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - ASL}{3\sigma}, \frac{USL - \mu}{3\sigma} \right\}$$

biçiminde formüle edilir.⁸⁵ C_p ve C_{pk} arasındaki ilişki,

$$C_{pk} = C_p (1-k)$$

eşitliği ile ifade edilir.

⁸³ Gürsakal; Age., s.475.

⁸⁴ <http://www.kimekskimya.com>

⁸⁵ Kane; Age., s.45.

Burada k , prosesin merkezden ne kadar uzakta olduğunu ölçen bir faktör olmak üzere,

$$k = \frac{|m - \mu|}{(USL - ASL)/2}, \quad 0 < k < 1$$

eşitliği ile hesaplanır. m ise,

$$m = \frac{USL + ASL}{2}$$

olup spesifikasyon limitlerinin orta noktasını verir.⁸⁶

Süreç ve ürün değişkenleri fiziksel olarak ölçülebilen, gerilim, boyut, gürültü seviyesi, duyarlılık ve sıcaklık gibi şeylerdir. Altı sigma hedefine ulaşmak için değişkenlerin $C_p = 2$ ve $C_{pk} = 1.5$ olacak şekilde ürün veya sürecin tasarlanması gerekmektedir. Bu şartlar sağlanırsa, hata sayısı milyonda 3.4 olacaktır. Prosesin kalitesini değişkenler için iki şekilde tanımlanabilir; standart sapma s ve ortalamadan kayma ($m-T$). Bu iki gösterge için C_p ve C_{pk} indeksleri kullanılır.

C_p indeksi yüksek olması proses yeteneğini gösterir ama ürünün istenilen karakteristiğinin her defasında sağlanıp sağlanmayacağını göstermez. C_p ve C_{pk} indekslerinin yüksek olması ise gerçekten prosesin istenilen karakteristiği limitler içinde sağlayıp sağlamayacağını garantiler.⁸⁷

Juran'a göre C_{pk} 'nın $1.33(4\sigma)$ olması süreç için yeterli iken, Motorola da uygulanan Altı Sigma programına göre sürecin yeterliliği için $C_{pk} = 1.5$ olması önerilmiştir.⁸⁸

Altı Sigma tasarımı için C_{pk} değerinin 2 yerine 1.5 olması gerektiğinin nedeni ortalamanın 1.5σ kaymasıdır. O halde ortalamanın 1.5σ kayması sonucu,

$$C_{pk} = \frac{6\sigma - 1.5\sigma}{3\sigma} = \frac{4.5\sigma}{3\sigma} = 1.5$$

olarak bulunur. Dolayısıyla Altı Sigma uygulamalarında $C_p = 2$ ve $C_{pk} = 1.5$ olmalıdır.⁸⁹

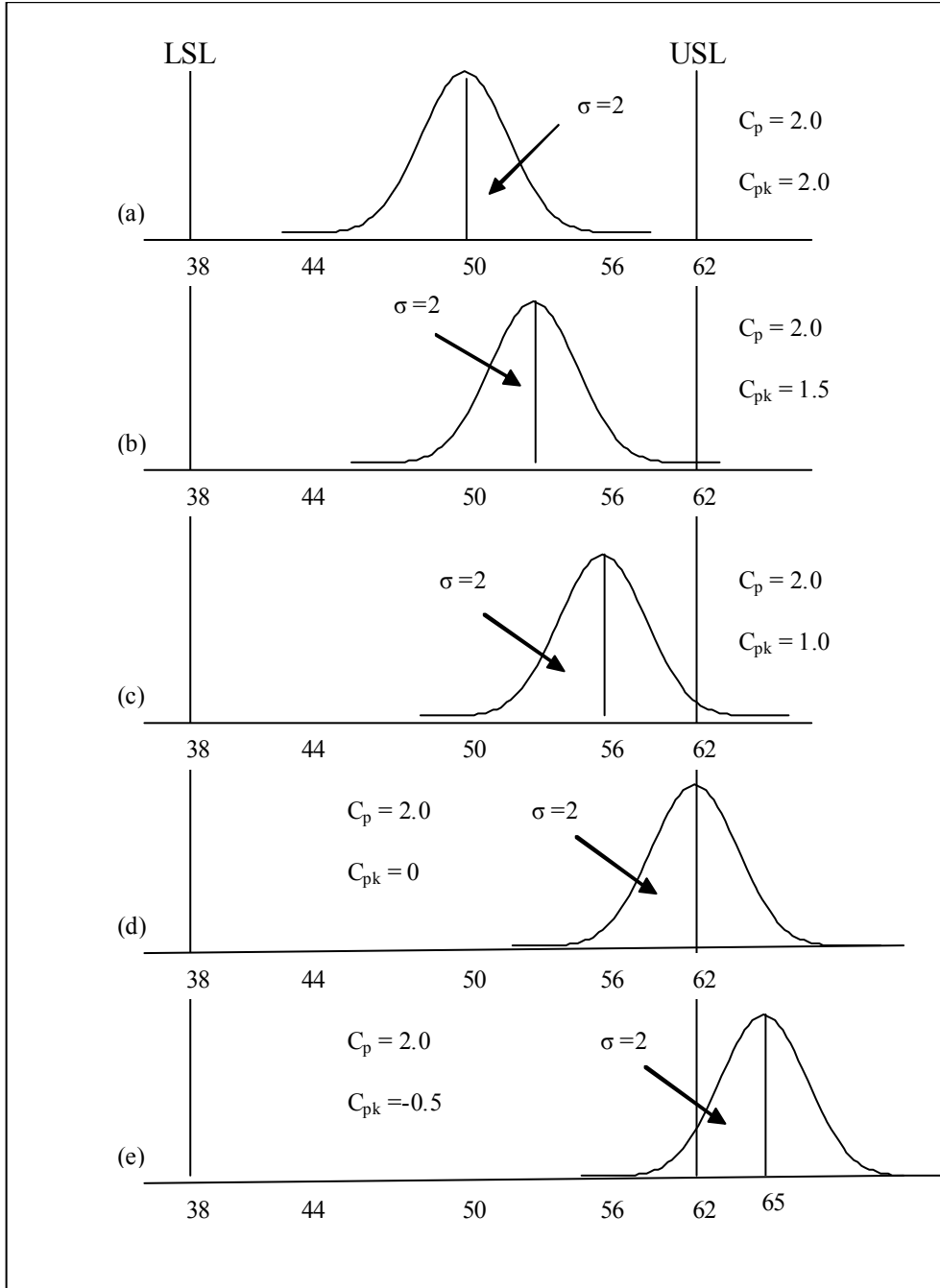
⁸⁶ Breyfogle; Age., 1999, s.196.

⁸⁷ Erkan Dora; ASELSAN'da Altı Sigma Uygulamaları, <http://www.aselsan.com.tr/DERGI/mayis2000/sig.htm>

⁸⁸ Breyfogle; Age., 1999, s.198.

⁸⁹ Six Sigma Quality Managementand Desirable Laboratory Precision, <http://www.westgard.com/essay35.htm>

Şekil 2-11’de LSL değeri 38 ve USL değeri 62 olan C_p ve C_{pk} arasındaki ilişkiyi gösteren bir durum mevcuttur.



Şekil 2-11: C_p ve C_{pk} endeks ilişkisi örneği

Kaynak: Douglas C. Montgomery; Introduction to Statistical Quality Control, 4th Edition, John Wiley and Sons. Inc., 2001, s.362.

Burada örneğin (b) durumu için C_{pk} değeri,

$$\begin{aligned}
C_{pk} &= \min(C_{pu}, C_{pl}) \\
&= \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) \\
&= \min\left(\frac{62 - 53}{3(2)}, \frac{53 - 38}{3(2)}\right) \\
&= \min(1.5, 2.5) \\
&= 1.5
\end{aligned}$$

$C_{pk} = C_p$ olması, süreç ortalamasının alt ve üst spesifikasyon limitlerinin tam ortasında bulunduğunu gösterir. $C_{pk} < C_p$ olması ise sürecin ortalamasının alt ve üst spesifikasyon limitlerinin ortasında bulunmadığını gösterir.⁹⁰ Bazı özel durumlarda C_{pk} değeri şu şekilde hesaplanabilir:⁹¹

Durum 1: Üst, alt limitler ve nominal (hedef) değer verilmiştir fakat nominal değer alt spesifikasyon limitine daha yakındır. Proses ortalaması nominal spesifikasyona eşit olduğu zaman C_{pk} maksimum değerdedir. Proses ortalaması alt ve üst spesifikasyon limitleri içindeyse C_{pk} değeri pozitifdir. Ortalama üst veya alt spesifikasyon limitleri üstündeyse C_{pk} değeri sıfırdır. Nominal değer üst veya alt spesifikasyon limitleri içinde fakat merkezde değil ise, $C_{pk} = 1.33$ değerinin sağlanması için daha yüksek C_p değeri gerekmektedir.

$$C_{pk} = \min\left[\frac{USL - \mu}{3\sigma} \left(\frac{Nom - LSL}{USL - Nom}\right), \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right]$$

Durum 2: Üst, alt spesifikasyon limitleri ve nominal (hedef) değer verilmiştir, fakat nominal değer üst spesifikasyon limitine daha yakındır. Proses ortalaması nominal spesifikasyona eşit olduğu zaman C_{pk} maksimum değerdedir. Proses ortalaması alt ve üst spesifikasyon limitleri içindeyse C_{pk} değeri pozitifdir. Ortalama üst veya alt spesifikasyon limitleri üstündeyse C_{pk} değeri sıfırdır. Nominal değer üst veya alt spesifikasyon limitleri içinde fakat merkezde değil ise, $C_{pk} = 1.33$ değerinin sağlanması için daha yüksek C_p değeri gerekmektedir.

$$C_{pk} = \min\left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \left(\frac{Nom - LSL}{USL - Nom}\right)\right]$$

Durum 3: Üst, alt spesifikasyon limitleri ve nominal (hedef) değer verilmiştir fakat nominal alt spesifikasyon limitine eşittir.

⁹⁰ Montgomery; Age., 2001, s.365.

⁹¹ <http://www.uytes.com.tr>.

$$C_{pk} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

Durum 4: Üst, alt spesifikasyon limitleri ve nominal (hedef) değer verilmiştir fakat nominal üst spesifikasyon limitine eşittir.

$$C_{pk} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

Durum 3 ve 4 de büyük C_{pk} istenmemektedir. En uygun C_{pk} değeri 1.33 ve C_{pk} yerine C_p değerini yükseğe çıkarılmalıdır.

2.10.4. C_{pm} endeksi:

İşletmeler, tüketici spesifikasyonları içerisinde ve hedef değere en yakın ortalama sahip ürünleri üretmeye çalışırlar. Sürecin sahip olduğu yayılım C_p indeksi ile incelenirken, süreç ortalamasının yerleşimi de C_{pk} indeksi ile incelenebilir. Sürecin yayılımı ile ilgili bilgiyi C_p indeksinin başarılı olarak sunabilmesine karşın, ortalamanın yerleşimi ile ilgili bilgiyi veremez. Süreç ortalamasının yerleşimi C_{pk} ile incelenmesine karşın, bazı durumlarda sağlıklı sonuçlar elde edilemez. C_{pm} indeksi ise, hedef değer ile, süreç ortalaması arasındaki farkı temel aldığından, süreç ortalamasının yerleşimi hakkında daha sağlıklı bilgi sağlayabilir.⁹²

Taguchi'ye göre bir ürünün kaliteli olması için, sevkiyattan sonra, o ürünün toplumda neden olduğu kaybın minimum düzeyde olması gerekir. Hedef noktada kayıp minimum iken, hedeften sapmalar arttıkça kayıp artmaktadır. Hedef değer H'den sapan değerlerin ekonomik etkisini Taguchi,

$$f(x) = k(x - H)^2$$

biçiminde ifade etmiştir⁹³ Burada k, üretilen parça başına maliyeti ifade eder.

C_p ve C_{pk} endekslerinin sürecin merkezileştirilmesi konusunu uygun olarak çözümedikleri noktasından hareket eden Taguchi, C_{pm} endeksini geliştirmiştir. C_{pm} endeksi, spesifikasyon limitlerine daha az, hedef değer olan T'ye daha büyük önem verir.⁹⁴

⁹²Söndürmez-Özveri; Age., ss.35-47.

⁹³ Russell A. Boyles; Taguchi Capability Index, Journal of Quality Technology, Vol:23, No:1, 1991, s.17.

⁹⁴ Gürsakal; Age., s.477.

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

Formüldeki değişkenlik, sürecin değişkenliği ile ortalamanın hedeften sapmasının değişkenliği olarak iki bileşen halinde ifade edilmiştir.

Örnek: Bir süreç için $\sigma = 0.8$, $USL = 24$, $LSL = 18$, $\mu = 22$ ve $T = 21$ olarak belirlenmiştir. Bu durumda ilgili formül kullanılarak C_{pm} endeksi,

$$C_{pm} = \frac{24 - 18}{6\sqrt{(0.8)^2 + (22 - 21)^2}} = 1.281$$

olarak hesaplanır.⁹⁵

2.10.5. P_p ve P_{pk} endeksleri

Bu endekslerden P_p sürecin merkezileştirilmesini göz önüne alır. P_{pk} ise sürecin merkezileştirilmesini göz önüne almaz. Ayrıca bu endekslerin her ikisinde de standart sapma (σ) tahmininde, tüm gözlem değerlerinden oluşan dizinin standart sapması kullanılır.⁹⁶

P_p ve P_{pk} endeksleri,

$$P_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma}$$

ve

$$P_{pk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - ASL}{3\sigma}\right\}$$

eşitlikleri kullanılarak bulunur. Bu endeksler, C_p ve C_{pk} endeksleri ile karşılaştırılarak zaman içinde süreçte bir iyileşmenin olup olmadığını anlamak için hesaplanmalıdır.⁹⁷

Örnek: Sayfa 76 bulunan örneğin C_p , C_{pk} , P_p ve P_{pk} endekslerini hesaplayalım.

Standart sapmanın kısa dönem için tahmini değeri $\hat{\sigma} = 2.97238$, uzun dönem için tahmini değeri $\hat{\sigma} = 3.53776$ olarak bulunmuştu. O halde C_p , C_{pk} , P_p ve P_{pk} endeksleri,

$$C_p = \frac{USL - ASL}{6\hat{\sigma}} = \frac{50 - 24}{6(2.97238)} = 1.46$$

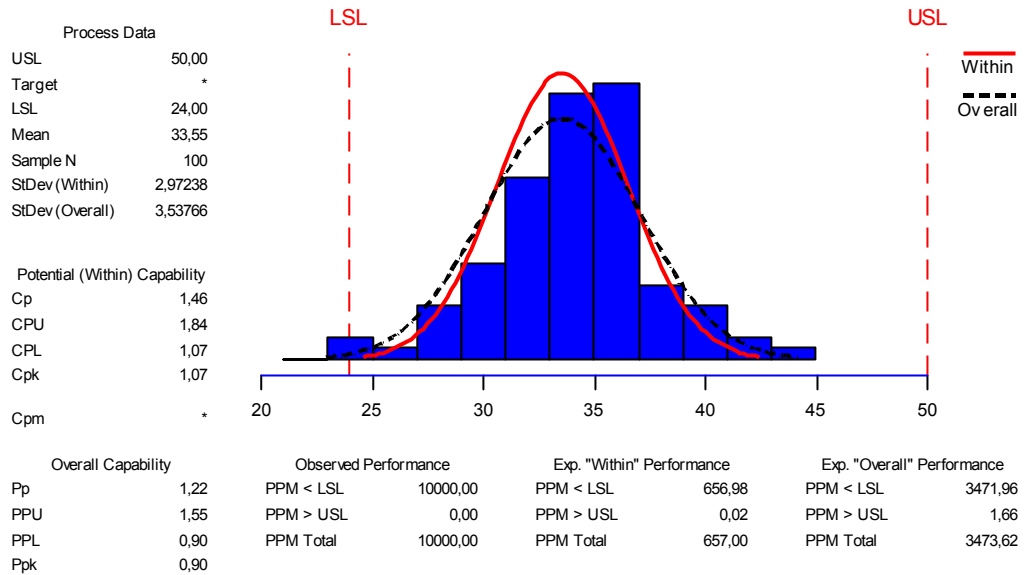
⁹⁵ <http://www.sytsma.com/tqmttools/proccapanal.html>

⁹⁶ Gürsakal –Oğuzlar; Age., s.208.

⁹⁷ Keith M. Bower; <http://www.keithbower.com/SQA/Cpk%20Versus%20Ppk%20-%20html.htm>

$$\begin{aligned}
C_{pk} &= \min \left\{ \frac{USL - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - LSL}{3\hat{\sigma}} \right\} \\
&= \min \left\{ \frac{50.00 - 33.55}{3(2.97238)}, \frac{33.55 - 24}{3(2.97238)} \right\} \\
&= \min \{1.84, 1.07\} = 1.07 \\
P_p &= \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} = \frac{50 - 24}{6(3.53776)} = 1.22 \\
P_{pk} &= \min \left\{ \frac{USL - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - LSL}{3\hat{\sigma}} \right\} \\
&= \min \left\{ \frac{50.00 - 33.55}{3(3.53776)}, \frac{33.55 - 24}{3(3.53776)} \right\} \\
&= \min \{1.55, 0.90\} = 0.90
\end{aligned}$$

biçiminde hesaplanır.⁹⁸ Aynı sonuçlar Şekil 2-12’de gösterilen minitab çıktısında da görülmektedir.



Şekil 2-12:Örnek için C_p , C_{pk} , P_p ve P_{pk} endekslerinin minitab çıktısı

⁹⁸ Breyfogle; Age., s.199.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ALTI SİGMA ORGANİZASYONU VE YOL HARİTASI

Bu bölümde Altı Sigma organizasyonunda rol alan oyuncuların görev ve sorumlulukları, Altı Sigma iyileştirme modeli ve aşamaları, Altı Sigma'nın uygulandığı organizasyonlar ve Altı Sigma'nın hedef ve ilkelerinden bahsedilecektir.

3.1. Altı Sigma'da Roller ve Sorumlulukları

Her konuda olduğu gibi, fırsat, kaynak, yetki, izin verecek olanların istemediği, destek vermediği konularda başarı şansı yoktur. Kuşkusuz bu gerçek altı sigma için de geçerlidir. İşin başında eğitim ve donanım açısından ciddi yatırımlar gerekebilir. Her ne kadar sonuçta kârlı olursa da, önce yatırım yapmak gerekiyor. Dolayısıyla en tepedekilerin bilgilendirilmesi, ilgilenmesi, istemesi, desteklemesi, ortam oluşturmaları ve sıkı bir şekilde takipçi olarak yılmadan arkasında durması gerekiyor ki başarılı olunabilsin.

Altı Sigma hareketinin başarıya ulaşabilmesi için, ölçme ve iyileştirme süreçlerinde çalışacak yeterli nitelikte kadrolara sahip olunmalıdır. Yeşil kuşak, kara kuşak, uzman kara kuşak, hatta bazı işletmelerde sarı kuşak ve beyaz kuşak gibi tanımlamalarla bu kadroların nitelik ve işlevleri belirtilmiş oluyor.¹

Altı Sigma eğitim odaklıdır; ancak, sadece ilgili kişilere ilgili eğitimlerin verilmesi gerektiğini savunur. Dolayısı ile doğru kişinin doğru işe kanallandırılması için süreçler içerisinde kaynak olarak kullanılan kişilerin yetkinliklerinin doğru tanımlanması, doğru işi yapabilmek ve eğitim ihtiyaçlarının tespiti ve değerlendirilmesi için elzemdir. Tüm başarılı sistemlerde üst yönetimlerin katılımcı desteklerinin olduğu görülmektedir. Altı Sigma bizzat üst yönetimler tarafından ortaya konmuş ve uygulanmış bir sistemdir.²

Altı Sigma çalışmasında çeşitli oyunculara adlar verilmiştir. Projeleri saptayan yöneticiler, rehberlik eden ve öğreten gruplar, öncülük eden gruplar, ölçüm araçlarını iyi kullanan gruplar gibi çeşitli gruplara çeşitli isimler verilmiştir.³

¹ Halit Kasa; Altı Sigma Gerçeği, Kalite Forum Dergisi, 2003, s.33.

² İ. İlker Gür; Altı Sigma Trendi Yükselişte, http://www.sistemim.com.tr/article_tr_6sigma.htm

³ Thong N. Goh; A Strategic Assessment of Six Sigma. Quality and Reliability Engineering International, Vol.18, No.2, 2002, ss.403-410.

Altı Sigma'nın başarısı, herkesin oynayacağı rolü çok iyi belirmesine bağlıdır. Bu, denklemin insan gücü tarafıdır. Örneğin bir futbol takımında görev yapan çocuğtan, takım kaptanına kadar herkesin açıkça tanımlanmış bir görevi vardır. Ayrıca bu görev tanımları içerisinde iyi bir iş çıkaramamanın sonuçları ve başarının sağlayacağı ödüller de yer alır. Takımın başarısında bu tanımların rolü büyüktür.

Bu nedenle Altı Sigma organizasyonlarında tüm personele aldıkları eğitiminin türüne göre farklı unvan, yetki ve sorumluluklar verilir. İlk bakışta Uzakdoğu sporlarının yapıldığı bir kulübün organizasyon yapısını andıran bu unvanlar, Altı Sigma'nın uygulandığı organizasyonun yapısı, uygulamanın kapsamı ve projelerin türüne bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bazı şirketler genel kabul gören unvanlara sarı, mavi vb. kuşaklar eklerken, bazıları ise birkaç kuşakla yetinmektedir.⁴

3.1.1. Altı Sigma yürütme kurulu

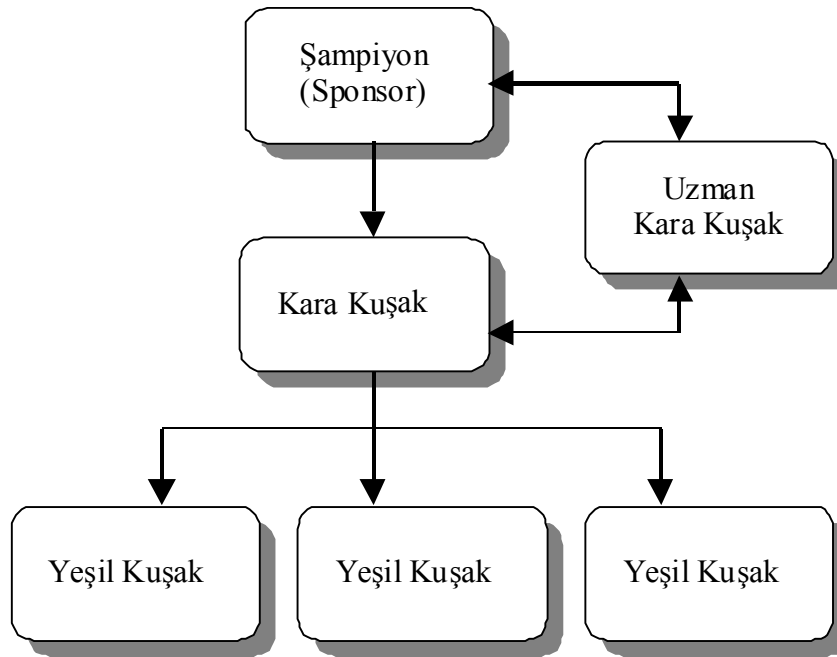
Üst yönetim tarafından oluşturulan kurulun temel görevi; şirket bazında yürütülen Altı Sigma projelerinin etkinliğini sağlamaktır. Bu amaçla aylık dönemlerle toplanan kurulun, sistemin bütünü ve bütünü oluşturan Altı Sigma projelerini tartışması, uygulamalardaki hataları ve sapmaları belirleyerek düzeltmesi beklenmektedir. Kurul içinde süreç lideri olan şampiyonlar, Altı Sigma koordinatörü ve finans bölümünde yöneticilerin bulunması yararlıdır.⁵

Altı Sigma çalışmalarındaki oyuncular arasındaki ilişki Şekil 3-1'de gösterilmiştir. Altı Sigma'da projeler organizasyonun orta kademesinde yer alan Kara Kuşaklar tarafından yürütülür. Eğer üst yönetim bu projeleri yeterli önem ve desteği vermezse hiçbir sonuç elde edilemez. Daha açık bir ifade ile eğer üst yönetim Altı Sigma hakkında bilgi edinmek için zaman harcamaz, bu iş için en nitelikli personeli görevlendirmez ve ihtiyaç duyulan kaynakları sağlamazsa Kara Kuşakların başarı şansı olmayacaktır. Bunun için özellikle büyük çaplı işletmelerde bir üst kalite konseyinin oluşturulması yararlı olacaktır. Bu konseyin başlıca görevleri;⁶

⁴ Türker Baş; Altı Sigma, <http://www.kaliteofisi.com/download/e-kitap.asp>

⁵ S.P.A.C. Altı Sigma Mükemmellik Modeli Nedir?, S.P.A.C. Danışmanlık Şirketi Yayınları, Ankara, 2003, s.63.

⁶ <http://www.altisigma.com/modules.php?name=News&file=article&sid=35>



Şekil 3-1: Altı Sigma çalışmalarında oyuncular arasındaki ilişki grafiği

Kaynak: Hiatt Cathy; Six Sigma, Boise State University Publications, 2001.

- Altı Sigma uygulamalarının kapsamını belirlemek,
- Altı Sigma organizasyonunu ve bu organizasyonda yer alan kişilerin yetki, sorumluluk ve görevlerini belirlemek,
- Altı Sigma uygulamalarının kapsamını, değişen ihtiyaçlara ve işletmenin Altı Sigma konusunda ulaştığı olgunluk düzeyine göre genişletmek ve organizasyon yapısında buna uygun düzenlemeler yapmak,
- Altı Sigma projeleri için gerekli kaynakları sağlamak, proje takımlarının karşılaştıkları büyük problemleri çözmek,
- Altı Sigma projelerini takip etmek ve gerektiği durumlarda müdahalelerde bulunmak,
- Elde edilen olumlu sonuçlar ve iyi uygulamaların tüm şirkette yaygınlaşmasını sağlamaktır.

3.1.2. Sponsor (Şampiyon)

Sponsor, iyileştirme projesini “izleyen” üst düzey yöneticidir. Bu, hassas denge gerektiren önemli bir sorumluluktur. Ekipler, karar verme konusunda serbest

bırakılmalıdır. Bununla birlikte, çalışmalarını yönlendirme konusunda iş liderlerinin rehberliğine ihtiyaç duyarlar. Sponsorun görevleri arasında şunlar bulunur:⁷

- Yönetimleri altındaki iyileştirme projelerinin genel hedeflerini saptamak, korumak ve bu hedeflerin iş öncelikleriyle uyumlu olduğundan emin olmak
- Gerektiği takdirde, bir projenin yönü ya da kapsamı konusunda yol göstermek, yapılacak değişiklikleri onaylamak
- Projeler için kaynak bulmak ve görüşmeler yapmak
- Ekibi, Liderlik Ekibi önünde temsil etmek ve ekibin savunuculuğunu yapmak
- Ekipler arasında ya da ekiplerle ekip-dışı kişiler arasında oluşan sorunların ve mükerrer çalışmaların ortadan kaldırılmasına yardımcı olmak
- Bir iyileştirme projesinin bitiminde, projenin sorunsuz bir biçimde devredilmesini sağlamak için süreç sahipleri ile çalışmak
- Süreç iyileştirmesi konusunda kazandıkları deneyimi, kendi yönetim süreçlerinde uygulamak

Sonuç itibarıyla şampiyonlar, projeleri belirleyen kıdemli yöneticilerdir. Bunlar, Altı Sigma çalışmalarının başarısından sorumlu kişilerdir. Projelere kaynak sağlar, onaylar ve varsa aksaklıkları giderir. Şampiyonların kalite programında tam zamanlı çalışmaları gerekmemektedir. Şampiyonlar bir hafta eğitimden geçerler.⁸

3.1.3. Uzman kara kuşaklılar

Uzman kara kuşaklılar Altı Sigman'ın felsefesini, amaçlarını ve uygulamasını derinliğine kavramış kişilerdir. Tam zamanlı olarak çalışırlar. Ekipleri ve ekip liderlerini veya kara kuşakları desteklerler. Ekibe teknik uzmanlık sağlarlar. Ekibin başarısını engelleyen faktörleri devre dışı bırakmada yardımcı olurlar. Ekibin üyelerini ve amaçlarını belirlerler. Üst yönetime gelişim raporlarını sağlayan ve projeleri biçimsel şekle dönüştürenler de onlardır.

Uzman kara kuşaklılar hem istatistiği iyi kullanabilmelidirler hem de grup çalışmalarına uygunluk ve iletişim yeteneğine sahip olmalıdırlar. Altı Sigma araçlarının

⁷ Robert P. Neuman - Peter S. Pande - Roland R. Cavanagh; Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri, Çev: Nafiz Güder, Dharma Yayınları, İstanbul, 2002, s.153.

⁸ Robert Slatter; Jack Welch ve General Electric'in Yolu, Çev: Tükan Arıkan ve Saadet Özkal, Literatür Yayınları, İstanbul, 2000, s.219.

yayılmasından ve kullanımından sorumludurlar ve projeleri başarıya yönlendirerek yönetirler. Ayrıca uzman kara kuşaklılar şu görevleri üstlenirler:⁹

- Altı Sigma'nın uzun dönem teknik vizyonundan sorumludur.
- Kara kuşaklıların eğitilmesinden sorumludurlar.
- Teknik beceri, güçlü ve güvenilir liderlik özelliklerine sahiptir.
- Proje sponsoruna rapor verir.

Uzman kara kuşaklılar, kara kuşaklılara rehberlik edip, denetlerler. Öğretim ve rehberlik edebilme yetenekleri gelişmiş kişilerdir. Bunların, öğretebilmek ve rehberlik yapabilmeleri için en az iki hafta eğitime tabi tutulmalıdırlar.¹⁰

Bir uzman kara kuşaklıının toplam dört hafta boyunca eğitim görmesi gerekir. Her hafta alması gereken eğitim konuları Tablo 3-1'de gösterilmiştir.

Tablo 3-1: Bir uzman kara kuşaklıının dört hafta boyunca öğrenmesi gereken konular

1. Hafta	2. Hafta
Altı Sigma'nın özü ve TÖAKİ yol haritası Süreç haritaları Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) İstatistiksel paket programlarını kullanabilme Kalite fonksiyonunun yayılımı (QFD) Süreç yeterliliği analizi Ölçme sistemi analizi (GAGE)	Birinci haftanın bir özeti İstatistiksel düşünme yeteneği Hipotez testleri ve güven aralıkları Çok değişkenli analiz ve regresyon Korelasyon Ekip değerlendirme
3. Hafta	4. Hafta
Varyans analizi (ANOVA) Çoklu regresyon Deney tasarımı (DOE) Faktöryel deneyler Kesirli faktöryeller Dengeli blok tasarımları Tepki düzeyi tasarımı	Hata doğrulama Kontrol planları Ekip geliştirme Paralel özel kesikli ve sürekli süreçler Son alıştırmalar

Kaynak: Hahn J Gerald, Hill J. William, Hoerl W. Roger, Zinkgraf A Stephen, "The Impact of Six Sigma Improvement - A Glimpse Into the Future of Statistics", The American Statistician, Vol. 53, Number 3, 1999, s.208-215

⁹ Necmi Gürsakal - Ayşe Oğuzlar; Altı Sigma, Vipaş A.Ş., Bursa, 2003, s.66.

¹⁰ Slatter; Age., s.219.

3.1.4. Kara kuşaklılar (ekip liderleri)

Kara kuşaklılar kilit süreçler üzerinde odaklanan, sampiyonlara sonuçları raporlayıp sunan ve ekip elemanlarına öncülük eden tam zamanlı kalite uygulayıcılarıdır. Bunlar, müşteri isteklerini dikkate alıp aynı zamanda verimliliği arttıran kilit süreçleri tanımlama, ölçme, analiz etme, iyileştirme ve kontrol etme ile sorumludur.¹¹

Altı Sigma'da görev alacak Kara Kuşaklıların bilmesi gereken 101 nokta vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:¹²

- Genelde bir Altı Sigma kara kuşaklısı nicel düşünmeye yönelik olmalıdır.
- Amaca ulaşmak için örnek olaylar oluşturabilmelidir.
- Amaçlarına ulaşabilmek için ayrıntılı planlar yapabilmelidir.
- Amaçlara yönelik gelişimi, müşterilere ve liderlere anlamlı gelen ölçülerle ölçmelidir.
- Altı Sigma ile elde edilen kazançları devam ettirebilmek için kontrol sistemlerinin nasıl kurulacağını bilmelidir.
- İlk hedefleri yakaladıktan sonra bile sürekli gelişimin mantığını anlamalıdır.
- Farklı sigma düzeyleri arasındaki ilişkileri bilmelidir.
- Farklı sigma düzeyleri ile kötü kalite maliyeti (COPQ) arasındaki ilişkiyi bilmelidir.
- Müşteri taramalarından ele edilen verilerin nicel olarak nasıl analiz edilebileceğini bilmelidir.
- Altı Sigma'da rol alacak kişilerin görevlerini bilmelidir.
- Farklı tarama sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olup olmadığını belirleyebilmelidir.
- Kalite fonksiyonu yayılımı (QFD) matrisini tamamlayabilmelidir.
- Bir projenin başabaş noktasını hesaplayabilmelidir.
- Kötü kalite maliyetleri tablosu zaman serisi şeklinde verildiğinde, trend analizi yapabilmelidir.

¹¹ Slatter; Age., s.220.

¹² Thomas Pzydek; Six Sigma Handbook, McGraw Hill Inc., New York, 2001, s.78.

- Bir veri kümesi verildiğinde yanlılık, tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik, kararlılık, doğrusallık gibi sistematik analizleri yapabilmelidir.
- Bir veri kümesi verildiğinde verilere ait merkezi eğilim, değişkenlik, frekans dağılımı belirleyebilmeli ve histogramlar oluşturabilmelidir.
- Hangi durumlarda parametrik olmayan yöntemleri uygulayacağını bilmelidir.
- Poisson, binom, hipergeometrik, normal, üstel, Ki-kare, t ve F gibi sık kullanılan dağılımları bilmelidir.
- Varyans analizine ilişkin varsayımları bilmeli, verilere dönüşüm tekniklerini seçip uygulayabilmelidir.
- Deney tasarımlarının ilkelerini bilip deney tasarımı yapabilmelidir.
- Alt gruplara ayrılmış bir veri kümesi verildiğinde, doğru kontrol grafiğini seçmeli ve belirli bir sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verebilmelidir.
- Alt gruplara ayrılmış, kontrol altında veriler verildiğinde süreç yeterlilik analizi yapabilmeli ve yorumlayabilmelidir.
- Kontenjans tablolarına Ki-kare analizi uygulayabilmelidir.
- Doğrusal, eğrisel ve çoklu regresyon analizleri yapabilmelidir.
- Hata türü ve etkileri analizi (FMEA-HTEA) yapabilmeli ve sonuçlarını anlayabilmelidir.
- Deney için veriler verildiğinde, hangi temel etkilerin anlamlı olduğunu belirleyebilmeli ve bu faktörlerin etkilerini ifade edebilmelidir.
- Bir deneyin sonuçlarını değerlendirebilmelidir.
- Benchmarking'in kısıtlamalarına ve ilkelerine uymalıdır.
- Dayanıklılık ve stres dağılımları verildiğinde, bozulma olasılıklarını hesaplayabilmelidir.
- Altı Sigma yaklaşımının kısıtlarının farkında olmalıdır.

3.1.5. Yeşil kuşaklılar (ekip elemanları)

İyileştirme takımı üyelerine verilen addır. İyileştirme faaliyetlerini bizzat yürüten icracı personelden oluşur. Yeşil kuşakların, temel ölçüm ve analiz yöntemlerini

iyi derecede bilmeleri ve bilgisayar yazılımları yardımı ile analizleri çok rahat yapabilecek yeterlilikte olmaları gerekmektedir.¹³

Yeşil kuşaklıların eğitimleri iki haftadır. Bu eğitimler, TÖAİK modelinin uygulamalarına, proje planlamasına, proses analizi ve istatistiksel analize dayanır.¹⁴

Bir yeşil kuşaklının görevleri kısaca şöyle sıralanabilir:¹⁵

- Altı Sigma projelerinde siyah kuşaklıların hedeflerine ulaşmasını sağlamak için belirgin alanlarda kısmi zamanlı çalışırlar.
- Altı Sigma yaklaşımını günlük işleriyle birleştirirler.
- Mini projeleri bizzat üstlenirler.

Yeşil kuşaklılar Altı Sigma'nın temel araçlarını, özellikle ölçme aşamasında kullanılan araçları iyi bilen ve kara kuşak projelerinde ekip elemanı olarak çalışan kişilerdir. Projeler üzerinde tam zamanlı olarak çalışmazlar. Ancak şirketteki diğer işlerini yaparlarken Altı Sigma projeleri üzerinde çalışırlar.¹⁶

3.2. Altı Sigma İyileştirme Modeli ve Aşamaları

Altı Sigma yaklaşımının temel görevi süreç iyileştirmeye dayanan ölçüm stratejilerinin uygulanması ve Altı Sigma ile geliştirilen projelerin uygulama sürecindeki değişimlerinin azaltılmasıdır. Bu durumda kısa adı TÖAİK (DMAIC^{*}) olarak bilinen Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol aşamalarından oluşan model ile kısa adı TÖADD (DMADV^{**}) olarak bilinen Tanımlama, Ölçme, Analiz, Dizayn ve Doğrulama aşamalarından oluşan yöntemler kullanılarak başarıya ulaşılır. TÖAİK, mevcut sürecin iyileştirilmesidir. TÖADD ise Altı Sigma kalite düzeyinde yeni süreçler veya yeni ürünler geliştirmek için kullanılan daha ileri bir yöntemdir.¹⁷

Bilimsel metodun işletme faaliyetlerine uygulanmasında kullanılan çok sayıda iyileştirme modeli bulunmaktadır. Ancak bu modellerin hemen hemen hepsi Deming'in

¹³ Türker Baş; Altı Sigma, <http://www.kaliteofisi.com/download/e-kitap.asp>

¹⁴ Maryann G. Billington and Peter J. Billington, Ph.D., Six Sigma: Quality Performance, July, 2003, ss.71-76.

^{*} DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve, Control İngilizce kelimelerinin baş harfleridir.

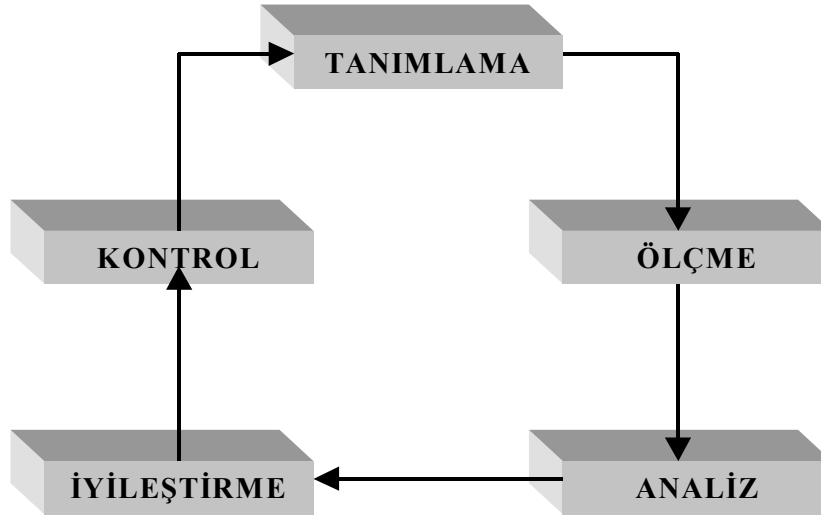
¹⁵ Gürsakal-Oğuzlar; Age., s.76.

¹⁶ Slatter; Age., s.220.

^{**} DMADV: Define, Measure, Analyze, Design, Verify İngilizce kelimelerinin baş harfleridir.

¹⁷ Charles, Waxer. Six Sigma Cost and Saving, <http://www.isixsigma.com/library/bio/cwaxer.asp>

PUKÖ–Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem al döngüsüne dayanır. Temel olarak PUKÖ modelinden büyük bir farklılık göstermeyen TÖAIK modelinde sadece ölçme ve iyileştirme süreçleri özel olarak vurgulanmış ve bu süreçler ayrı birer aşama olarak ifade edilmiştir.¹⁸ Altı Sigma süreç iyileştirme modelinin aşamaları Şekil 3-2’de gösterilmiştir.



Şekil 3-2: Altı Sigma TÖAIK (DMAIC) problem çözme modeli grafiği

Kaynak: [http:// www.spac.com.tr](http://www.spac.com.tr)

3.2.1. Tanımlama

Bu safhada ilgili projenin kapsamı ve amacı tanımlanır. Dikkat edilmesi gereken; seçilen projenin firmanın imkânları dahilinde olması, daha yüksek bir kalite yakalama ve maliyetleri azaltma ihtimalinin yüksek olmasıdır. Ayrıca problemlerin net ve sayısal verilerle tanımlanması gerekir.¹⁹

Tanımlama aşamasında proje ekibi ve program oluşturulur, müşteriler ile ihtiyaçları ve beklentileri belirlenir ve doğrulanır. Bu durum maddeler halinde şöyle sıralanabilir:²⁰

- Altı Sigma ekibinin işini yapabilmesi için, bir amaç ve motivasyon sağlayan bir tüzük oluşturmak
- Müşteri ihtiyaçları ve beklentilerini belirlemek

¹⁸ <http://www.arveo.port5.com/6sigma.html>

¹⁹ Waxer Charles; Six Sigma Cost and Saving, <http://www.isixsigma.com/library/bio/cwaxer.asp>

²⁰ George Eckes; Herkes İçin Altı Sigma, MediaCat Kitapları, İstanbul, 2005, s.35.

- Bir yüksek düzey süreç haritası çıkartmak

Bir projenin konusu belirlendikten sonra, tanımlama safhasında kullanılacak takip tekniklerinin belirlenmesi için Tablo 3-2’den yararlanılabilir.

Tablo 3-2:Tanımlama süreci takip tablosu

Adımlar	Sorulacak Soru	Kullanılacak Teknik
Fırsatların belirlenmesi	Neden buradayız?	Problemin belirlenmesi
	Amacımız nedir?	Amaç ağacı
	Organizasyonun veya takımın değerleri ile ortak bir çalışma yaptığımızdan nasıl emin olabiliriz?	Proje / Takım tutanağı
	Ne kadar zamanımız var?	Proje planı
Proje alanı	Müşterilerimiz kimler ve ne istiyorlar?	Müşteri istekleri
	Tedarikçilerden neler istiyoruz?	Tedarikçi istekleri
	Sistemimiz nasıl çalışıyor?	Değer akış şeması
	Sorun nerede ve ne zaman oluştu?	Sorun belirleme çalışması
	Sorun hangi sıklıkla meydana geliyor?	Pareto analizi

Kaynak: [http:// www.honeywell.com](http://www.honeywell.com).

Tanımlama safhasında en çok kullanılan teknik araçlar şunlardır:²¹

- Proje Yönetimi
- Kano Model
- Proses Akış Şeması
- Sebep-Sonuç Diyagramı
- Örnek Edinme
- Yakınlık Diyagramı
- Kritik Kalite Faktörleri Ağacı

3.2.2. Ölçme

Altı Sigma uygulanmasının ikinci aşaması ölçüm aşamasıdır. Mevcut sigma performansı, bazen Altı Sigma’nın stratejik düzeyinde olduğundan daha ayrıntılı bir şekilde, bu ikinci aşamada ölçülür.²²

²¹ Michael, L. George. Lean Six Sigma, McGraw-Hill Inc., New York, 2002, s.172.

Ölçme aşamasının amacı, varolan proses durum ve problemlerinin gerçeklere dayanan bir anlayış içinde oluşturulması ile problemlerin kaynak veya yerlerinin işaret edilmesidir. Bu bilgi analiz safhasında araştırmamız gereken potansiyel nedenlerin alanlarını daraltmamız konusunda bize yardımcı olur.²³ Ölçme safhasında kullanılacak takip tekniklerinin belirlenmesi için Tablo 3-3'den yararlanılabilir.

Tablo 3-3: Ölçme süreci takip tablosu

Adımlar	Sorulacak Soru	Kullanılacak Teknik
Mevcut durumun analizi	Hangi girdiler performansı etkiliyor?	Müşteri-Süreç matrisi
	Hangi girdiler çıktıları etkiliyor?	Detaylı akış şeması
	Süreç ne kadar?	Ürün akış şeması
	Mevcut sürecin maliyeti ne kadar?	Süreç maliyet tekniği
	Hangi işler ofis içinde dolaşıyor?	Fiziksel dizilim
	Hangi işler bölümler arası dolaşıyor?	Fonksiyonel süreç haritası
	Kaç farklı değişken var?	Histogram veya nokta taslağı
İstenilen sonucu belirleme	Çevrim zamanını nasıl azaltabiliriz?	“Olmalı” akış şeması
	Çeşitliliği azaltmak için ulaşılacak hedef nedir?	Kontrol tablosu

Kaynak: [http:// www.honeywell.com](http://www.honeywell.com).

Ölçme safhasında en çok kullanılan teknik araçlar şunlardır.²⁴

- Veri Toplama Planı
- Çetele Diyagramı
- Frekans Poligonları
- Ölçüm Sistemi Analizi (Tekrar Edebilme ve Yeniden Üretebilme)
- Pareto Şeması
- Hata Tipi ve Etkileri Analizi (HTEA)
- Süreç Yeterliliği ve Süreç Sıması
- Kontrol Grafikleri

Tablo 3-4, ölçümün gerçekleşmesi gereken üç alanı göstermektedir. Bu üç alan, müşteri için önemli olan çıktı ölçütleri, işi yapmanız için önemli olan girdi ölçütleri ve sürecin kendisini merkez alır.²⁵

²² Eckes; Age., s.35.

²³ Rath&Strong Management Consultants. Six Sigma Pocket Guide, 2nd printing, Massachusetts, 2001, s.21.

²⁴ http://www.geocities.com/alti_sigma/

Tablo 3-4: Ölçümleme gerektiren alanlar

Süreç Ölçütleri (Sizin Verimliliğiniz)	Girdi Ölçütleri (Tedarikçi Etkililiği)	Çıktı Ölçütleri (Sizin Etkinliğiniz)
Süreç verimliliği ölçütleri: • Döngü süresi • Maliyet • Değer • İşgücü	Tedarikçilerinize verilen anahtar kalite ölçütleri	Müşterilerinizin beklentilerini ne kadar karşıladığınızın/aştığınızın ölçütleri

3.2.3. Analiz

Altı Sigma taktiklerinin uygulanmasının üçüncü adımı, analiz aşamasıdır. Bu aşamada ekip, verilerin ve sürecin kendisini analiz ederek, sonunda sürecin kötü sigma performansının kökündeki nedenleri belirler.²⁶ Analiz aşamasında problemlerin temel nedenleri hakkında teoriler geliştirilip, bu teorileri verilerle doğrularak problemlerin temel nedenleri tanımlanır. Doğruları kanıtlanan neden veya nedenler bir sonraki aşamada tartışılıp, çözümlerin oluşturulması için temel teşkil eder.²⁷

Analiz aşamasında yaygın olarak kullanılan araçlar şunlardır:²⁸

- Yakınlık Diyagramı
- Beyin Fırtınası
- Sebep-Sonuç Diyagramı
- Örnekleme
- Hipotez Testleri
- Regresyon Analizi
- Dağılım Diyagramları

Analiz aşaması pek çok kişi tarafından DMAIC yaklaşımındaki en önemli adım olarak görülür. Bunun nedeni, pek çok proje ekibinin süreci iyileştirmek için ne

²⁵ Eckes; Age., s.42.

²⁶ Eckes; Age., s.35.

²⁷ Rath&Strong Management Consultants. Six Sigma Pocket Guide, 2nd printing, Massachusetts, 2001, s.95.

²⁸ <http://arveo.port5.com/6sigma.html>

yapılması gerektiğine dair önceden oluşmuş kriterlerin olmasıdır. Ölçümden sonra hemen iyileştirmeye atlamak isterler. Bir örnek bu durumu anlatmaya yardımcı olacaktır. Eski Denver havaalanı, Stapleton, çok fazla rötar yapılmasından şikayetçiydi. Heyecanlı politikacılar rötarın nedenlerini ortaya çıkaracak araştırmalar yapma zahmetine girmedi. Fakat yapmış olsalardı Stapleton'daki rötarların ardındaki köklü nedenin sınırlı sayıdaki paralel pistler olduğunu görecektlerdi. Bu analiz yapılmadan hemen istedikleri sonuca atladılar: Yeni bir havaalanı. Ne yazık ki yeni havaalanının yapılması pahalıydı ve yerel kullanıcılar için bu havaalanı uygun değildi.

Altı Sigma proje ekipleri Denver'daki politikacılar gibi değildir. Pek çok ekip, problemin neden var olduğunu doğrulamadan sürecin iyileştirme safhasına atlamak ister. Bu yüzden, ekiplerin verileri ve/veya süreçleri analiz etmesi ve son olarak bir ekip olarak başarılı olmak istiyorlarsa Kök Neden Analizi gerçekleştirmesi hayati önem taşır.²⁹

3.2.4. İyileştirme

Müşteri tatmini, ancak süreçlerin iyileştirilmesi ile mümkündür. Süreçlerin iyileştirilmesi ise verilere bağlıdır. Altı Sigma, süreç iyileştirme açısından veri odaklı sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.³⁰

İyileştirme aşamasında nedenleri ortadan kaldırmayı hedefleyen çözümler geliştirilir, uygulanır ve değerlendirilir. Bu aşamada amaç, verileri kullanarak ortaya konulan çözümün, problemi çözdüğü ve gelişme için yol gösterici olduğunu göstermektir.³¹

Bu aşamada yaygın olarak kullanılan araçlar şunlardır:³²

- Deney Tasarımı
- Beyin Fırtınası
- Akış Diyagramları
- Hata Tipi ve Etkileri Analizi
- Hipotez Testleri

²⁹ Eckes; Age., s.48-49.

³⁰ Gwen Fontenot., Alicia Gresham, Ravi Behara, "Six Sigma in Customer Satisfaction", Quality Progress, Aralık 1994, s.73-75.

³¹ Rath&Strong Management Consultants. Six Sigma Pocket Guide, 2nd printing, Massachusetts, 2001, s.151.

³² [http:// www.procen.com](http://www.procen.com)

- Paydaş Analizi

Eğer proje ekibi, Analiz aşamasının Kök Neden Analizi adımı kapsamlı bir iş çıkarırsa, TÖAİK'nin İyileştirme aşaması, hızlı, kolay ve tatmin edici bir şekilde gerçekleştirilebilir. İyileştirmenin de iki istasyonu vardır: Çözüm üretme ve çözümler arasından seçim yapma.

Çözümleri uygularken proje ekibinin çözümleri öncelik sırasına koyması, bunları gruplar halinde bir seferde uygulaması ve uygulamanın hemen ardından sigmanın yeniden hesaplanması tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni çoğu zaman proje ekibinin hedef ve amaçlarına, önerilen çözümlerin hepsini uygulamadan ulaşılacak olmasıdır.³³

3.2.5. Kontrol

İyileştirme aşaması sonucunda ortaya konulan çözüm ve uygulamaları kalıcı kılmak ve sürekli kontrol altında tutmak için uygulanan bir aşamadır. Kontrol aşaması sonucunda zamanla yeni metot veya metotların geliştirilmesi sağlanabilir.³⁴

Bu aşamada yaygın olarak kullanılan araçlar şunlardır:³⁵

- Ölçülebilir Değişkenler İçin Kontrol Grafikleri

$\bar{X} - R$ Grafikleri

$\bar{X} - S$ Grafikleri

Ortanca Değer Diyagramları

- Sayılabilir Değişkenler İçin Kontrol Grafikleri

p Diyagramları

np Diyagramları

c Diyagramları

u Diyagramları

- Diğer Kontrol Grafikleri

CUSUM Kontrol Grafikleri

EWMA Grafiği

- Zaman Serileri Metotları

³³ Eckes; Age., s.65.

³⁴ Rath&Strong Management Consultants. Six Sigma Pocket Guide, 2nd printing, Massachusetts, 2001, s.163.

TÖAİK'nin son aşaması olan kontrol aşamasında iki istasyon vardır; kontrolün teknik metodunun belirlenmesi ve tepki planının oluşturulması. İyileştirme gerçekleşikten sonra, çözümlerin zaman içerisinde “kalıcı” olduğundan emin olmak önemlidir.

Teknik kontrol metodu, yeni süreçten ne kadar çıktı geçtiğini ve yeni sürecin ne kadar standardizasyona sahip olduğunu baz alır. Tablo 3-5'te, çıktı ve standardizasyon düzeyinde hangi teknik aracın kullanılacağını belirten bir matris gösterilmiştir. Kontrolün ikinci istasyonu olan tepki planı ise, görünüşte veri toplama planına benzer. Burada sürecin müşterileri tarafından doğrulanmış spesifikasyonları ve hedeflerini, hangi veri toplama şekillerinin kullanıldığını, ekip tarafından seçilen kontrol yöntemlerini ve en göze çarpan süreç iyileştirmelerini kronolojik sırayla verir.³⁶

Tablo 3-5: Süreç çıktısı- standardizasyon matrisi

Yüksek standardizasyon Düşük çıktı %15	Yüksek standardizasyon Yüksek çıktı %80
Yüksek standardizasyon Düşük çıktı <%1	Düşük standardizasyon Yüksek çıktı %5

3. 3. Altı Sigma'nın Uygulandığı Organizasyonlar

Günümüz işletmelerinde rekabet artarak devam ettikçe üretim ve hizmet organizasyonlarının daha verimli ve etkili hale gelmeleri gerekmektedir. Üretim organizasyonlarında verimlilik ve kalite artarken maliyet azalmalıdır. Hizmet organizasyonlarında ise, müşteri tatmini artırılmalı ve çevrim süresi kısaltılmalıdır. İşletmeler devamlılıklarını sağlayabilmek için bu şartları yerine getirmelidir. Son yıllarda Altı Sigma kavramı işletmelerin hayatlarını devam ettirebilmeleri için ulaşılması gereken bir hedef olarak benimsenmiştir.³⁷

³⁵ http://www.sei.cmu.edu/str/descriptions/sigma6_body.html

³⁶ Eckes; Age., s.66-67.

³⁷ Forrest W. Breyfogle; Implementing Six Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods, John Wiley and Sons, New York, 1999, s.39.

Sigma düzeyleri üretim ve hizmet sektörlerinde farklı farklı karşımıza çıkmaktadır. Bu durum Tablo 3-6’de gösterilmiştir.

Tablo 3-6: Üretim ve hizmet sektöründe sigma düzeyi ile kalite anlayışı

Süreç Sigması	Milyonda Hata	Başarı (%)	Hizmetler	Üretim
0	933000	6.7		
1	691000	30.9	Zayıf	
2	309000	69.1	Orta	Zayıf
3	66800	93.32	İyi	Orta
4	6210	99.379	Çok iyi	İyi
5	233	99.9767	World-Class	Çok iyi
6	3.4	99.99966		World-Class

Kaynak: Mulbury Consulting, Six Sigma Calculator, http://www.eurosixsigma.com/sixsigma/sigma_calc.htm

Tablo 3-7: Süreç aşamaları, süreç iyileştirme ve süreç tasarlama arasındaki ilişki

Aşamalar	Proses İyileştirme	Proses Tasarlama
Tanımlama	• Sorunu belirleme • İstekleri tanımlama • Amaçları ortaya koyma	• Özel sorunları tanımlama • Amaçları tanımlama • Müşteri istekleri
Ölçme	• Sorunu / Süreci Onaylama • Sorunu / amacı inceleme • Anahtar adımları ölçme	• Gerçekleşen istekleri ölçme • Süreç verimlilik verilerini Toplama
Analiz	• Hipotezler geliştirme • Sebepleri ortaya koyma • Hipotezleri geçerli kılma	• Doğru yöntemleri tanımlama • Süreci değerlendirme • İstekleri inceleme
Geliştirme	• Sebepleri ortadan kaldıracak çözümler üretme • Test sonuçları • Sonuçları ölçme	• Yeni süreci tasarlamak • Yeni süreci uygulamak
Kontrol	• Sağlanan başarıyı ölçme • Sorunları düzeltme	• Sağlanan başarıyı ölçme • Sorunları düzeltme

Kaynak: Neuman P. Robert-Pande S. Peter- Cavanagh R. Roland; Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri, Çev: Nafiz Güder, Dharma Yayınları, İstanbul, 2004.

Altı Sigma yönteminde kullanılan TÖAİK (DMAIC) modeli hem süreç iyileştirme hem de süreç tasarlama aşamalarında kullanılır. Her bir aşama ile süreç iyileştirme ve süreç tasarlama arasındaki ilişki Tablo 3-7’te gösterilmiştir.

Altı Sigma yöntemi hem üretim hem de hizmet sektöründe uygulanabildiği gibi ayrıca ürün geliştirme ve tasarımında da uygulanabilmektedir.³⁸ Fakat üretim, hizmet, ürün geliştirme ve tasarımı Altı Sigma çalışmalarında birbirlerinden farklılıklar göstermektedir.³⁹ Aşağıda bu üç değişik süreç hakkında kısa bilgiler verilecektir.

3.3.1. Üretim süreçlerinde Altı Sigma

Son yıllarda çeşitli imalat ve denetim sertifikalarına (ISO 9000 gibi) duyulan ilgi, pek çok şirketin iyileşme çabalarını baltalamıştır. Bununla birlikte, bir süreç bir kez “sertifikalı” olduktan sonra kanunmuş gibi kabullenilir. Sertifikalı bir ortamda en sık rastlanılan durum ise, bir süreç bir kez yazıya dökülüp onayladıktan sonra, artık onu iyileştirmenin bir cehennem azabı olmasıdır.⁴⁰

Ürünlerdeki değişkenlik göz önüne alındığında, karmaşık elektronik ya da mekanik parçalardaki akımda, ölçülerde ya da ağırlıkta parçadan parçaya ortaya çıkan değişkenlikler, bazen bütün parçayı işe yaramaz hale getirecek kadar üst üste birikebilir. Bu durumu dikkate alan büyük firmalar Altı Sigma yaklaşımını ilk önce üretim süreçlerine uygulamışlardır.

Bazı büyük firmaların imalat sektöründe Altı Sigma yöntemini süreçlerine nasıl uyguladıkları şu şekilde sıralanabilir:⁴¹

- IBM firması, ürün işlem zamanları üzerinde bazı çalışmalar yaparak azalan veya artan işlem zamanlarının ürünün güvenilirliğini nasıl etkilediğini ortaya çıkarmayı başarmıştır. Ayrıca bu firma, baskılı devre kartlarında oluşan hataların azaltılması amacıyla deney tasarımını kullanmıştır. Bunun sonucu olarak da, kalitesiz lehimleme ve köprü sayısının azaltılması ile imalat sürecini iyileştirmiştir.

³⁸ Fred R. McFadden; Six Sigma Quality Programs, Quality Progress, June 1993, s.37.

³⁹ Micheal J. Fisher; Six Sigma and the Service Culture, Six Sigma Forum Magazin, 2001, www.sixsigmaforum.com/articles/exec/execssservice.shtml

⁴⁰ Neuman -Pande- Cavanagh; Age., s.94.

⁴¹ http://www.adamssixsigma.com/sample_project/six_sigma_projects.htm

- Rolm firması, kritik plastik parçaların imalatının geliştirilmesi amacıyla deney tasarımını kullanmıştır. Bunun sonucu olarak da yüzey düzgünlüğü ile ilgili süreç yeteneğinin geliştirilmesini sağlayan önemli faktörlerin belirlendiği kendine özgü bir yaklaşım geliştirmiştir.
- Abbot Laboratories firması, deney tasarımından yararlanarak dolum süreci için teçhizat ile ilgili problemi tespit ederek, sonraki teçhizat tedariklerinde, yükleme öncesi deney tasarımı tekniğinin uygulanmasını bir strateji olarak dikkate almıştır.
- Coca-Cola firması, müşterilerden gelen şikâyetleri değerlendirerek ilgili sürecin iyileştirilmesi amacıyla bir strateji geliştirmiştir. Bunun neticesi olarak oluşturulan bir ekip, kilit prosesleri incelemekte ve iyileştirme fırsatlarını belirlemektedir.
- GE'nin Güç Sistemleri Grubu, elektrik şirketinin müşterilerinden birisinin büyük bir memnuniyetsizliğini çözerek müşteri ihtiyaçlarını daha iyi anlayacak bir yaklaşım oluşturmuştur. Bu durum şirketi denetime daha etkin biçimde cevap verebilir duruma getirmiştir.

3.3.2. Hizmet süreçlerinde Altı Sigma

Üretim sektöründe hatalar, hataların nedenleri, verimlilik, teknik özellikler, değişiklik gibi özellikler ölçülürken, hizmet sektöründe ise hizmetin hızı, cevap verme süresi, finansal sonuçlar, müşteri memnuniyeti gibi özellikler ölçülmektedir. Her iki sektör süreç iyileştirmelerde kullandıkları teknikler bakımından da farklılıklar göstermektedir.⁴²

Hizmet süreçlerinin çoğunda “işin ürünü” çıplak gözle görmek çok daha zordur. Örneğin; bilgilendirme, talepler, siparişler, teklifler, sunuşlar, toplantılar, imzalar, faturalar, tasarımlar ve fikirler gibi. Ve şimdi, giderek daha fazla sayıda hizmet sürecinin, bilgisayarlar ve ağlarda işlenen bilgiler üzerine kurulmasıyla, işin ürünü, ekrandan ekrana ya da işlemciden işlemciye aktarılan bir elektron gibi, daha da sanal bir niteliğe bürünmektedir. Hatta e-posta, web ve diğer ağlar sayesinde hizmet esaslı süreçler, dünyanın bir yerinden başka bir yerine bir anda ulaştırılabilmektedir. Bu

⁴² Micheal J. Fisher; Six Sigma and the Service Culture, Six Sigma Forum Magazin, 2001, www.sixsigmaforum.com/articles/exec/exec_ss_service.shtml

durum, küreselleşen ekonomide önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ancak bir işin nasıl yapıldığının anlaşılmasını daha da zorlaştırdığı kesindir.⁴³

Bazı büyük firmaların hizmet sektöründe Altı Sigma yöntemini süreçlerine nasıl uyguladıkları şu şekilde sıralanabilir:⁴⁴

- City of Austin, elemanların işe gelmeme sürelerinin değerlendirilmesi maksadıyla bir strateji geliştirmiştir. Problemin büyüklüğünün ölçümü için kontrol grafiği tekniğini, iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi için de Pareto diyagramını kullanmıştır.
- Seton Medical Center, çalışan elemanlarına yönelik özgün bir geri bildirim incelemesi yapmıştır. Bunun sonucunda üst düzey yöneticiler, geçmiş on iki aylık dönem içerisinde meydana gelen olumlu ve olumsuz değişimleri değerlendirebilecekleri veriler elde etmiştir.
- City of Austin, hava alanındaki inme-binme noktalarındaki tıkanıklığın gözlenmesi ve azaltılması amacıyla bir strateji geliştirmiştir. Bunun sonucunda trafiğin yoğun olduğu zaman dilimlerine ilişkin bir İPK uygulaması ile iyileştirme fırsatları belirlenmiştir.
- Johnston High School, öğrenci devamsızlıkları ile ilgili olarak kontrol grafiği destekli bir izleme sistemi ve deney tasarımına dayalı bir iyileştirme stratejisi geliştirmiştir.
- GE Capital Mortgage, performansı en yüksek olan birimlerden birisinin süreçlerini inceleyerek bu birimlerdeki en iyi uygulamaları diğer 42 birimde de hayata geçirerek, telefonla arayan bir müşterinin bir GE çalışanına bizzat ulaşma oranını %76'dan %99'a yükseltmiştir. Bu iyileşme müşteriler üzerinde arttırılan güven memnuniyetinin yanı sıra, iyileştirilen sürecin bu iş koluna sağladığı kazanç milyonlarca dolar olmuştur.

3.3.3. Ürün geliştirme ve tasarımında Altı Sigma

Kuruluşların başarısı, ürettikleri ürün ve hizmetlerin, zamanında, en düşük maliyetle ve fonksiyonunu yerine getirme yeterliliği ile doğrudan bağlantılıdır. Ürün maliyetinin %75'i tasarım aşamasında belirlenmektedir. Dolayısıyla tasarımda

⁴³ Neuman -Pande- Cavanagh; Age., s.85.

⁴⁴ http://www.adamssixsigma.com/sample_project/six_sigma_projects.htm

yapılacak iyileştirmeler rakiplere karşı önemli üstünlükler sağlayacaktır. Altı Sigma metodunu başarı ile uygulayan firmaların en önemli kazançları Tasarım Süreçlerinde Altı Sigma uygulamalarından elde edilmektedir.⁴⁵

Bir süreci iyileştirmenin iki yolu vardır. Bunlardan birincisi, süreçteki değişkenliği azaltarak hata oranlarını indirmek; diğeri ise, müşteriye ya da tasarım aşamasına gidip müşteri spesifikasyon limitlerinin doğruluğunu sorgulamak ve mümkünse Şekil 3-3’de olduğu gibi doğru limitleri belirleyerek hata paylarını yeniden oluşturmaktır. Kalite kavramını yeterince anlayamamış kişiler bu düzenlemeyi kalitesizliğe dönüş olarak algılayabilirler. Oysa gerçek kalite, tasarım toleranslarının ve değişkenliğinin, müşteri beklentileri doğrultusunda belirlenmesindedir.

İyi bir tasarımcıdan beklenen, müşteri beklentilerini doğru algılaması ve bu doğrultuda, üretim yeterliliklerini de dikkate alarak ürün ve süreç tasarımını yapmasıdır. Bazı durumlarda tasarımcılar kendi tasarımlarını güvence altına almak isteyebilirler. Bu masum istek, üretimde oluşabilecek hatalar ve kalite kontrolcülerin bunları yakalayamama endişesi ile birleşince, önemli maliyet kayıplarına neden olabilecek ürün ve süreçlerin oluşmasına neden olabilmektedir.

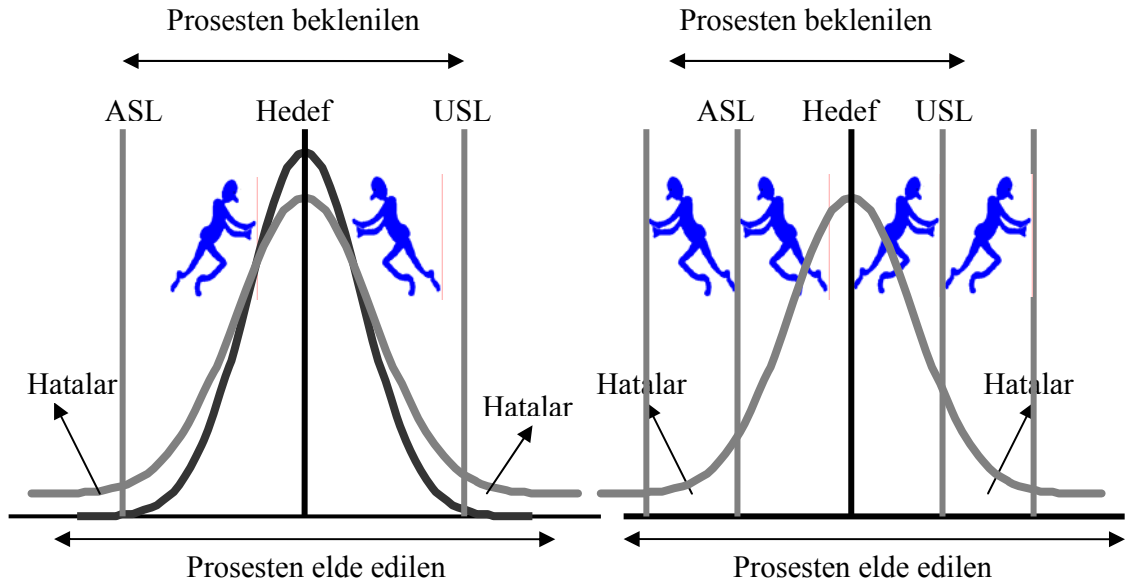
Deneyimler, bir ürünün maliyetinin %70 ile %80’inin tasarım aşamasında belirlendiğini göstermektedir. Üretim aşamasında ise ürün maliyetinin yalnızca %20 ile %30’u ile ilgili iyileştirmeler yapılabilmektedir. Motorola, General Electric gibi yüksek sigma seviyelerine ulaşmış firmalar, bu başarılarını, yalnızca var olan problem çözümleriyle değil, Altı Sigma’yı ürün ve sistem tasarımlarında uygulamalarıyla sağlamışlardır. Burada kullandıkları yaklaşımın adı “Tasarımda Altı Sigma”dır.⁴⁶

Tasarımda Altı Sigma Modeli, tasarım prosesinde kaliteyi gözeterek sorunları önlemek için kullanılır. TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi’nin Rusça kısaltması) gibi yeni yapısal araçların kullanımı ve aksiyomatik tasarım, Altı Sigma yaklaşımının gelecekte daha da pekişmesine zemin hazırlar.⁴⁷

⁴⁵ Akın Polat; Tasarım Sürecinde Altı Sigma: Altı Sigma Metodu’nun Toplam Kalite Yönetimi ve Tasarım Süreçlerindeki Yeri http://www.kalder.org.tr/preview_content.asp?contID=752&tempID=1®ID=2

⁴⁶ S.P.A.C.; Age., s.44.

⁴⁷ Larry R. Smith; Altı Sigma Tasarımı, Çev: Didem Doran, Altı Sigma Forum Magazine, Kasım 2001, ss.23-38.



Şekil 3-3: Müşteri limitleri ve hatalar grafiği

Kaynak: S.P.A.C.; Altı Sigma Mükemmellik Modeli Nedir?, S.P.A.C. Danışmanlık Şirketi Yayınları, Ankara, 2003, s.44.

3.4. Altı Sigma'nın Altı İlkesi

3.4.1. Müşteri odaklılık

Altı Sigma'da en büyük önem, müşteriye odaklanmaya verilir. Altı Sigma performansının ölçümleri müşteri ile başlar. Altı Sigma'nın sağladığı iyileşmeler, müşteri memnuniyeti ve değeri üzerinde yaptığı etki ile tanımlanır. Altı Sigma, işin müşteri gereksinimlerini, erişilen performansın bu gereksinimlere kıyasla ölçümünü neden ve nasıl tanımlayabileceğini, yeni gelişmeleri ve karşılanmamış talepleri nasıl takip edeceğini inceler.⁴⁸

Altı Sigma yönteminde, müşteri beklentileri esas alınarak çapraz fonksiyonlu ekiplerle hedef alanlarda iyileştirme çalışmaları yapılır. Ekipler, firmadaki müşteri tatminini etkileyen tüm süreçleri belirler. Analiz sonucunda toplam müşteri tatmini için iyileştirme çalışmaları yapılır. Bu sonuçlar sadece dış müşteri için değil, aynı zamanda iç müşteri için de başarılı bir şekilde uygulanabilir.⁴⁹

⁴⁸ Arzu Atabek; Üretim ve Kalite İyileştirmede Çağdaş Çözüm: 6 Sigma, Otomasyon Dergisi, Eylül 2004, s:94-97.

⁴⁹ Gwen Fontenot- Alicia Gresham- Ravi Behara; Six Sigma in Customer Satisfaction, Quality Progress, Aralık 1994, s.73-75.

3.4.2. Verilere ve gerçeklere dayalı yönetim

Son yıllarda ölçüme, bilginin yönetimine, bilişim teknolojilerine vb. verilen öneme rağmen iş dünyasında çok sayıda kararın hala fikir ve varsayımlara dayalı olarak alındığı bilinmektedir.⁵⁰

Altı Sigma uygulamalarının ilk basamağı iş performansını tahmin etmek için gerekli anahtar kilitlerin belirlenmesidir. Bu anahtar kilitler daha sonra kritik değişkenleri anlamak ve sonuçları optimize etmek için kullanılır. Daha açık bir ifade ile Altı Sigma, verilere dayalı karar ve çözümleri desteklemek için yöneticilerin şu iki temel soruyu cevaplamalarına yardımcı olur:⁵¹

- Hangi veri/bilgilere gerçekten ihtiyaç var.
- Bu veri/bilgileri en fazla yarar sağlayacak şekilde nasıl kullanabilirim.

3.4.3. Sürece odaklanma, yönetim ve iyileştirme

Altı Sigma’da süreçler eylemin olduğu yerler olarak görülmektedir. Altı Sigma, süreç ne olursa olsun (ürün veya hizmet tasarımı, performans ölçümü vb.), süreci başarının anahtarı olarak görmektedir.⁵²

Bugüne kadar Altı Sigma çalışmalarının en kayda değer atılımlarından biri, süreçlerde başarılı olmanın yalnızca gerekli bir beceri olmadığına, müşterilere bir değer sunarken rekabet gücünü arttıran bir yapı kurma yöntemi olduğuna lider ve yöneticileri ikna edebilmesidir.⁵³

3.4.4. Proaktif yönetim

En basit anlatımla, “proaktif” olmak, olaylardan önce harekete geçmek demektir. Gerçek hayatta proaktif yönetimin anlamı; iddialı hedefler belirlemek ve onları sık sık gözden geçirmek, öncelikleri net olarak belirlemek; sorun çözmekle uğraşmak yerine, sorunların ortaya çıkmasına meydan vermemek; “işlerin yürütülme biçimini” körü körüne savunmak yerine, bunları niçin yaptığımızı sorgulamak demektir.⁵⁴

⁵⁰ Neuman -Pande- Cavanagh; Age., s.45.

⁵¹ <http://www.procen.com.tr/altisigma.htm>

⁵² Erhan Ada - Burcu Aracıoğlu - Yiğit Kazançoğlu; Türk İşletmelerinde Verimlilik Artışı İçin Altı Sigma Yönetim Sistemi Modeli, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi, Haziran 2004, s.1-12.

⁵³ Neuman -Pande- Cavanagh; Age., s.46.

⁵⁴ Neuman -Pande- Cavanagh; Age., s.46.

3.4.5. Sınırsız işbirliği

Sınırsızlık, iş başarısı için Jack Welch'in deyişlerinden birisidir. Şirketin tedarikçileri, müşterileriyle ve şirket çalışanlarının da birbirleriyle kuracakları işbirliğinin getireceği fırsatlar büyüktür. Müşteriye değer oluşturmak için ortak çalışması gereken gruplar arasındaki rekabet ve irtibatsızlıklardan dolayı her gün milyarlarca dolar masada bırakılır. Altı Sigma, insanların büyük resimdeki yerlerini görmelerini ve faaliyetler arasındaki ilişkileri anlamalarını sağlayarak iş birliği fırsatlarını arttırır. Altı Sigma'daki sınırsız işbirliği, karşılıksız fedakârlık anlamında değildir. Bununla birlikte son kullanıcıların gerçek ihtiyaçları ile prosesler arasındaki ilişkilerin anlaşılmasını gerekli kılar. Ayrıca müşteri ve proses arasındaki ilişkiden elde edilen bilginin tüm ilgili şahıs ve birimlere yarar sağlayacak şekilde kullanımını öngörür.⁵⁵

3.4.6. Mükemmele yöneliş, başarısızlığa karşı hoşgörü

Bu son ilke kendi içinde çelişkili gibi görünebilir. Nasıl hem mükemmele ulaşmayı isteyip hem de başarısızlığa karşı hoşgörülü olunabilir ki? İşin özünde, bu iki düşünce birbirini tamamlamaktadır. Hiçbir şirket, yeni düşünceler ve yaklaşımlar üretmeden (ki bunlar da her zaman bir risk taşır) Altı Sigma'ya yakın bir noktaya ulaşamaz. Daha iyi bir hizmete, daha düşük maliyetlere, yeni becerilere vb. götüren (yani mükemmele çok yaklaştıran) bir yol olduğunu gören kişiler, muhtemel başarısızlığın sonuçlarından da çok korkuyorlarsa, hiçbir zaman bu yeni yolu denemeye kalkışmazlar. Bu durumda sonuç: durgunluk, çürüme ve ölümdür.⁵⁶

3.5. Altı Sigma'nın Hedefleri

3.5.1. Hataların azaltılması

Hata veya bir başka deyişle kusur; bir ihtiyaç, beklenti ve spesifikasyonları karşılayamama durumudur. Tedarik edilen parçanın reddi, üretimde yeniden işleme ve hurdanın olması, müşteriden şikâyet gelmesi veya geri dönüşe sebep olan tüm unsurlar “hata/kusur” olarak tanımlanır.⁵⁷

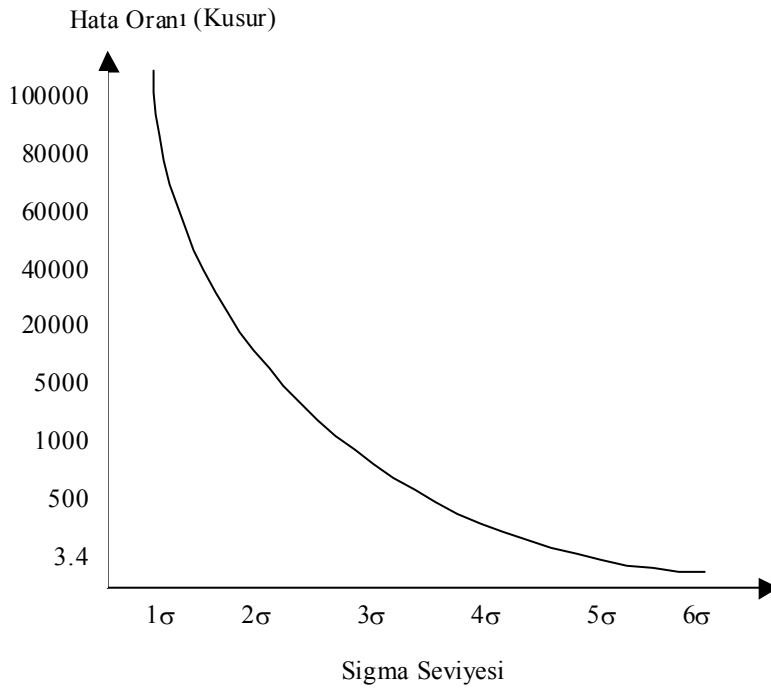
⁵⁵ <http://arveo.port5.com/6sigma.html>

⁵⁶ Neuman -Pande- Cavanagh; Age., s.47.

⁵⁷ Honeywell Authot Team, Corporate Sigma Calculation Methods, Version 3.0, Honeywell

Altı Sigma performansına ulaşmadaki hedef, bir sürecin Altı Sigma'sının yani değişkenliğin standart sapmalarının müşterinin talepleri doğrultusunda belirlenmiş sınırlar içerisine çekilmesi yoluyla, değişkenliği azaltmak ya da daraltmaktır. Bu, pek çok ürün, hizmet ve süreç için çok büyük ve son derecede değerli bir iyileştirme anlamına gelir.⁵⁸

Sigma seviyesi ile hata oranı arasındaki ilişki grafiği Şekil 3-4'te gösterilmiştir.



Şekil 3-4: Proses sigma seviyesi ile hata oranı (DPMO) grafiği

Kaynak: Kevin Linderman; Journal of Operations Management, 2003, s.194

3.5.2. Kalitenin artırılarak maliyetlerin azaltılması

Daha önceleri kalite, mamule yapılan bir katkı olarak değerlendirildiği için kalitenin maliyetlerin artışına sebep olduğu ifade edilmekteydi. Yani klasik anlamda kalite ve maliyet birbirleriyle çelişen bir durum gibi görünüp, kalite artınca maliyetlerin de arttığı kabul edilmekteydi. Günümüzde ise bunun böyle olmadığı yani kaliteye yapılan bir birimlik harcamanın, maliyeti aynı oranda artırmadığı, hatta belli bir zaman sonra maliyetlerde bir düşmeye sebep olduğu görülmüştür.⁵⁹

⁵⁸ Neuman -Pande- Cavanagh; Age., s.55.

⁵⁹ Selami Özcan; ISO 9000 Standartlarının Uygulanmasında Ortaya Çıkan Kalite Maliyetleri Analizi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 1998, s.243-244.

Bugün artık düşük kalitenin üretici firmalar için daha maliyetli olduğu kabul edilmektedir. Birçok üretici firmanın ‘kalite maliyeti yüksektir’ düşüncesi ile kaliteyi düşük tuttuğu ve pazar payını kaybettiği bir gerçektir. Geçmişte uygulanan geleneksel maliyet muhasebesi teknikleri, sadece çıktıların miktarına önem verilmesine, kaliteli mamul üretimine gereken önemin verilmemesine ve dışarıdan hammadde/malzeme tedarikinde sadece satın alma fiyatının dikkate alınmasına sebep olmuştur.⁶⁰

Altı Sigma etkin bir şekilde uygulandığında:⁶¹

- Yüksek kalitede bir ürünü ilk seferde üretememek, yeniden işleme, hurdaya ayrılan ürünlerin maliyeti, fazla mesai gibi zaman ve maliyet kaybının minimum seviyeye düşürülmesi,
- Üretim ve ürün kalitesinin artması,
- Müşteri beklentilerinin daha iyi belirlenerek, sürekli müşteri memnuniyetinin sağlanması,
- Pazar payının artırılması,
- Dağıtım ve kalite performansının artırılması,
- Daha uygun tasarımlar yapılarak üretilebilirliğin artırılması,
- Tüm proseslerde kayıpların en aza indirilmesi sağlanmaktadır.

3 ile 4 sigma kalite düzeyinde çalışan bir işletmede milyonda kusur sayıları 66800 ile 6210 arasında değişim göstermektedir. Bu kusur oranları, toplam gelirlerin %25’inin kusur nedeni ile kaybedilmesi demektir. Altı sigma yaklaşımı milyonda 3.4 kusur veya hatayı hedefleyerek bu olumsuzlukları ortadan kaldırmayı amaçlar.⁶²

Altı Sigma yaklaşımında sigma seviyesi ile kalitesizlik maliyeti arasında ciddi bir ilişki vardır. Bu ilişki Tablo 3-8 görülmektedir.⁶³

⁶⁰ Muhittin Şimşek; Toplam Kalite Yönetimi, Alfa Yayınları, İstanbul, 2004, s.229.

⁶¹ Mehtap Aydın; Altı Sigma, <http://www.destekdan.com/bilgi/6%20sigma.htm>

⁶² Fred Love; Six Sigma: What Does It Really Mean? Informed Outlook, Volume 3, Number 19, 1999, ss.12-23.

⁶³ <http://sixsigmatutorial.com/Six-Sigma/Six-Sigma-Capability-Improvement.aspx>

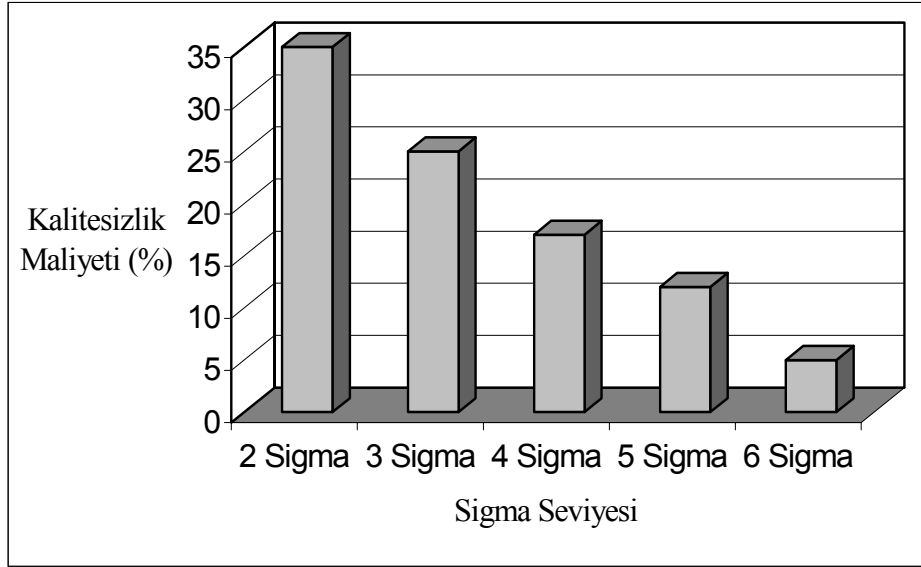
Tablo 3-8: Sigma değeri ve zayıf kalitenin maliyeti arasındaki ilişkisi

Başarı	DPMO	Sigma	C _p	COPQ
0.840	160000	2.50	0.83	%40
0.870	130000	2.63	0.88	
0.900	100000	2.78	0.93	
0.930	70000	2.97	0.99	
0.935	65000	3.01	1.00	
0.940	60000	3.05	1.02	
0.945	55000	3.10	1.03	%30
0.950	50000	3.14	1.05	
0.955	45000	3.20	1.06	
0.960	40000	3.25	1.08	
0.965	35000	3.31	1.10	
0.970	30000	3.38	1.13	
0.975	25000	3.46	1.15	%20
0.980	20000	3.55	1.18	
0.985	15000	3.67	1.22	
0.990	10000	3.82	1.27	
0.995	5000	4.07	1.36	
0.998	2000	4.37	1.46	
0.999	1000	4.60	1.53	%10
0.9995	500	4.79	1.60	
0.99975	250	4.98	1.66	%5
0.9999	100	5.22	1.74	
0.99998	20	5.61	1.87	
0.9999966	3.4	6.00	2.00	

Kaynak: <http://sixsigmatutorial.com/Six-Sigma/Six-Sigma-Capability-Improvement.aspx>

Günümüzde birçok firmanın üç ile dört sigma aralığında çalışıldığı göz önüne alındığında kalitenin maliyeti, gelirin %15 ile %25'ini oluşturur. Hâlbuki firma Altı Sigma kalite seviyesini yakaladığında, kalite maliyeti %5'in altına düşer.⁶⁴ Bu durum Şekil 3-5'de görülmektedir.

⁶⁴ Paul Keller, Does Six Sigma Work in Smaller Companies?, <http://www.isixsigma.com>



Şekil 3-5: Sigma seviyeleri ve kalitesizlik maliyeti grafiği

Kaynak: <http://sixsigmatutorial.com/Six-Sigma/Six-Sigma-Capability-Improvement.aspx>

3.5.3. Kritik müşteri taleplerinin karşılanması

Şirketler kâr elde etmek üzere faaliyetlerini sürdürmektedirler. Kazanç elde ederek para kazanmanın yegâne yöntemi ise, müşteri beklentileri doğrultusunda ürün veya hizmet üretip satmaktır. Bu durumda şirket süreçlerindeki her işle müşteri beklentileri arasında bir ilişki olmalıdır. Müşteri beklentileri ve şirket kârlılığıyla olmayan işler, ancak ve ancak katma değersiz işlerdir.

Şirketlerin başarısı, müşteri beklentilerini karşılama yetenekleriyle doğrudan ilişkilidir. Müşteriler, üreticilerden ürün ve hizmetleri zamanında, hatasız ve en düşük fiyatla temin etmek isterler. Üreticiler de, müşteri beklentilerine cevap verebilmek için, iç operasyonlarında en düşük maliyetle, hatasız ve en az çevrim süreleriyle ürün ya da hizmet üretmeye çalışırlar. Bu entegrasyon ne kadar güçlü olursa, üretilen iş de o kadar sağlıklı ve katma değerli olur. Sonuç olarak, müşteri beklentilerini doğru ve dinamik olarak algılamak, başarının önemli anahtarlarından birisidir.⁶⁵

Müşteri odaklı çalışma biçimi, Altı Sigma'nın en önemli özelliklerinden birisidir. Müşterilerin ürünlerde veya hizmetlerde ne gibi özelliklerin bulunmasını istediklerini üreticiler hiçbir zaman doğru bir şekilde bilemezler. Müşteri isteklerinin

⁶⁵ S.P.A.C.; Age., s.60-61.

neler olduğunu öğrenmenin en doğru yolu müşterilere bunları sormaktır. Odak müşteri grupları oluşturularak yapılacak olan odak görüşmeleri yolu ile müşterilerin ihtiyaçları belirlenebilir. Müşteri istekleri farklı düzeylerde karşımıza çıkmaktadır.⁶⁶

Beklenenler: Bunlar müşterilerin ürünün veya hizmetin bir parçası olduğunu düşündükleri, varsaydıkları özelliklerdir. Örneğin, yeni bir otomobil satın aldığımızda bunun minimum güvenlik gereklerine uyduğu varsayılır.

Konuşulanlar: Müşterilerin ürün veya hizmette bulunmasını istediklerini söyledikleri belirli özelliklerdir. Bu özellikler yazılı veya sözlü olarak iletebilirler.

Konuşulmayanlar: Müşterilerin ürün veya hizmetlere ilişkin olarak dile getirmediikleri özelliklerdir.

Heyecanlandırıcılar: Bir ürün veya hizmetin beklenmeyen özellikleri bu grupta değerlendirilebilir. Örnek vermek gerekirse, Japonların 80'li yıllarda otomobillere koydukları bardak tutucuları bu gruba girer. Sonraları ABD'de de otomobil üreticileri müşterilerinin ne istediklerini sormuşlar ve müşterilerin bardak tutucuları ilk sırada istediklerini görmüşlerdir. Zaman içinde bardak tutucuları otomobillerde standart bir ekipman durumuna gelmiştir.

Herhangi bir Altı Sigma iyileştirme çabasında en önemli basamak, müşterinin ne istediğinin en iyi şekilde tanımlanması ve müşterinin kalite için kritik parametrelerinden yola çıkılarak hataların tanımlanmasıdır.⁶⁷

3.5.4. Sürekli iyileştirme ve geliştirme

Süreç, iç veya dış müşteriden gelen bir girdi - talep, bilgi ya da hammadde - ile başlayan ve bu girdiye katma değer katılarak belirli bir çıktı üreten birbiriyle bağlantılı işlemler dizisidir. Temel süreçler bölümler boyunca çalışan ve birçok alt süreçten oluşan süreçlerdir. Bir işletme süreçlerini belirlemeye temel süreçlerden başlamalı ve işletmenin esas amacı ile bu süreçlerin amaçlarının paralelliğine odaklanmalıdır.⁶⁸

Bir organizasyonun hatasız çıktı üretebilmesi için, tüm süreçlerinde sıfır hatayı yakalayan bir sonuca odaklanması gereklidir. Bunun anlamı, müşteriye sıfır hata

⁶⁶ Guinta, R. Lawrence-Praizler, C. Nancy. The QFD Book, New York, 1993, s.35.

⁶⁷ Kevin Linderman, Roger G. Schroeder, Srilata Zaheer, Adrian S. Choo, Six Sigma: a goal-theoretic perspective, Journal of Operations Management, 2003, ss:193-203.

⁶⁸ Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi, Similasyon, Haziran 2000.

düzeyinde ürün/hizmet satmak veya süreç sonucunda, yani son muayene deney sürecinde sıfır hatayı hedeflemeyi gerekli kılar.

TKY veya diğer yaklaşımda temel varsayım tüm çalışanların süreçleri yönetmeleri ve bu aşamada klasik anlamda PUKO döngüsünün kullanımı söz konusudur. Ancak burada en önemli problem, süreçlerini yöneten çalışanların, süreçleri ile ilgili olarak ne kadar doğru bilgi aktardıkları yada kendi süreçlerinde hatayı ayıklamaya odaklanırken, ne ölçüde bir sonraki sürece optimal çıktı verme istekliliği içinde olacaklarıdır. Son analizde tüm kalite yaklaşımları bireysel ve bölümsel bazda en iyi olma yarışını körükleme eğilimini taşımaktadırlar. Bu tespitin anlamı, örneğin bir hizmet için yedi temel süreci olan ve her bir sürecinde %95 hatasızlık düzeyine sahip bir işletmenin kümülatif hatasızlık oranı, $0.95(0.95)(0.95)(0.95)(0.95)(0.95)(0.95) = 0.70$ 'dir.

Altı Sigma yaklaşımı, Deming'in değişkenliğin minimize edilmesi yaklaşımından yola çıkar. Bir organizasyonun üretim süreci yani çıktı kalitesinde oluşan hataların değişkenliği, bilâncosuna kaçınılmaz olarak önemli oranda kâr ve zarar şeklinde kaydedilmektedir.⁶⁹

Altı Sigma performansını gerçekleştirmek için temelde yapılması gerekenler, süreçlerin analizi ve iyileştirilmesidir. Gerektiği yerde radikal kararlar alınarak yeni süreçler geliştirilebilir.⁷⁰ Altı Sigma, süreç iyileştirmelerde 5 aşamalı bir metodoloji izlemektedir.⁷¹

- 1. Fırsatların Tanınması:** Altı Sigma projelerinin amaç ve kapsamının tanımlandığı aşamadır.
- 2. Performans Ölçümü:** Harcanacak emek ve kaynakların boşa gitmemesi için mevcut durumun tüm yönleriyle açıklayan bilgilerin toplandığı aşamadır.
- 3. Fırsatların Analizi:** Performans ölçümünde elde edilen bilgilerin yorumlandığı ve öncelikli problemlerin belirlendiği aşamadır.
- 4. Performans Geliştirme:** Problemleri görülen aşamanın etkilerinin azaltıldığı ya da problemin tamamen ortadan kaldırıldığı aşamadır.

⁶⁹ Ümit Şahin; Altı Sigma ve Sağlık Kurumları, http://www.sabem.saglik.gov.tr/forum/ezadmin/htmlarea/files/documents/476_1.pdf

⁷⁰ Mehmet Özkan; http://www.danismend.com/konular/stratejiyon/str_6_sigma.htm

⁷¹ İrfan Ertuğrul; Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Ekin Kitabevi, Bursa, 2004, s.283-284.

5. Kontrol: İyileştirme planının ve sonuçlarının değerlendirildiği aşamadır. Edinilen kazançların sürdürülmesi ve artırılması için neler yapılması gerektiğini ortaya koyar.

3.6. Kıyaslama (Benchmarking) ve Altı Sigma'da Önemi

Amaç ve hedeflerine ulaşmak isteyen şirketler, performanslarını sürekli izleyebilmeli ve ölçebilmelidir. Genelde şirketler başarılarındaki gelişmeleri görebilmek için geçmişin verileri ile şimdiki verileri karşılaştırırlar ve arada önemli bir fark var ise, işletmenin geliştiğinden söz ederler. Ancak, modern işletmeler artık bu tür yöntemlerin başarıyı belirlemede yeterli olmadığını bilmektedirler. O halde şirketlerin performanslarını, “konusunda en iyi olan şirketler” ile kıyaslamak gerekmektedir. Dolayısıyla kıyaslama ya da benchmarking şirketlerin iş dünyasındaki hızlı değişmelere ayak uydurmaları, rakiplerine yetişmeleri ve hatta onları geçmeleri için nispeten kolay uygulanabilen başarılı bir yöntem olarak kabul görmüştür.⁷²

Benchmark kelimesi “sabit nokta, referans” demektir. Kıyaslama, “benchmarking” i tam karşılamamaktadır. Bir tarife göre; bir ürün veya şirketin müşteri ihtiyaçlarını hedef seçerek performansının, piyasadaki en iyi olarak kabul gören şirket veya ürün ile karşılaştırılmasını esas alan bir yöntemdir.⁷³ Bir başka açıdan ise benchmarking (kıyaslama); şirketlerin sektör içinde veya sektör dışında kendine rakip veya rakip olmayan diğer şirketlerle performansının, kritik müşteri ihtiyaçlarının karşılanabilmesi konusunda hangi tür faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gerektiğinin belirlenerek söz konusu geliştirme faaliyetlerinin veya görevlerinin yapılmasıdır.⁷⁴

Diğer bilim adamlarına göre ise Benchmarking'in şu tanımları yapılmıştır: En iyi uygulamalardan öğrenmeyi sağlamak için araştırma yapmaktır (Camp, 1989). Örgütsel gelişmeyi sağlamak için, kendi alanlarında en iyi olarak bilinen örgütlerin ürünlerini, hizmetlerini ve süreçlerini değerlendirmek için sistematik bir süreçtir (Spendolini, 1992). Kendi alanında ünlü ve en güçlü rakiplere karşı, ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin sürekli değerlendirilmesidir (Zairi, 1994). Kıyaslama iki şeydir: Örgüt-dışı standartları kullanarak amaçlar oluşturma ve daha da önemlisi; bu

⁷² Ertuğrul; Age., s.285.

⁷³ Mahesh, Chandra. Total Quality Management in Management Development, Journal of Management Development MCB Üniv. Pres, Vol: 12, No: 7, July 1993, s.21.

⁷⁴ Vaziri, H. Kevin. Using Competitive Benchmarking to Set Goals, Quality Progress, October 1992, s.81.

amaçlara ulaşmak için onlardan öğrenmedir (Boxwell, 1994). Bilgiyi ve en iyi uygulamaları tanıma, paylaşma ve kullanma sürecidir (APQC, 1995).

Kıyaslamada anahtar unsurlar:

- Örgütsel analiz,
- Takım çalışması,
- Kritik Başarı Faktörleri,
- Veri toplama,
- Temel felsefenin kavranması,
- Paylaşım

olarak sıralanabilir.⁷⁵

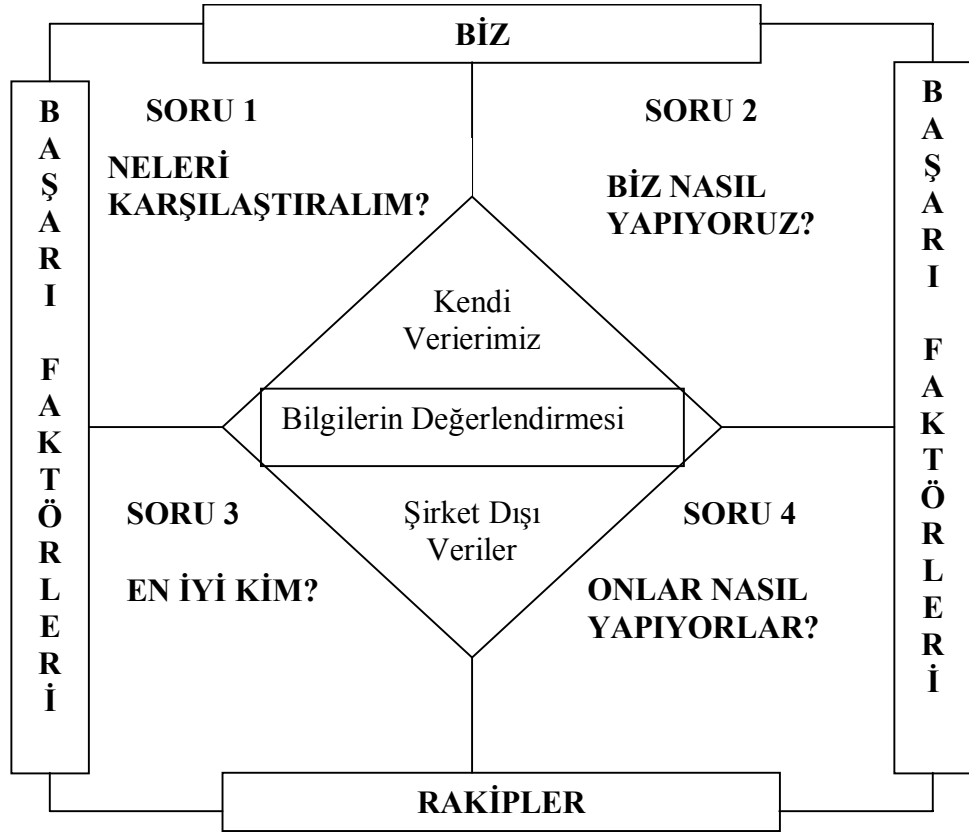
Bazı firmalar kendi proseslerini daha yetenekli kılmak için spesifikasyon sınırlarını gelişigüzel seçerek, C_p değerini suni bir şekilde büyütebilirler. Üretim sürecini geliştirmeden, bu şekilde elde edilen endeks değeri, firmanın kendi kendisini aldatmasından başka bir işe yaramaz. Bu nedenle spesifikasyon sınırlarının seçilmesinde “kıyaslama” yönteminin uygulanması önerilir. Söz konusu firma, pazarda ve kalitede lider olan firmanın kullandığı spesifikasyon sınırlarını kullanmalı ve proses yetenek endeksini bu şekilde hesaplamalıdır.⁷⁶

Sürekli gelişme ve iyileştirmeyi esas alan Altı Sigma’da öncelikle neyin kıyaslanacağına ve kıyaslamaya esas oluşturan örneğin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Firma durum analizi yaparak kendisinin nerede olduğunu ve nerede olması gerektiğini belirlemek için hedeflerini ve performans ölçütlerini ortaya koyarak hangi alanda kimlerle kıyaslama yapacağını belirler. Daha sonra süreç ve sonuç kıyaslama tekniklerinden hangisinin uygulanacağına karar vererek kıyaslanacak örgütleri inceler, veri toplar, toplanan verilere bağlı olarak analiz yapar, sonuçları değerlendirir, hareket planları oluşturur ve eyleme geçer.⁷⁷ Şekil 3-6’de bir kıyaslama yöntemi gösterilmiştir.

⁷⁵ 12. Ulusal Kalite Kongresi, Eğitim Örgütlerinde Kıyaslama (Benchmarking), <http://www.kalder.gov.tr>

⁷⁶ Mete Şirvancı; Kalite İçin Deney Tasarımı-Taguchi Yaklaşımı, Literatür Yayınları, İstanbul, 1997, s.82.

⁷⁷ Ertuğrul; Age., s.285.



Şekil 3-6: Kıyaslama yöntemi grafiği

Kaynak: İrfan Ertuğrul; Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Ekin Kitabevi, Bursa, 2004, s.286.

Altı Sigma, firmalarda üretim veya müşteri memnuniyetinde etkin olarak kullanılan bir ölçüt olduğundan, firmalar kendilerini sınıfının en iyileri ve rakipleri ile kıyaslama için durumlarını izleme ve süreçlerini iyileştirme fırsatı bulurlar. Bu durum firmanın kendini dönem dönem izlemesine imkân sağlar.⁷⁸

⁷⁸ Ravi S. Behara- Gwen F. Fontenot- Alicia Gresham; Customer Satisfaction Measurement And Analysis using Six Sigma, International Journal of Quality & Reliability Management, MCB University Press Vol: 12, No: 3, 1995, s:9-18.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ALTI SİGMA ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN İSTATİSTİK TEKNİKLER

Bir işletmede Altı Sigma uygulanırken tüm tekniklerin kullanılması gerekmez. İşletmeler süreçlerine uygun olan tekniklerden bir veya bir kaçını kullanabilirler. Bu bölümde Altı Sigma uygulamalarında en sık kullanılan tekniklerden bahsedilecektir.

4.1. Beyin Fırtınası

Beyin fırtınası, 1930'larda ABD'de Alex F. Osborn isimli bir araştırmacının, iş görenlerin hayal gücünü geliştirmeye ilişkin çalışmaları esnasında oluşturduğu, bir grup çalışması yöntemidir. Amaç, hiçbir engelleme olmaksızın olabildiğince hayal gücüne dayalı öneriler oluşturmaktır. Her bir grup üyesi, hiçbir engelleme olmaksızın dilediğince öneri geliştirebilir ve söyleyebilir. Her öneri, diğer üyeler tarafından bir uyarıcı olarak kabul edilir ve ortaya atılan öneriyi nitelik olarak geliştirmeleri beklenir. Oturum süresince eleştiri kabul edilemez.¹

Beyin fırtınası, daha çok düşünce oluşturmak için belli sayıda bireyden oluşan bir grubun her bir üyesinin kapasitesinden yararlanmayı amaçlar. Grup üyelerinden her birinin düşüncesi problemleri çözme grubunu doğurur. Beyin fırtınası iki evreden oluşur:²

- Çok sayıda düşünce, bu düşüncenin kalitesine bakılmaksızın araştırılır.
- Daha sonra düşüncelerin kalitesi konusunda ayırım yapılır.

Beyin fırtınası, bazı konularda çember üyelerinin problemi analizlerinde kolaylık sağlar. Bunlar şöyle sıralanabilir:³

- Her şeyden önce istekli çalışma grubu, çeşitli konular hakkında bir liste tarif eder.
- Grup, bir sorunun incelenmesi evresinde yeni düşünceler ortaya çıkarmak için olayları araştırma, nedenleri araştırma, çözümleri araştırma ve ortaya konan araçların araştırılması fırsatını bulur.
- Çeşitli fikir ve bilgilerin elde olmaması halinde kalite kontrol çemberlerini devreye sokmak mümkün olur.

¹ İrfan Ertuğrul; Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Ekin Kitabevi, Bursa, 2004, s.56.

² Muhittin Şimşek; Toplam Kalite Yönetimi, Alfa Yayınları, İstanbul, 2004, s.268-269.

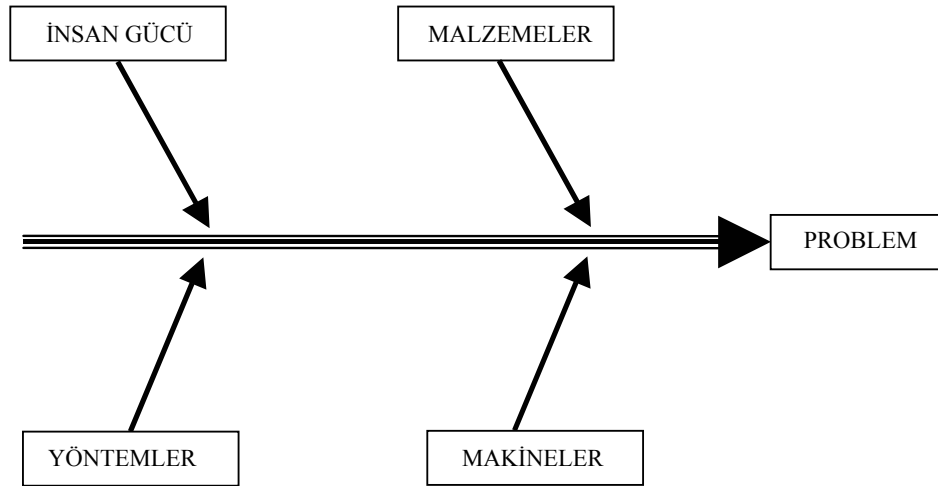
³ Şimşek; Age., s.272.

Beyin fırtınası ayrıca deney tasarımında düşünülen etkenlerin doğru bir şekilde belirlenmesinde kullanılır.⁴

4.2. Sebep-Sonuç Diyagramı

Sebep-sonuç diyagramı, proseste ortaya çıkan bir hatanın muhtemel tüm sebeplerini gösteren bir diyagramdır. Hata belirlendikten sonra, ilgili tüm şahıslar bir araya toplanarak beyin fırtınası uygulaması yaparlar ve böylece söz konusu hatanın muhtemel sebepleri tespit edilir. Tespit edilen ana sebepler ve ana sebepleri etkileyen tali sebepler bir balık kılçığı şeklinde gösterilir. Bundan dolayı sebep-sonuç diyagramına “balık kılçığı” diyagramı da denir.⁵

Kalite iyileştirmede bir hayli başarılı bir araç olarak kullanılan sebep-sonuç diyagramının oluşturulması için ilk önce ana nedenler belirlenir. Sebep-sonuç diyagramını oluşturan ana nedenler 4M olarak adlandırılan Makine (**M**achinery), İnsan gücü (**M**anpower), Yöntem (**M**ethods) ve Malzeme (**M**aterials) faktörlerinden oluşur. Bu durum Şekil 4-1’de gösterilmiştir.⁶



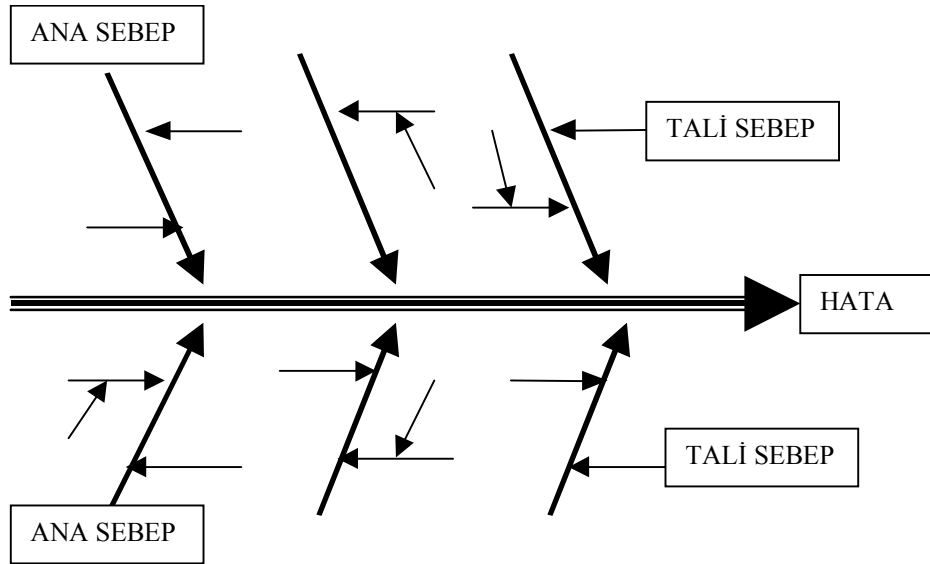
Şekil 4-1: Sebep-sonuç diyagramı ana nedenler

⁴ Breyfogle III, W. Forrest. Implementing Six Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods, John Wiley and Sons Inc., New York, 1999, s.257.

⁵ Mahmut Kartal; İstatistiksel Kalite Kontrolü, Şafak Yayınevi, Erzurum, 1999, s.268-269.

⁶ <http://web2.concordia.ca/Quality/tools/12fishbone.pdf>

1940'ın ortalarında Dr. Kaoru Ishikawa tarafından bulunan sebep-sonuç diyagramında takım tarafından beyin fırtınası yöntemi kullanılarak önce bir sorun belirlenip bu soruna sebep olabilecek en önemli ana nedenler belirlendikten sonra her ana nedeni etkileyen en önemli alt nedenler işaretlenir.⁷ Örnek bir sebep-sonuç diyagramı Şekil 4-2'deki gibidir.



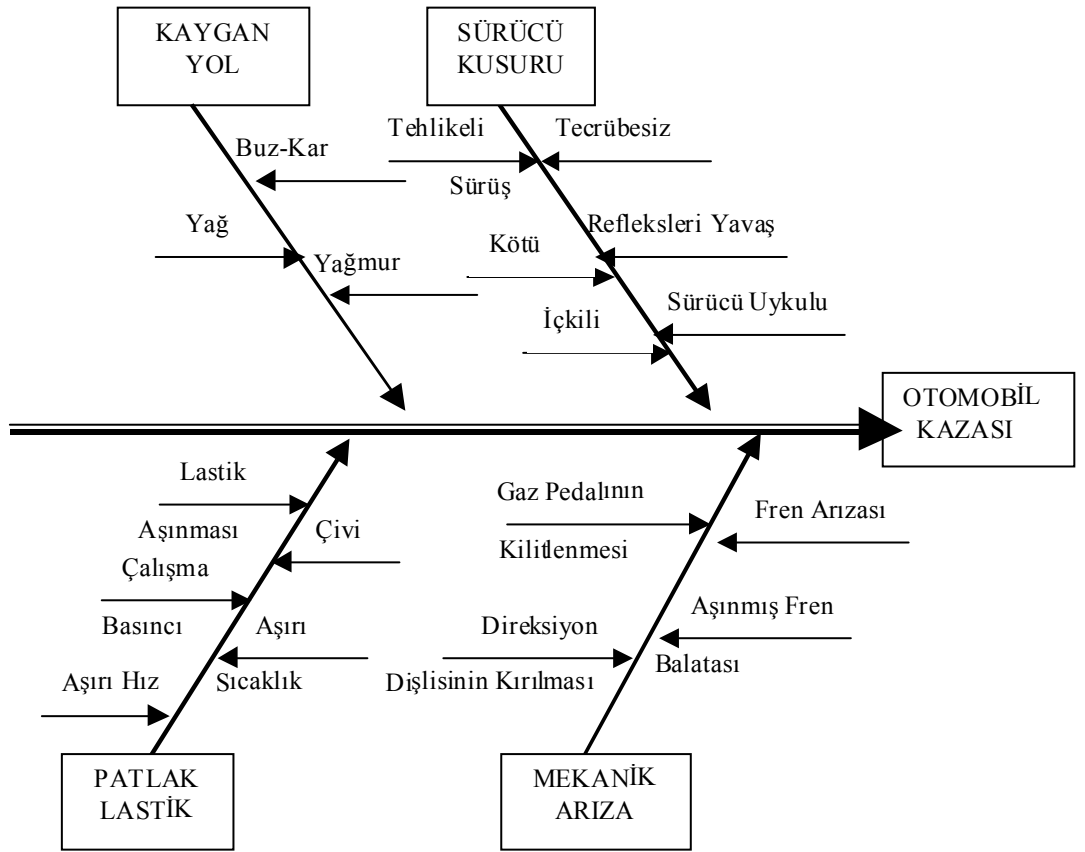
Şekil 4-2: Sebe-sonuç diyagramı grafiğı

Kaynak: Mahmut Kartal; İstatistiksel Kalite Kontrol, Şafak Yayınevi, Sivas, 1999, s.40.

Sebe-sonuç diyagramı; sebepleri sayma, dağılım analizi ve proses analizi şeklinde olabilir. Bunlar aynı ilkeye dayanmakla beraber aralarında ufak farklar vardır. En çok kullanılan sebepleri sayma diyagram çeşidi örneklerinden biri Şekil 4-3'de gösterilmiştir.⁸

⁷ Steven H.Hoisington- Earl Nauman; Customer Centered Six Sigma: Linking Customers, Process Improvement, and Financial Results, Quality Press, 2000.

⁸ Mustafa Akkurt; Kalite Kontrol-Excel Destekli, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002, s.230.



Şekil 4-3: Sebepleri sayma tipi sebep-sonuç diyagramı örneği

Kaynak: Mustafa Akkurt; Kalite Kontrol-Excel Destekli, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2002, s.231.

4.3. Histogram

Tüm tekrarlanan olayların bir değişkenliği vardır. Olmaması imkânsız olan bu değişkenliğin bir sonucu olarak herhangi bir örnekteki iki ölçüm tamamen birbirinin aynısı olamaz. Aynı kiloda iki insan, aynı saç rengine sahip iki insan, aynı süreçte üretilmiş iki otomobil lastiği olamaz.

Histogram verilerin görsel olarak sunulduğu özel bir grafik türüdür. Histogramda hemen hemen birbirine özdeş şeylerin ölçümlerindeki değişiklikler gösterilir. Frekans dağılımının bir şekli olan histogramda herhangi bir sürecin içinde yer alan değişimlerin miktarı ortaya çıkartılır.⁹ Histogramlar üretim sürecinden alınan gözlemlerin dağılımını ve sıklık değerini belirleyerek spesifikasyonlarla mevcut durumun karşılaştırılmasını sağlar.¹⁰

⁹ Şimşek; Age., s.272.

¹⁰ Kaoru Ishikawa; Guide to Quality Control, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1982.

Bir uygulamada histogram çizmenin amacı, verilerin ilginç ve önemli özelliklerini öne çıkarmaktır. Hemen her zaman kaçınılmaz olan en can alıcı soru, ne kadar ayrıntının çizime konacağıdır. Çok az ayrıntı, önemli özellikleri perdelerken, diğer uçta bu özellikler ayrıntı denizinde boğulabilir. En iyi yol gösterici sağduyudur ama yine de birkaç ana çizgi belirtilebilir:¹¹

- Yorumlamayı kolaylaştırması bakımından bütün sınıf aralıkları genellikle eşit genişlikte seçilir. Ancak bazen bu ilkenin kullanılmaması gerekir. Eğer veri kümesinde gözlemlerin çoğunluğu aralığın görece dar bir parçasında toplanmış, diğer taraflarda geniş sınıf aralıkları kullanmak daha doğru olabilir. Bu yapıldığında histogramdaki dikdörtgenlerin yükseklikleri değil, alanları sıklıklarla orantılı olmalıdır.
- Gözlemlerin aralığı üstüste binmeyen sınıflara öyle bölünmelidir ki, belli bir gözlem bu sınıflardan birinin, ama yalnız birinin içine düşmelidir. Sınıf aralığı sınırlarının, verilerdekinden daha küçük birimlerle belirtilmesiyle bu sağlanabilir.
- Sınıf aralıklarının orta noktalarının, o sınıftaki gözlemleri iyi temsil etmesinin sağlanması önemlidir. Bunun nedeni histogramın daha güvenilir bir görsel gösterim sunabilmesini sağlamaktır.

Histogramda sınıf sayısı 5 ile 20 arasında olmalıdır. Sınıf sayısını belirlemede aşağıdaki Sturges kaidesine uyulması tavsiye edilir:¹²

$$k = 1 + 3.32 \log(n)$$

Burada k sınıf sayısını, n ise veri sayısını belirtir.

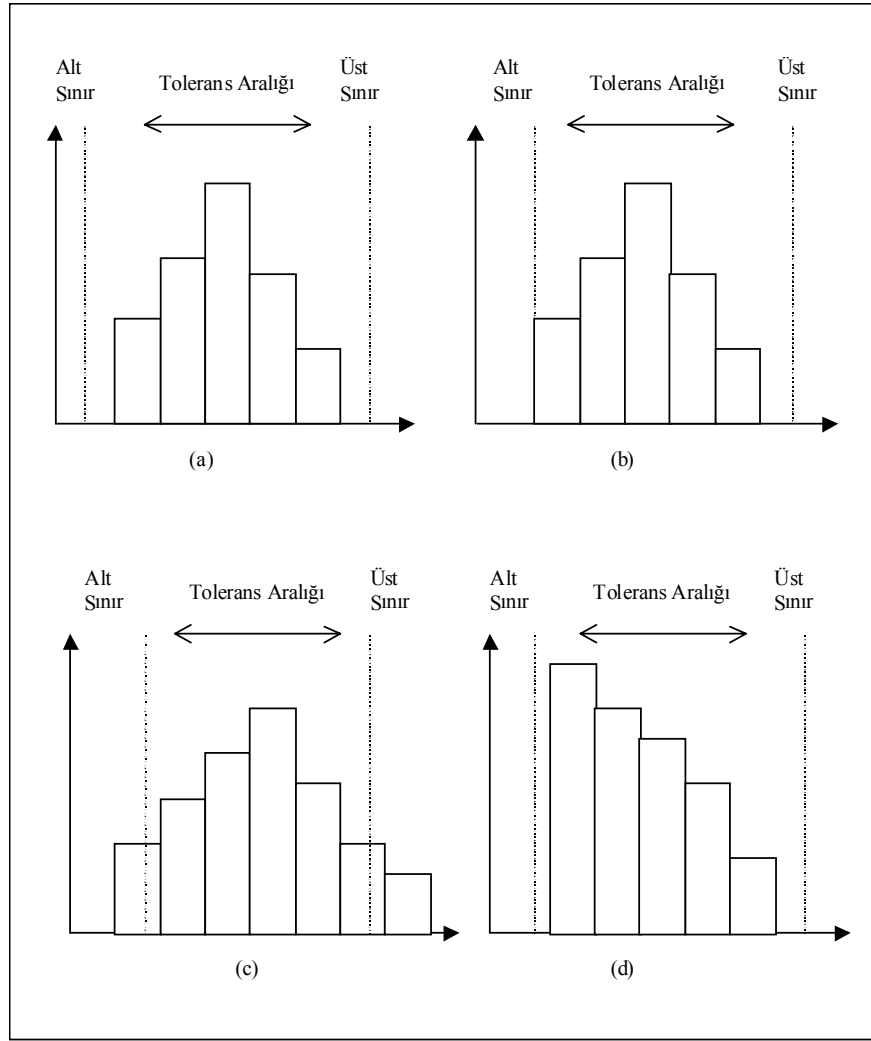
Bir histogramın etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve yorumlanabilmesi için üretime ait tolerans sınırlarının da bilinmesi gerekir. Aşağıda Şekil 4-4'da gösterilen çeşitli histogramlara ait yorumlar şu şekilde yapılabilir:¹³

- Proseste yapılabilecek küçük değişiklik kusurlu üretime sebep olabilir. Biraz sağa kayacak şekilde proses ayarlanmalıdır.
- Üretim kontrol altında değildir. Kusurlu ürünler söz konusudur.
- Örneklem hatası yapılmıştır. Belli bir değerin altında veri yoktur.

¹¹ Paul Newbold; İşletme ve İktisat için İstatistik, Çev: Ümit Şenesen, Literatür Yayınları, Yayın No:44, İstanbul, 2000, s.36.

¹² Heinz Kohler; Statistics for Business and Economics, U.S.A.: Scott, Foresman and Company, 1988, s.50.

¹³ Hüdaverdi Bircan-Selami Özcan; Excel Uygulamalı Kalite Kontrol, Yargı Yayınları, Ankara, 2004, s.120.



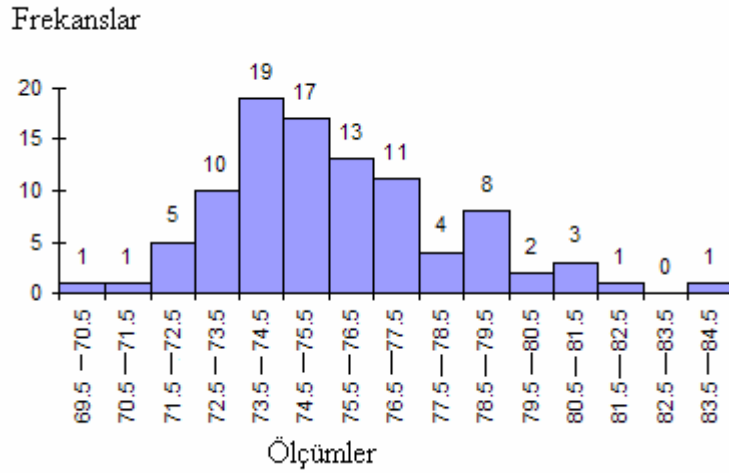
Sınıf sayısının belirlenmesinde aşağıdaki Tablo 4-1'den de yararlanılabilir.¹⁴

Tablo 4-1: Veri sayısına bağlı olarak kullanılacak sınıf sayısı

Veri Sayısı	Sınıf sayısı
50'den az veri için	5 ile 7 arası
50 ile 99 arası veri için	6 ile 10 arası
100 ile 249 arası veri için	7 ile 12 arası
250'den fazla veri için	10 ile 20 arası

¹⁴ <http://quality.dlsu.edu.ph/tools/histogram.html>

Sınıf sayısı belirlendikten sonra sınıf aralıklarının genişlik ve limitleri belirlenir. Sınıf aralığı, veri aralığını toplam sınıf sayısına bölmekle elde edilir. Sınıf limitlerini öyle seçilmeli ki herhangi bir veri verilen limitlerin dışında kalmayın. Bu her limite mantıki ondalık değerleri eklemek ile yapılabilir.¹⁵ Şekil 4-5’de bir histogram örneği verilmiştir.



Şekil 4-5: Bir histogram örneği

Kaynak: <http://www.spcforexcel.com/histogram.htm>

4.4. Kontrol Tablosu

Kontrol tablosu, üretimden alınan verilere dayanarak üretimin eğilimini veya ölçüm değerlerinin dağılımını görmeye bir başlama noktasıdır. Üretim esnasında ortaya çıkan olayların hangi sıklıkta olduğunu kolayca görebilmeye kullanılan, kullanımı ve anlaşılması kolay bir formdur. Kontrol tabloları vasıtasıyla proseste meydana gelen zaman içindeki değişimleri mukayeseli olarak görmek mümkün olabilir. Böylece en çok karşılaşılan hata çeşidi de tespit edilmiş olur.¹⁶

Kontrol tablosunda en çok dikkat edilecek unsur, verinin doğru ve dikkatli bir biçimde temin edilmesidir. Temin edilen verilerin kolay ve hızlı bir biçimde kullanılması ve analiz edilebilmesi için; veriler, tablo halinde düzenlenir. Her bir veri için ayrı ayrı kontrol tablosu hazırlanır.¹⁷

¹⁵ <http://www.uytes.com.tr/ipk/histogram.html>

¹⁶ Mahmut Kartal; İstatistiksel Kalite Kontrolü, Şafak Yayınevi, Erzurum, 1999, s.35.

¹⁷ Dale H. Besterfield. Quality Control, 3. Baskı, Prentice Hall, International Editions, 1990, s.387.

Tablo 4-2: Ölçülebilen özellikler için bir kontrol tablosu

KONTROL TABLOSU

Ürünün Adı: Metal Mil

Tablo No:

Ölçülebilen Özellik: Çap

Üretim Yeri:

Spesifikasyon Limitleri: 0,9 cm – 1,9 cm

Bölümü:

Örnek(Numune) Büyüklüğü: 100

Üretim Tarihi:

Tabloyu İşleyen:

Frekans	Boyutlar															
	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
25			ASL										ÜSL			
20								+								
15							+	+	+							
10							+	+	+	+						
5						+	+	+	+	+						
					+	+	+	+	+	+	+					
					+	+	+	+	+	+	+	+				
					+	+	+	+	+	+	+	+				
					+	+	+	+	+	+	+	+				
Toplam	0	0	1	3	7	10	18	21	16	12	8	4	0	0	0	0

Kontrol tablosu oluşturulduğu zaman verinin toplandığı tarih, verinin tipi, parti numarası, analizi yapan kişi ve proseste oluşan değişikliklerin sebebini tespit etmede yararlı olabilecek diğer bilgilerin anlaşılır biçimde belirtilmesi büyük önem taşır.¹⁸

Eğer kontrol edilecek olan özellik uzunluk, ağırlık, zaman gibi ölçülebilir bir özellik ise kontrol tablosuna, “ölçülebilir özellikler için kontrol tablosu” denir. Ölçülebilir özellikler için kontrol tablosu Tablo 4-2’de düzenlenmiştir.

Tablo 4-3: Niteliksel özellik gösteren veriler için kontrol tablosu

KONTROL TABLOSU		
Ürün Adı: Ürün Kodu: Parti No: Toplam Adet: Örnek Sayısı:		Tarih: Saat: Veri Toplayan: Düşünceler:
Hata Türü	Çetele	Hatalı Adet
Kesme Hatası	///// /	6
Selefon Baskı Hatası	///// /////	9
Baskı Hatası	///// ///// /////	15
Kağıt (Bozuk) Hatası	///// ///	8
Kırma Hatası	///// //	7
Harman Hatası	/////	5
Toplam Hata		50

Kaynak: Besim Akın; İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol Teknikleri, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1996, s.37.

Nitel verileri toplamak için kullanılan bir kontrol tablosu, Tablo 4-3’de gösterilmiştir. Yapılması gereken işlemler kısaca şöyledir: Önce parti büyüklüğü ve sonra da numune alma planlarından faydalananarak örnek büyüklüğü belirlenir. Daha sonra hata tipleri alt alta yazılır ve hangi hata tipine rastlanırsa karşısına çetele çizilir. Kontrol edilecek parça sayısı bitince, her hata tipindeki çeteleler toplanır. Reddedilen kusurlu parça sayısı bilgi formuna yazılır. Böylece karşılaşılan hata türlerinin dağılımı ve düzeltmenin nereden başlaması gerektiği konusunda açıklık sağlanır. Bu şekilleri

¹⁸ Douglas C. Montgomery; Introduction to Statistical Quality Control, 2. Baskı, John Wiley and Sons. Inc., 1991, s.119.

tamamlanış tarihleri itibariyle sıra ile ele almak suretiyle hataların türleri, oluş şekilleri konusundaki eğilimi ortaya konarak, alınan düzeltici ve önleyici tedbirlerin başarı ve devamını izlemek mümkün olabilecektir.¹⁹

4.5. Pareto Şeması (Analizi)

Kalite çemberleri faaliyetlerinde kullanılan temel yöntemlerden biridir. Pareto grafiği, kategoriyle düzenlenen özellik verilerinin basit bir sıklık dağılımıdır.²⁰ 19. Yüzyılda yaşamış olan İtalyan iktisatçı ve aynı zamanda bir sosyolog olan Vilfredo Pareto, sonraları kendi adıyla anılmaya başlamış olan prensibini ilk kez ekonomik içerikli olarak ortaya koymuştur.²¹ Pareto Analizi, kalite mühendisleri tarafından en çok kullanılan bir tekniktir.²²

Problemlerin nedenleri genellikle Pareto prensibine uyar. 80'e 20 kuralı olarak da bilinen bu prensip; sonuçların yaklaşık %80'inin, sebeplerin %20'sine bağlı olarak ortaya çıktığını savunur. Kantitatif bir anlatımla makinelerin, hammaddelerin ve operatörlerin %20'si, problemlerin %80'ine sebep olmaktadır. Bir diğer örneğe göre; mâli varlığın %80'inin, halkın %20'si tarafından kontrol edildiği tespit edilmiştir. Başka bir örneğe göre; bir üretim sürecinde ortaya çıkan hurda veya işçilik maliyetinin %80'i, olası sebeplerin %20'sinden kaynaklanmaktadır.²³

Pareto analizi, en önemli birkaç konu veya sorun üzerinde yoğunlaştığından ve önceliklerin belirlenmesine yardımcı olduğundan verimlilik analizi için yararlıdır. Pareto diyagramının oluşturulmasında izlenen yöntem üç adımda incelenebilir:²⁴

Verilerin toplanması: Rakamsal veriler ve bilgiler tablolar aracılığı ile elde edilir.

Verilerin sınıflandırılması: Elde edilen veriler en büyük değerden en küçüğe doğru sınıflandırılır.

¹⁹ Besim Akın; İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol Teknikleri, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1996, s.35.

²⁰ Montgomery; Age., s.120.

²¹ Zeynep Düren; İşletmelerde Kalite Çemberleri, Evrim Basım Yayım, İstanbul, 1990, s.77.

²² Squires H. Frank., "Pareto Analysis", Quality Management Handbook, ASQC Quality pres, New York, 1986, s.161.

²³ Henri Costin; Total Quality Management, The Dryden Press, Orlando, 1994, s.217.

²⁴ Şimşek; Age., s.273.

Grafiğin çizilmesi: Elde edilen rakamlar bir diyagram üzerinde yerleştirilir. Yatay eksen de hata kaynakları, dikey eksen de hata yüzdeleri ve hata sayıları gösterilerek pareto grafiği tamamlanır.

Eğer mümkünse veriler normalize edilmelidir. Böylece verileri gelecekteki pareto diyagramlarında da kullanarak değişimler gösterilebilir.²⁵

Pareto diyagramları, en yüksek frekanstaki ya da en yüksek maliyet getiren ve ilk önce yok edilmesi gereken problemi tanımladığından Altı Sigma projelerinde de pek çok defa başvurulması gerekli bir tekniktir.²⁶

Örnek: Bir cıvata somunu ile ilgili delme hatasının olduğu ve delme hatalarının azaltılmasının amaçlandığı düşünölsün. Hata tipleri ile ilgili bilgiler Tablo 4-4’da verilmiştir. Konu ile ilgili pareto analizi aşağıdaki aşamalarda yapılabilir.²⁷

Tablo 4-4: Hata tipleri ile ilgili bilgiler

Hata Tipleri	Hata Sayısı
Kötü Numaralandırma	7
Okunaksız	23
Yerini Değiştirme	3
Eksik	11
Diğer Durumlar	6
Toplam	50

Pareto diyagramı için veri çizelgesi hazırlanır. Bu aşamada elde edilen veriler, en büyük değerden en küçük değere doğru sınıflara ayrılır. Tablo 4-5’de veri çizelgesi düzenlemiştir.

²⁵ MESS Eğitim Vakfı Eğitim Notları, Problem Çözme Teknikleri, 2000.

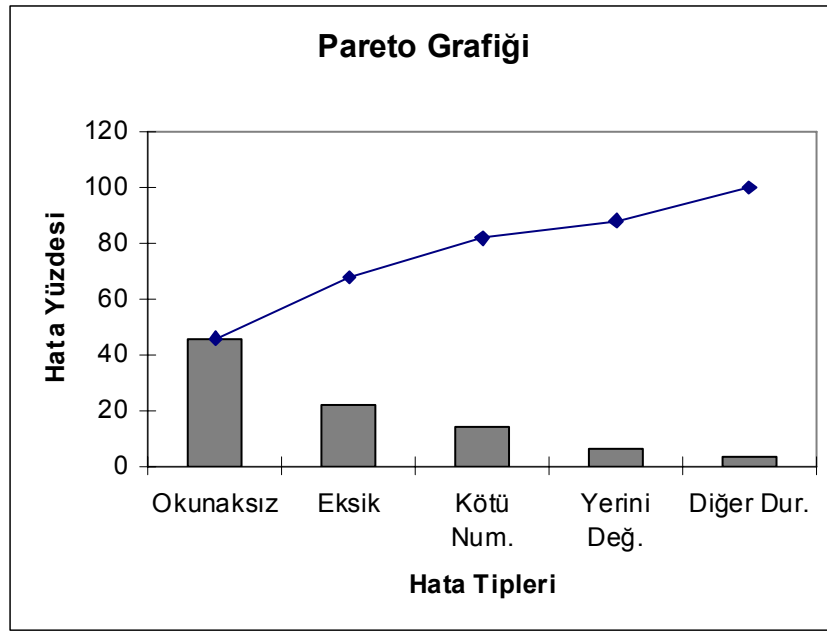
²⁶ Walmsley Ann; Six Sigma Enigma, Report on Bussines Magazine, Ekim 1997, s.4.

²⁷ Ertuğrul; Age., s.193.

Tablo 4-5: Pareto diyagramı için veri çizelgesi

Hata Tipleri	Hata Sayısı	Kümülatif Toplam	Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde
Okunaksız	23	23	46	46
Eksik	11	34	22	68
Kötü	7	41	14	82
Numaralandırma	3	44	6	88
Yerini Değiştirme	6	50	12	100
Diğer Durumlar				
Toplam	50	50	100	

Tablo 4-5’deki veri çizelgesi kullanıldığında elde edilecek Pareto grafiği Şekil 4-6’da gösterilmiştir.

**Şekil 4-6:** Pareto grafiği örneği

4.6. Gruplandırma

Gruplandırma kalite kontrolü ile ilgili hataların nedenlerinin araştırılmasında kullanılan bir metottur. Sanayi işletmelerinde değişik bölümlerde farklı makine ve tezgâhlardan elde edilen hatalı malların hangi makineden hangi işlem sonucu elde edildiğinin bilinmesi önemlidir. Bu amaçla gruplandırma işlemi yapılarak hatalı makine

ve işlemlerde hata kaynakları araştırılarak hataların önlenmesi mümkün olabilmektedir.²⁸

Bir olaya ilişkin derlenen verilerin kişi, zaman, makine ve benzeri faktörlere göre tabakalandırılmasıyla (gruplandırılması) ilgilenilen olayı hangi faktörün nasıl etkilediği ya da etkilemediği daha kolayca açığa çıkar.²⁹

Gruplandırma, öncelikle sorunlar meydana gelmeden önleyebilmek için iyi bir yöntemdir. Bazen bir kuruluşun bir sorunu olabilir ve verilerden bunun varlığı anlaşılamaz. Kusursuz gibi görünen veri yığınları arasında gizli kalmış hatalar olabilmektedir.

Gruplandırma; ayrıca bir sorunu parçalara ayırıp, her parçayı tek tek inceleme sürecidir. Buna bir örnek vermek gerekirse, bir fabrika büyüdükçe bölümlerinden birinde çok sayıda hata olmakta ise yapılması gereken, bölüm içindeki her grubun hata oranını ayrı ayrı incelemektir. Böylece, sorunun bölüm içinde küçük bir alanda teşhis edilebilmesi sağlanmış olmaktadır.³⁰

4.7. Kalite Fonksiyonu Yayılımı (QFD)

Müşteriyi tatmin etmek ve müşterinin talep ettiklerini tasarım hedeflerine ve üretim sırasında kullanılacak başlıca kalite güvence noktalarına dönüştürmek amacıyla tasarım kalitesini geliştirmeyi amaçlayan bir yöntemdir.³¹ QFD yöntemi, ürünlerin ve hizmetlerin müşteri ihtiyaçlarına göre tasarlanması gerektiği felsefesine dayanmaktadır. QFD, yeni ürün tasarımı veya hizmet sunumu, mevcut bir ürünün geliştirilmesi, yatırım planlama konusunda öncelikli alanların belirlenmesi, proses yönetimi uygulamalarının birçok alanları, teknoloji yönlendirmeli mühendislik çalışmaları, politika yönetiminde önceliklerin belirlenmesi gibi işletme faaliyetlerinin çeşitli aşamalarında uygulanabilir.³²

Kalite Fonksiyonu yayılımı ilk defa 1966 yılında Yoji Akoa tarafından Japonya’da ortaya atılmış ve ilk olarak 1972 yılında Mitsubishi’nin Kobe’deki Gemi

²⁸ Mahmut Tekin; Toplam Kalite Yönetimi, 3.Baskı, Ankara, 2004, s.125.

²⁹ Nimetullah Burnak; Toplam Kalite Yönetimi-İstatistiksel Süreç Kontrolü, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 1997, s.54.

³⁰ Akın; Age., s.62.

³¹ Mevhibe Ay; QFD ve Uygulama Örneği, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2003, s.68.

Tersanelerinde uygulanmıştır. Batı dünyasının QFD'ye olan ilgisi, Toyota Şirketi'nin 1977 ile 1984 yılları arasındaki QFD uygulamaları ile ulaştığı başarılarından sonra olmuştur. QFD'nin uygulanması ile Toyota ürün geliştirme maliyetlerinde %61 azalma sağlamış, ürün geliştirme süresini 1/3 oranında kısaltmış ve paslanmayla ilgili garanti problemlerini ortadan kaldırmıştır. QFD, Amerika'da Weror Şirketinde, Digital Equipment, Hewlett Packard, AT&T ve ITT gibi birçok firmada başarıyla uygulanmıştır. Ford ve General Motors firmaları 50'den fazla başarılı uygulama gerçekleştirmiştir. Türkiye'de ilk uygulamayı, 1994 yılında beyaz eşya üreten Arçelik Firması bulaşık makinesi üretiminde gerçekleştirmiştir.³³

Önceleri ürün tasarımı için kullanılmış olan QFD, hizmet endüstrisi için de çok önemlidir. QFD, hem mal ve hem de hizmet temelli şirketlerde başarıyla uygulanmıştır. Şirketler, hizmetlerin geliştirilmesinde, eğitim programlarının oluşturulmasında, yeni işgörenlerin seçiminde ve yeni mal ve hizmetlerin tasarımında QFD metodunu kullanmışlardır. Ürün geliştirmede QFD metodunu kullanan firmalar, maliyetlerinde %50 oranında düşüş, ürün geliştirme zamanında %33 azalma ve verimlilikte %200 artış sağlamışlardır.³⁴

4.7.1. Kalite evi

Kalite Evi, QFD takımı tarafından oluşturulan QFD'nin temel yapısıdır. Müşteri istekleriyle ve bunları karşılamaya yönelik olarak belirlenen kalite karakteristiklerini ilişkilendirmeye, ürün özelliklerini algılamaya dayalı olarak karşılaştırmaya, kalite karakteristiklerini objektif ölçülere dayalı olarak karşılaştırmaya ve aralarındaki olumlu ya da olumsuz ilişkileri belirlemeye yarayan bir matrisler setidir.³⁵

Kalite evi, QFD'nin en çok bilinen şeklidir. Kalite evi matrisi, Pazar araştırmaları ve kıyaslama verilerinden elde edilen müşteri isteklerini, yeni bir ürün veya hizmet tasarımıyla karşılanacak makul sayıda önceliklendirilmiş mühendislik

³² Fatih Uysal; Kalite Fonksiyon Yayılımının İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2000, s.22.

³³ Ertuğrul; Age., s.276.

³⁴ Guinta Lawrence R.- Nancy C. Praizler; The Qfd Book, The Team Approach To Solving Problems And Satisfying Customers Through Quality Function Deployment, New York: Amacom, 1993, s.14.

³⁵ <http://www.kaliteofisi.com/makale/makaleler.asp?makale=51&ad=Yeni%20YÄ¶netim%20Teknikleri&id=15>

hedeflerine dönüştürmek için çok sayıda disiplinden uzmanların katılımıyla oluşmuş bir takım tarafından yürütülür.³⁶

Kalite evindeki temel görüş, yönetim ve öğrenme deneyimlerini planlayıp uygulayanların; müşteri ihtiyaçlarını temel alarak, her şeyi istekli olarak anlamaya çalışmaları olarak ifade edilmektedir. Şekil 4-7’de gösterildiği gibi, kalite evinde bulunan her bir odanın kendisine ait bir fonksiyonu bulunmaktadır. Bu odalar müşterilere en iyi hizmeti sunmak için gerekli bilgilerle donatılmaktadırlar.³⁷

- Kalite karakteristiklerinin belirlenmesi ve analizi,
- İlişki matrisinin oluşturulması ve analizi,
- Korelasyonların belirlenmesi ve analizi,
- Teknik kıyaslamaların yapılması ve hedeflerin belirlenmesi,
- Sonuçlara dayalı olarak geliştirme projesinin planlanması.

4.8. Matris Diyagramı

Matris analizi veya diyagramı, operasyonlar, ölçme sistemleri, yöntemler, fonksiyonlar gibi faktörler arasında ilişkiyi sağlar. İki faktörün ilişkisi açısından önemli ve anlamlı noktalarını ortaya çıkarır. Sıra ve sütunlara olayların faktörleri yazılır. Sıra ve sütunun kesişmesinde ilişki varsa, ilişkinin derecesiyle birlikte işaretlenir. İlişki yoksa boş bırakılır. Tablo 4-6’de üretim hatalarının nedenlerine bağlı olarak matris analizi verilmiştir.³⁹

Bir neden-sonuç matrisi, temel süreç girdi değişkenleri ile temel süreç çıktı değişkenleri arasında ilişki kurmaya ve sonuçta hangi temel süreç girdi değişkenlerine odaklanılması gerektiğini anlatan bir matristir. Bir neden-sonuç matrisi oluşturmak için şunların yapılması gerekir:⁴⁰

- Sürecin dokümantasyonu yapılırken belirlenen sürecin temel çıktı değişkenleri, matrisin sütunları halinde dikey olarak yerleştirilir. Bunlar, müşterinin bu süreçte en önemli olarak gördüğü temel değişkenlerdir.
- Temel çıktı değişkenlerine 1’den 10’a kadar öncelik sırası verilir. Bu değerlerden büyük olanları daha büyük bir önceliği gösterir. Örneğin, bir çıktı değişkeni için 8, diğeri için 3 değeri verilmişse; bunun anlamı, birinci çıktı değişkeninin diğerkinden müşteri gözünde daha büyük bir önceliğe sahip olmasıdır.
- Matrisin satırları olarak sürecin temel girdi değişkenleri yatay bir şekilde yerleştirilir. Bunlar, değişkenliği ve çıktı değişkenlerinden bazılarının kontrollerde uygun olmamalarını etkileyen değişkenlerdir.

³⁹ Akkurt; Age., s.250-251.

⁴⁰ Gürsakal –Oğuzlar; Age., s.161.

- Temel girdi değişkenleri belirlendikten sonra bu değişkenlerin her birinin temel çıktı değişkenleri üzerindeki etki miktarı, yine 1'den 10'a kadar değerler verilerek belirlenir.
- İkinci adımda belirlenen temel süreç çıktı öncelikleri, dördüncü adımda belirlenen temel girdi değişkenlerinin etki miktarları ile çarpılarak toplanır.
- Bu durumda temel süreç girdi değişkenlerinin önceliği, toplam değerlerden veya onların yüzdelerinden belirlenebilir.⁴¹

Bir ekseninde kriterleri, diğer ekseninde seçenekleri gösteren L biçimli bir matris olan sebep-sonuç matrisi öngörülen kriterler bazında en iyi seçenekleri belirlemek için kullanılır. Öncelik matrisleri için iki uygulama mevcuttur:⁴²

- Çıktı değişkenlerini müşteri ihtiyaçları ile ilişkilendirmek,
- Girdi ve proses değişkenlerini çıktı değişkenleri ile ilişkilendirmek.

Tablo 4-6: Üretim hatalarının nedenlere bağlı bir matris analizi

H a t t a T i p l e r i	I										
	II										
	III										
	IV										
	V										
	VI										
	VII										
	VIII										
	IX										
	X										
Nedenleri		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Kuvvetli ilişki  = Orta ilişki  = Zayıf ilişki											

Kaynak: Mustafa Akkurt; Kalite Kontrol-Excel Destekli, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2002, s.251.

⁴¹ Gürsakal –Oğuzlar; Age., s.161.

⁴² Rath&Strong Management Consultants. Six Sigma Pocket Guide, 2nd Printing, Massachusetts, 2001, s.250-251.

5 x 5 Matris Diyagramı (L Tipi Matris), özellikle sebep-sonuç ilişkilerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu metot, basit olması dolayısıyla tek başına risk analizi yapmak zorunda olan analistler için idealdir. Ancak, değişik prosesler içeren veya birbirinden çok farklı akım şemasına sahip işlerin hepsi için tek başına yeterli değildir ve analistin birikimine göre metodun başarı oranı değişir. Bu tür işletmelerde özellikle aciliyet gerektiren ve bir an evvel önlem alınması gerekli olan tehlikelerin tespiti için kullanılmalıdır. Bu metot ile öncelikle bir olayın gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi halinde sonucunun derecelendirilmesi ve ölçümü yapılır. Tablo 4-7’de bu durum bir matrisle gösterilmiştir.⁴³

Tablo 4-7:Risk değerlendirme karar matrisi

	ŞİDDET				
İHTİMAL	1 (Çok Hafif)	2 (Hafif)	3 (Orta)	4 (Ciddi)	5 (Çok Ciddi)
1 (Çok Küçük)	Anlamsız 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
2 (Küçük)	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
3 (Orta Derce)	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4 (Yüksek)	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
5 (Çok Yüksek)	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Tolere Edilemez 25

⁴³ http://www.isguv.com/risk_degerlendirme.htm

4.9. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)

Klasik kalite kontrol sistemi ile yeni geliştirilmiş Toplam Kalite Kontrol ve Toplam Kalite Yönetimi gibi sistemler arasındaki önemli bir fark, ürünlerde meydana gelen hatalarla ilgilidir. Klasik kalite kontrol sisteminde hatalar, ürün imal edildikten sonra yakalanmaya çalışılır. Bu durumda hatalı ürünlerin maliyeti genel imalat maliyetine yüklenmekte ve toplam maliyeti artırmaktadır. Yeni geliştirilmiş kalite sistemlerinde ise düşünce, hataları ürünü imal etmeden önce tasarım aşamasında hatalı mal üretmeyi engellemektir. Bu şekilde bir taraftan hatalı ürün miktarı azalacak (mümkünse sıfıra indirilecek), buna bağlı hatalı ürün maliyeti ve bununla beraber genel imalat maliyeti de azalacaktır.

HTEA olarak adlandırılan Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi, açıklanan amaca uygun olarak, hataları oluşmadan önce önlemeye yönelik bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. HTEA, bir ürün, işlem veya hizmette meydana gelebilecek tüm hasar ve hata tiplerinin sistematik analizine dayanarak, bu hasar ve hataları önleme faaliyetlerini içeren bir yöntem olarak ifade edilebilir. Amaç; tasarım, proses tasarımı, üretim kademelerinde oluşabilecek hataları, bu kademeler tamamlanmadan önce belirlemek ve gidermektir.⁴⁴

HTEA, hataların türlerini ve etkilerini belirleyerek, tasarım veya süreç açısından ürün veya sürecin karşılaşılabileceği olası hataları ve bunların etkilerini tanımak, değerlendirmek ve bunların oluşma ihtimallerini azaltacak veya ortadan kaldıracak önlemleri almak olarak tanımlanabilir. Tanımdan da anlaşılacağı gibi HTEA, hatalar gerçekleştikten sonra alınacak önlemlerle ilgilenmek yerine, daha hatalar gerçekleşmeden, gerçekleşmesi olası hataların türlerini ve etkilerini belirleyerek onların oluşma ihtimallerini azaltacak veya ortadan kaldıracak önlemleri almakla ilgilenir.

Hata Türü ve Etkileri Analizi, NASA tarafından 60'lı yılların ortalarında havacılık ve uzay sanayinde Apollo projesinde uygulanmıştır. 70'li yılların ilk yarısında ABD'de uçak sanayinde uygulanan Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin otomotivdeki ilk uygulaması ise Ford firması tarafından yapılmıştır. Analiz Fransız şirketlerince kısaca AMDEC olarak adlandırılmaktadır. Proaktif bir teknik olan HTEA; potansiyel, diğer bir deyişle gerçekleşme olasılığı bulunan hataların türleri ve etkileri ile ilgilenir.

⁴⁴ Akkurt; Age., s.307.

1980’li yılların ortalarına kadar ABD’deki üç büyük otomobil firması farklı standartlar kullanıyordu. Daha sonra bu farklı standartlar QS-9000’de birleştirildi. Şimdi QS-9000’i kullanan firmaların hem ürün tasarımında hem de üretiminde HTEA’yı kullanmaları gerekiyor.⁴⁵

HTEA, her hata türü için bir risk önceliği değeri (Risk Priority Number-RPN) oluşturur. RPN değeri büyüdükçe hatanın ciddiyeti artmakta ve tasarım çabası içinde bu hata ile ilgilenilmesi önem kazanmaktadır. Büyük RPN değerine sahip olan hatalar öncelikle tasarım sırasında ortadan kaldırılmalı veya azaltılmalıdır.⁴⁶

Bu analizin genelde firma içindeki mühendisler ve teknisyenler tarafından yapılması HTEA’nın zayıf yönüdür. Bu kişilerde ürüne ilişkin tüm teknik bilgiler bulunmakla birlikte, söz konusu kişiler olayın genelini göremezler. Bunun için tedarikçiler, müşteriler, sigortacılar ve özellikle servis personeli de analiz ekibine katılmalıdır.⁴⁷

Tablo 4-8: Hata olasılığının değerlendirilmesi

Hata Olasılığı	Hata Oranları	C _{pk}	Derece
Hemen hemen kesin	$\geq \frac{1}{2}$	$<0,33$	10
Çok yüksek	1/3	$\geq 0,33$	9
Yüksek	1/8	$\geq 0,51$	8
	1/20	$\geq 0,67$	7
Orta	1/80	$\geq 0,83$	6
	1/400	$\geq 1,00$	5
	1/2000	$\geq 1,17$	4
Düşük	1/15000	$\geq 1,33$	3
Çok düşük	1/150000	$\geq 1,50$	2
Hemen hemen imkânsız	$\leq 1/1500000$	$\geq 1,67$	1

Kaynak: Necmi Gürsakal - Ayşe Oğuzlar; Altı Sigma, Vipaş A.Ş., Bursa, 2003, s.157.

⁴⁵ Revelle B. Jack- Moran W. John- Cox A. Charles; QFD Handbook, John Wiley & Sons Inc., New York, 1998, s.107.

⁴⁶ Gürsakal –Oğuzlar; Age., s.157.

Risk öncelik değeri olan RPN hesaplandıktan sonra büyük RPN değerine sahip olan hatalar öncelikle tasarım sırasında ortadan kaldırılmalıdır. Risk Öncelik Değeri, (Hata Olasılığı)*(Etkinin Önem Derecesi)*(Hatanın Saptanabilirliği) çarpımından elde edilir.

Örnek: E-ticaret şirketi Nitwit.com'daki yöneticiler ve mühendisler, on-line katalogun güncellenmesinde hiçbir şeyin yanlış gitmeyeceğinden emin olmak istiyorlardı. İşte tanımladıkları sorunlardan ikisi ve yaptıkları analiz:

1. Yeni bir malda yanlış süsleme kullanılmış.

Önem = 5

Meydana Gelme = 5

Belirlenme = 3

Risk Öncelik Sayısı (RÖS) = $5*5*3 = 75$

2. Alıcılar bir mal için sipariş veremiyorlar.

Önem = 8

Meydana Gelme = 5

Belirlenme = 6

Risk Öncelik Sayısı (RÖS) = $8*5*6 = 240$

Bu değerlendirmeyi temel alarak, siparişlerin verilememesi üzerinde odaklandılar ve tüm yeni ürün numaralarının sipariş sistemine gönderilmesinden emin olmak için önleyici ölçümler yaptılar.⁴⁸

Dört çeşit HTEA vardır. Bunlar:⁴⁹

Sistem HTEA: Sistemleri analiz etmede kullanılır. Sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistem eksiklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanır. Tasarımın neden olduğu sistem fonksiyonları ile ilişkili potansiyel başarısızlıklara odaklanır.

Tasarım HTEA: HTEA ürünün tasarımı aşamalarında görülebilecek potansiyel veya bilinen hata türlerini belirleyen, gereken takip ve düzeltme faaliyetlerine imkân sağlayan bir metottur.

⁴⁷ Revelle B. Jack, Moran W. John, Cox A. Charles, QFD Handbook, John Wiley & Sons Inc., New York, 1998, s.109.

⁴⁸ Robert P. Neuman- Peter S. Pande – Roland R. Cavanagh; Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri, Çev: Nafiz Güder, Dharma Yayınları, İstanbul, 2002, s.433-434.

⁴⁹ Besim Akın; Hata Türü ve Etkileri Analizi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1998, s.42.

Süreç HTEA: Süreç HTEA, süreç işleyişi sırasında meydana gelebilecek potansiyel veya bilinen hata türlerini tanımlayan ve sürece yönelik gereken takip ve düzeltme faaliyetlerine imkân sağlayan bir metottur.

Tablo 4-9’de bir Hata Türü ve Etkileri analizi formu ve Tablo 4-10’de de bir şiddet değerlendirme kriterleri tablosu verilmiştir.

Tablo 4-9: Hata Türü ve Etkileri analizi formu

Ürün/Süreç	Hata Türleri	Hata Etkileri	Şiddet	Sebepler	Olasılık	Kontrol	Keşfedilebilirlik	Risk Öncelik Sayısı	Önerilen İyileştirmeler	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	Risk Öncelik Sayısı

HTEA tablosu soldan sağa doğru doldurulur. Bir ürün/süreç için hata türleri belirlenir. Her hata türünün birçok etkisi, her etkinin birçok sebebi olabilir. Her sebebin kontrol edilmesi için bir yöntem vardır ya da yoktur. Bütün bu sütunlar ağırlıklandırılır. Böylece problemler dikkat çekecek şekilde işaretlenmiş olur. Tablo 4-9’da bulunan terimler kısaca şu şekilde açıklanabilir:⁵⁰

Hata türleri: Bir ara ürün, sistem ya da sürecin istenen fonksiyonunu gerçekleştirememesidir.

Hata etkileri: Bir sistem ya da alt sistemde ortaya çıkan hatanın müşteri üzerindeki etkisidir. Bölgesel ve genel olmak üzere iki tip etki söz konusudur. Bölgesel etkide diğer parçalar etkilenmez. Genel etkide diğer fonksiyonlar ve parçalar etkilenebilir.

Şiddet: Etkinin müşteri üzerinde ne kadar belirgin olduğunu gösterir. Tablo 4-10'da gösterildiği gibi 1'den 10'a kadar sıralanan kategoride 10 en kötü durumu belirtir.

Sebepler: Her hata türü için olası sebepler listelenir. Hatanın nasıl önlenebileceğini ve düzeltilebileceğini gösterdiği için HTEA'nın bu adımı önemlidir.

Olasılık: Hatanın ortaya çıkma olasılığıdır. Tablo 4-10'da gösterildiği gibi 1'den 10'a kadar sıralanan kategoride 10 en kötü durumu belirtir.

Kontrol: Hatayı engellemek için yapılan kontrollerdir.

Keşfedilebilirlik: Müşteriye ulaşmadan önce hatayı yakalama yeteneğidir.

Tablo 4-10: Şiddet değerlendirme kriterleri

1.	Müşteri olumsuzluğa dikkat etmez.
2.	Müşteri olumsuzluğa tecrübelerine dayanarak önem vermez.
3.	Ürün performansı veya süreç üzerinde önemsiz etki oluşur. Hata müşteriler tarafından fark edilir.
4.	Performansın düşmesinden dolayı müşteri tatminsizliği oluşur.
5.	Müşteri memnun değildir veya kendi verimliliği devam eden olumsuzluktan dolayı azalmaktadır.
6.	Parçanın yeniden işlenmesine/onarılmasına neden olur. Ürün performansının derecesi düşmüştür. Ürün çalışmaktadır fakat kolaylık/rahatlık sağlayan bazı parçalar çalışmaz. Müşteri hoşnutsuzluk duyar.
7.	Fonksiyonun tümünü kaybetmeksizin parçanın çalışmamasından dolayı yüksek derecede müşteri tatminsizliği oluşur.
8.	Güvenlikte olumsuz etki yapmaksızın tüm fonksiyonun kaybedilmesinden dolayı çok yüksek derecede tatminsizlik oluşur.
9.	Müşteri güvenlik sistem performansı olumsuz etkiden dolayı tehlikeye düşmektedir. Ancak bu tehlikeye düşmeden önce uyarı almaktadır.
10.	Müşteri hiçbir uyarı almaksızın güvenlik sistemi tehlikeye düşmektedir.

Kaynak: Besim Akın, Hata Türü ve Etkileri Analizi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1998, s.47.

⁵⁰ Akın; Age., s.45.

4.10. Ölçüm Sistemi Analizi (Gage R&R)

Ölçüm Sistemi Analizi çalışmasıyla ölçümlerin doğru olup olmadığı araştırılır. Buna tekrar edebilme ve yeniden üretilebilme ölçümü çalışması da denir. Uygulanışı şu şekildedir:

- Birden çok operatör, birden çok parçayı, birden çok defa ölçer. Örneğin, 3 operatörün her biri 7 parçayı 2'şer defa ölçer.
- Operatörün ölçtüğü parçayı özel bir testin bir parçası olarak yaptığını bilmemesi arzu edilen bir durumdur. Operatörler hangi birimi ölçtüklerini bilmemelidirler.

Çalışma sonuçlarındaki değişkenlik analiz edilir ve bu değişkenliğin ne kadarının operatördeki değişimlerden, ne kadarının teknikler veya parçaların kendilerinde kaynaklandığına karar verilmelidir.⁵¹

Firmalar genellikle ölçümlerinin doğru olup olmadığına gerekli hassasiyeti göstermezler. Bir parçanın doğru olarak ölçülmemesi; doğru parçaların reddedilmesi, hatalı parçanın da kabul edilmesi demektir. Bu durum firmanın zarar etme ihtimalini doğurur. Matematiksel anlamda ölçüm sistemi, ölçüm varyansını ölçer. Ölçümdeki değişkenlik ölçülen parçanın değişkenliğine veya ölçüm sisteminin kendisine bağlanabilir. Bu durumda toplam değişkenlik;

$$\sigma_{ölçüm\ hatası}^2 = \sigma_{operatör(yeniden\ üretebilirlik)}^2 + \sigma_{test(tekraredebilirlik)}^2$$

olmak üzere,

$$\sigma_{toplam}^2 = \sigma_{ürün}^2 + \sigma_{ölçüm\ hatası}^2$$

eşitliği ile ifade edilir.⁵² Toplam değişkenliğin iki tür değişkenlikten kaynaklandığı Şekil 4-8'de gösterilmiştir.

Sürekli değişkenler için ölçüm sisteminden istenen karakteristikler şunlardır:⁵³

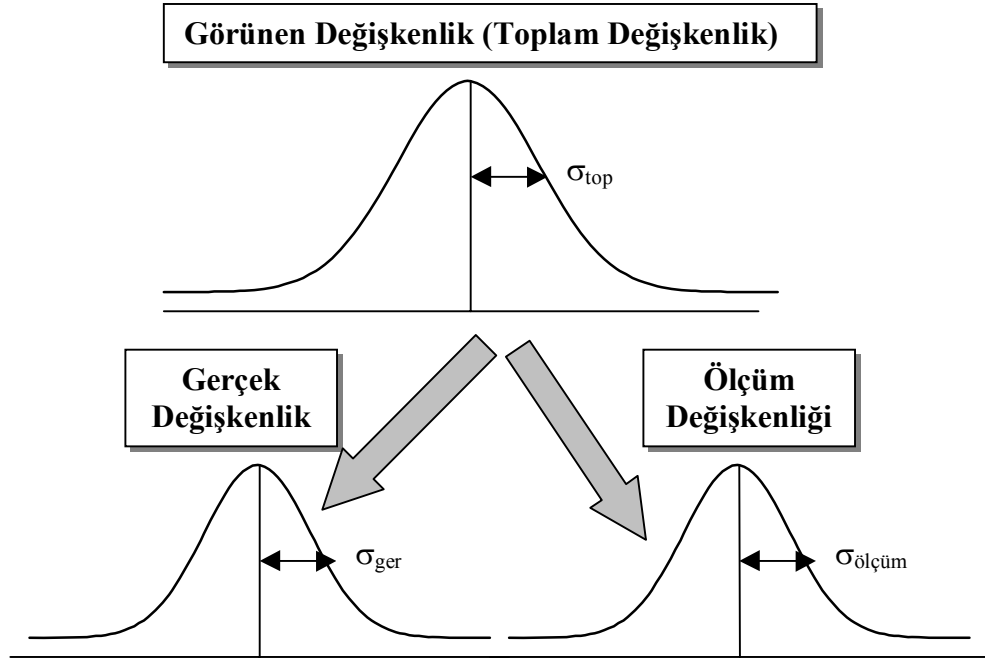
Tekrar edebilirlik: Aynı insanın aynı parçayı ölçerken aynı sonuçları elde edebilmesidir.

Yeniden üretilebilirlik: Aynı kalite karakteristiği iki farklı kişi tarafından aynı cihaz kullanılarak ölçüldüğünde, aynı değerlerin bulunmasıdır.

⁵¹ Rath&Strong Management Consultants. Six Sigma Pocket Guide, 2nd printing, Massachusetts, 2001, s.42-43.

⁵² Breyfogle; Age., s.226.

⁵³ Burnak; Age., s.74-75.



Şekil 4-8: Toplam süreç değişkenliği grafiği

Kaynak: S.P.A.C.; Altı Sigma Mükemmellik Modeli, S. P. A. C. Danışmanlık Şirketi Yayınları, Ankara, 2003, s.94.

Doğruluk: Bir ölçümün doğruluğu, yapılan bir dizi ölçüm değerlerinin ölçülen kalite karakteristiğine gösterdikleri uyumdur. Bir başka ifadeyle doğruluk, ölçüm değerlerinin ortalaması ile ölçülen kalite karakteristiğinin gerçek değeri arasındaki farktır. Doğruluk genellikle tekrarlanan ölçümlerin ortalamasının, bilinen standart bir değer ile karşılaştırılması sonucu test edilir.

Durağanlık: Tek bir kişi tarafından aynı şekilde alınan ölçümlerin zaman karşısında az veya hiç değişim göstermemesidir.

Örnek: Bu örnek, otomotiv üretimi yapan bir firmanın yaptığı incelemelerle ilgilidir. Otomotiv gövdelerinin ölçülmesi için, yeni, taşınabilir, üç boyutlu ölçüm cihazının satın alınması kararının verilmesi gerekmektedir. Mevcut durumda, bu ölçümü sağlıklı yapabilen bir üç boyutlu cihaz bulunmaktadır. Ama bu cihaz taşınabilir değil, sabittir. Dolayısıyla bir gövdenin ölçülmesi için, gövdenin üretim sahasından cihazın bulunduğu odaya taşınması gereklidir. Bu taşıma operasyonunu engellemek ve gövdenin değişik üretim aşamalarındaki ölçümlerini yapabilmek için, taşınabilir üç boyutlu ölçüm cihazı araştırması yapılmış ve alternatif bir firma, böyle bir ürünü deneme amaçlı olarak fabrikaya getirmiştir.

Tablo 4-11: Gövde ölçümleri Gage R&R verileri

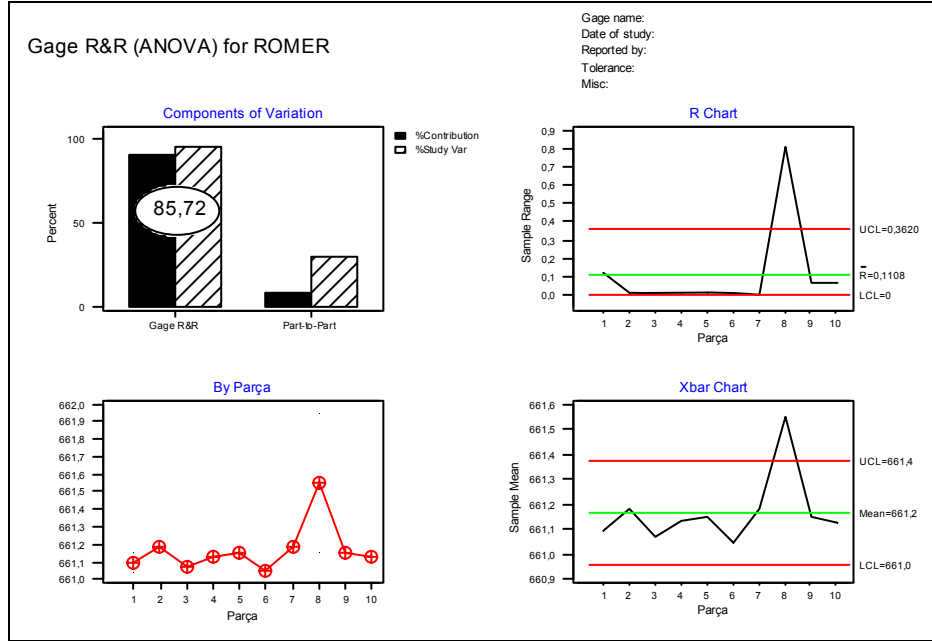
Parça	Operatör	ROMER	ZEISS
1	İsmet	661.032	161.182
2	İsmet	661.191	161.210
3	İsmet	661.079	161.159
4	İsmet	661.135	161.239
5	İsmet	661.140	161.224
6	İsmet	661.046	161.084
7	İsmet	661.184	161.262
8	İsmet	661.148	161.416
9	İsmet	661.181	161.162
10	İsmet	661.098	161.172
1	İsmet	661.149	161.185
2	İsmet	661.179	161.217
3	İsmet	661.067	161.148
4	İsmet	661.127	161.236
5	İsmet	661.155	161.215
6	İsmet	661.051	161.085
7	İsmet	661.186	161.257
8	İsmet	661.957	161.428
9	İsmet	661.113	161.166
10	İsmet	661.158	161.171

Sorun, yeni taşınabilir ölçüm cihazının, gövdelerin ölçümüne uygun olup olmadığıdır. Bu sorunun cevabını bulabilmek için, 10 adet gövde alınmış ve Gage R&R testi uygulanmıştır. Daha önceden var olan ölçüm cihazı İsmet adlı operatör tarafından kullanılmaktadır. İsmet'in yeni cihaza alışması için Gage R&R testi birkaç kez tekrar edilmiş ve iyileştirmelerden sonraki en son Gage R&R testinde Tablo 4-11'deki sonuçlar elde edilmiş ve ardından da bu veriler Minitab yardımı ile analiz edilmiştir.

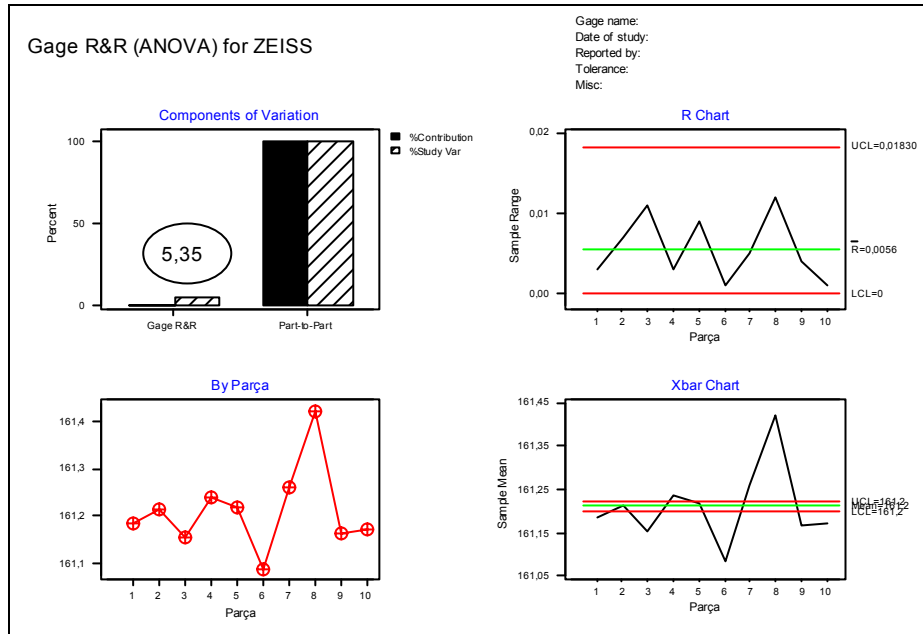
Bu 10 gövde, İsmet tarafından her iki aletle de ikişer defa ölçülmüştür. Sistemde tek operatör olduğundan, Gage R&R operasyonunda, operatörlerin birbirleri arasındaki farkı gösteren yeniden üretilebilirlik söz konusu olmayacaktır.

Son verilerle yapılan analizlerde Şekil 4-9 ve Şekil 4-10'deki sonuçlar ortaya çıkmıştır. Eski cihazla aynı gövdeler ölçüldüğünde, ölçümler arasındaki en fazla fark

0.015 mm iken, yeni cihazda bu fark 0.2 mm'lere kadar çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak da, eski cihazda Gage R&R değeri %5 iken, yeni cihazda bu oran %86'ya çıkmaktadır.



Şekil 4-9: Minitab çıktısı (ROMER)-iki cihazın karşılaştırılması grafiği



Şekil 4-10: Minitab çıktısı (ZEISS)-iki cihazın karşılaştırılması grafiği

Her ne kadar iki ölçüm cihazının master ölçümlerindeki yeterlilikleri iyi olsa da, otomotiv gövdelerinin ölçümünde, hem operatörün kullanımı hem de ölçüm aletinin gövde ölçümüne uygunluğu açısından, yeni ölçüm cihazı bu ölçümü yapmak için uygun değildir. Dolayısıyla, gövde ölçümleri için bu ölçüm cihazının alınması yanlış bir yatırım olacaktır.⁵⁴

4.11. Varyans Analizi (ANOVA)

Uygulamada en çok karşılaşılan problemlerden biri, ikiden fazla grup ortalaması arasındaki farkın önemli olumlu olup olmadığının tespiti. Bu tespitin aynı metotla ikişer ikişer gruplandırılarak yapılması mümkündür. Ancak grup sayısının artmasıyla test sayısı artar. Bu da testlerin yapılmasında büyük zorluklar meydana getirmekte ve önemli hataların yapılmasına sebep olur. Bu nedenle istatistikte çok sayıda grup ortalamasının birden karşılaştırılmasına imkân veren bir metodun geliştirilmesi gerekir. Bu metot R.A. Fisher tarafından 1924 yılında geliştirilmiştir. Bu teknik varyanslar arasındaki farkın karşılaştırılmasına dayandığından “Varyans Analizi” denilmiştir.

Varyans Analizi, esas itibarıyla serilerin toplam varyansını, her biri ayrı bir değişim kaynağına bağlı unsurlara bölerek bunların arasında önemli bir fark bulunup bulunmadığını araştırmak, dolayısıyla çeşitli kaynakların önemini tespit etmek amacıyla kullanılır.⁵⁵ Bir başka deyişle, her bir faktörün ve hatanın ortalama değerden sapmalarının kareler toplamı aracılığıyla, ölçülen verilerin toplam değişkenliğini tespit edip ayırmaktır.⁵⁶

4.11.1. Tek yönlü varyans analizi

Bu tip varyans analizlerinde tek bir etkisi incelenen değişkenler söz konusudur. Örneğin, dört değişik markadaki otomobil markasının yakmış olduğu benzin miktarının ortalamalarının araştırılması gibi.

⁵⁴ S.P.A.C. Altı Sigma Mükemmellik Modeli Nedir?, S.P.A.C. Danışmanlık Şirketi Yayınları, Ankara, 2003, s.98-100.

⁵⁵ Kenan Gürtan; İstatistik ve Araştırma Metotları, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1982, s.787.

⁵⁶ Bendell A., Disney J., Pridmore W. A., Taguchi Methods: Applications In World Industry, Springer Verlag, Berlin, 1989, s.135.

Aynı varyansa sahip olduğu varsayılan k-tane normal dağılmış anakütlenin ortalaması karşılaştırılmak istensin. Bu durumda hipotezler şöyledir:⁵⁷

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

H_0 : Anakütle ortalamalarının en az ikisi eşit değildir.

Tek yönlü varyans analizi tablosu Tablo 4-12’da verilmiştir.

Tablo 4-12: Tek yönlü varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Test İstatistiği
Gruplar Arası	GAKT	k-1	$S_1^2 = \frac{GAKT}{k-1}$	$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$
Gruplar İçi (Hata)	GİKT	k(n-1)	$S_2^2 = \frac{GİKT}{k(n-1)}$	
Toplam (Genel)	GKT	n.k-1		

Kaynak: Mahmut Kartal; Bilimsel Araştırmalarda Hipotez Testleri: Parametrik ve Nonparametrik Teknikler, Şafak Yayınevi, 2.Baskı, Erzurum, 1998, s.71.

Tabloda belirtilen GAKT, GİKT ve GKT değerleri,

$$GAKT = n \sum_{j=1}^k (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2$$

$$GİKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

$$GKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\bar{X}_{ij} - \bar{\bar{X}})^2$$

formülleriyle hesaplanır.⁵⁸

F testinde kritik değer, payın ve paydanın serbestlik derecesine göre F tablosundan tespit edilir. Payın serbestlik derecesi $v_1 = k-1$, paydanın serbestlik derecesi $v_2 = k(n-1)$ olmak üzere tablodan bulunan $F_{\alpha; v_1; v_2}$ değeri ile hesaplanan F değeri

⁵⁷ Mustafa Aytaç; Matematiksel İstatistik, Ezgi Kitabevi Yayınları, Bursa, 1999, s.412.

⁵⁸ Alder, Henry L.-Roesslei, Edward B. Introduction Probability and Statistic, San Fransisco, WH Fneman and Comp., 1977, s.320.

karşılaştırılır. Hesaplanan F değerinin büyük olması halinde H_0 hipotezi reddedilerek ortalamaların farklı olduğuna karar verilir.

Örnek: A, B ve C gibi üç marka otomobilin aynı mesafe için yakıt tüketimi değerleri Tablo 4-13’de verilmiştir. Otomobillerin yakıt tüketimleri arasında bir fark olup olmadığı %1 önem seviyesinde test edilsin.⁵⁹

Tablo 4-13: Üç arabanın yakıt tüketim değerleri

A Arabaları	B Arabaları	C Arabaları
22.2	24.6	22.7
19.9	23.1	21.9
20.3	22.0	23.3
21.4	23.5	24.1
21.2	23.6	22.1
21.0	22.1	23.4
20.3	23.5	
Toplam 146.3	162.4	137.4

İlk adım, k tane gözlem öbeğinin örneklem ortalamasının hesaplanmasıdır. Bu örneklem ortalamaları $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ ile gösterilsin. Bu durumda,

A arabalarının örneklem ortalaması: $\bar{x}_1 = 146.3/7 = 20.9$

B arabalarının örneklem ortalaması: $\bar{x}_2 = 162.4/7 = 23.2$

C arabalarının örneklem ortalaması $\bar{x}_3 = 137.4/6 = 22.9$

$$\text{Genel ortalama, } \bar{\bar{X}} = \frac{n_1 \bar{x}_1 + n_2 \bar{x}_2 + n_3 \bar{x}_3}{n_1 + n_2 + n_3} = \frac{146,3 + 162,4 + 137,4}{7 + 7 + 6} = \frac{446,1}{20} = 22,305$$

olarak bulunur.

$$\begin{aligned} GAKT &= n_j \sum (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2 = 7(20,9 - 22,305)^2 + 7(23,2 - 22,305)^2 + 6(22,9 - 22,305)^2 \\ &= 13,818 + 5,607 + 2,124 \\ &= 21,549 \end{aligned}$$

$$GİKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 = (X_{i1} - \bar{X}_1)^2 + (X_{i2} - \bar{X}_2)^2 + (X_{i3} - \bar{X}_3)^2$$

⁵⁹ Paul Newbold; İşletme ve İktisat için İstatistik, Çev: Ümit Şenesen, Literatür Yayınları, Yayın No:44, İstanbul, 2002, s.672.

Tablo 4-14: GİKT değerini bulmak için yapılan hesaplamalar

$(X_{i1} - \bar{X}_1)^2$	$(X_{i2} - \bar{X}_2)^2$	$(X_{i3} - \bar{X}_3)^2$
$(22.2-20.9)^2 = 1.69$	$(24.6-23.2)^2 = 1.96$	$(22.7-22.9)^2 = 0.04$
$(19.9-20.9)^2 = 1$	$(23.1-23.2)^2 = 0.01$	$(21.9-22.9)^2 = 1$
$(20.3-20.9)^2 = 0.36$	$(22.0-23.2)^2 = 1.44$	$(23.3-22.9)^2 = 0.16$
$(21.4-20.9)^2 = 0.25$	$(23.5-23.2)^2 = 0.09$	$(24.1-22.9)^2 = 1.44$
$(21.2-20.9)^2 = 0.09$	$(23.6-23.2)^2 = 0.16$	$(22.1-22.9)^2 = 0.64$
$(21.0-20.9)^2 = 0.01$	$(22.1-23.2)^2 = 1.21$	$(23.4-22.9)^2 = 0.25$
$(20.3-20.9)^2 = 0.36$	$(23.5-23.2)^2 = 0.09$	
Toplam = 3.76	Toplam = 4.96	Toplam = 3.53

Bulunan tablo değerleri formülde yerine yazılırsa,

$$GİKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 = 3.76 + 4.96 + 3.53 = 12.25$$

olarak bulunur. Bulunan değerler 2 ve 17 serbestlik dereceleri ile birlikte varyans analizi tablosunda yerlerine yazılırsa Tablo 4-15 elde edilir.

Tablo 4-15: Tek yönlü varyans analizi tablosu sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Test İstatistiği
Gruplar Arası	21.549	2	$S_1^2 = 10,7745$	$F = 14.9523$
Gruplar İçi (Hata)	12.25	17	$S_2^2 = 720588$	
Toplam (Genel)	33.796	19		

$v_1 = 2$, $v_2 = 17$ serbestlik dereceleri ve %1 anlamlılık düzeyinde kritik F değeri Ekler tablosundan $F_{2,17,0.01} = 6.11$ olarak bulunur. Hesaplanan F test istatistiği değeri, kritik F tablo değerinden büyük olduğundan üç arabanın yakıt tüketiminin anakütle ortalamaları aynıdır diyen sıfır hipotezini %1 anlamlılık düzeyinde reddetmemize izin verir.

4.11.2. İki yönlü varyans analizi

İkiden fazla anakütle ortalaması karşılaştırılırken, iki niteliğe göre etki farklılığının olup olmadığı tespit edilecekse, yani veriler iki kritere göre sınıflandırıldığında iki yönlü varyans analizi kullanılır.⁶⁰ Örneğin A, B, C marka otomobillerin aynı mesafe için kullandıkları yakıt miktarları not edilsin. Eğer otomobillerin tüketmiş oldukları yakıtlar arasında bir farklılık araştırılacaksa tek yönlü varyans analizi söz konusudur. Fakat her bir sürücünün otomobili kullanma şekli de birbirinden farklılık arz edebileceğinden, bu durumda sürücüler arasında bir farklılık olup olmadığı da araştırılmak istenirse iki yönlü varyans analizi yapılmış olur. Bu duruma örnek olarak beş sürücünün üç araba türüyle sarf ettikleri yakıt miktarları Tablo 4-16'da gösterilmiştir.⁶¹

Tablo 4-16: Beş sürücünün üç araba türüyle elde ettiği yakıt tüketimi gözlemleri

Sürücü	Arabalar								
	X Arabaları			Y Arabaları			Z Arabaları		
1	25.0	25.4	25.2	24.0	24.4	23.9	25.9	25.8	25.4
2	24.8	24.8	24.5	23.5	23.8	23.8	25.2	25.0	25.4
3	26.1	26.3	26.2	24.6	24.9	24.9	25.7	25.9	25.5
4	24.1	24.4	24.4	23.9	24.0	23.8	24.0	23.6	23.5
5	24.0	23.6	24.1	24.4	24.4	24.1	25.1	25.2	25.3

4.12. Serpilme Diyagramı

Serpilme diyagram ile üretilen ürünün kalitesini etkileyen herhangi iki özellik arasında ilişkinin var olup olmadığı araştırılır. Bu diyagram ile sadece iki değişken arasındaki ilişkinin durumu incelenir. Aralarındaki ilişkinin yönü ve şiddeti belirlenebiliyorsa, bunlarla yapılan çeşitli kombinasyonlarla kalite üzerinde etkili olmak mümkün olabilmektedir. Uygun bir dağılım diyagramı çizmek için aralarında anlamlı bir ilişki bulunan ve birbirini etkilemekte olan iki adet değişkenle ilgili olarak, belirlenen bir zaman süresinde 50-100 adet arasında örnek alınmalı ve hesaplamalar bunlara göre yapılmalıdır.⁶²

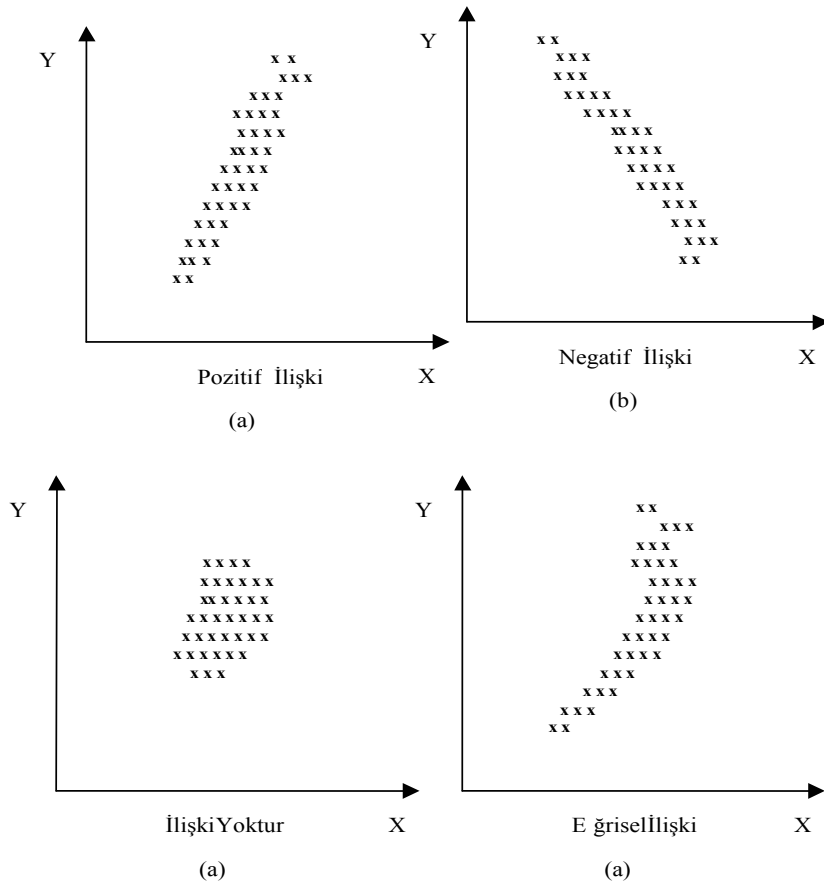
⁶⁰ Necla Çömlekçi; Deney Tasarımı ve Çözümlemesi, Bilim ve Teknik Kitabevi, Eskişehir, 1988, s.75.

⁶¹ Newbold; Age., s.691.

⁶² Şimşek; Age., s.277.

İmalat ortamlarında optimum kalite düzeyine ulaşabilmek ve süreç üzerinde kontrolü sağlayabilmek için iki karşılıklı değişken arasındaki ilişkinin incelenmesi gerekir. Örneğin, bir tornanın hızının değiştirilmesi bir makine parçasının boyutunda ne gibi bir değişikliğe yol açacaktır? Bu ve bunun gibi durumlarda “serpilme diyagramı” kullanılır.⁶³

Serpilme diyagramı sebep-sonuç ilişkisini önceden belirleyemez. Sadece iki değişken arasındaki ilişkinin lineer, parabolik veya başka matematiksel bir ilişki olup olmadığını belirtir.⁶⁴ Değişik durumlar için serpilme diyagramları Şekil 4-11’de gösterilmiştir.



Şekil 4-11: Değişik durumlar için serpilme diyagramları

Kaynak: Mustafa Akkurt; Kalite Kontrol-Excel Destekli, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002, s.233.

⁶³ Rıdvan Bozkurt; Kalite İyileştirme Araç ve Yöntemleri: İstatistiksel Teknikler, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 630, Ankara, 2001, s.192.

⁶⁴ Canan Çetin- Besim Akın-Vedat Erol; Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi, Beta Yayınları, 2.Baskı, İstanbul, 2001, s.72.

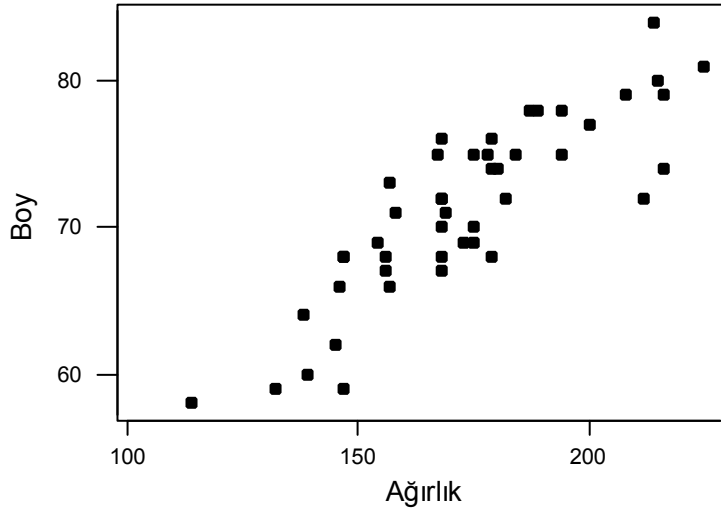
Örnek: Amerikan Basketbol Liginin yeni komisyonu, oyuncuların boyları ile ağırlıklar arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını bulmak için bir serpilme diyagramı oluşturmak istiyor. Bunun için 48 oyuncunun boy ve ağırlıkları serpilme diyagramı oluşturmak için kullanılmıştır.⁶⁵

Tablo 4-17: Her bir oyuncunun boy ve ağırlık verileri

Oyuncu	Ağırlık	Boy	Oyuncu	Ağırlık	Boy
1	132	59	24	154	69
2	114	58	25	189	78
3	187	78	26	175	75
4	214	84	27	146	66
5	158	71	28	138	64
6	212	72	29	178	75
7	175	69	30	208	79
8	147	59	31	145	62
9	173	69	32	168	68
10	182	72	33	225	81
11	194	78	34	157	66
12	215	80	35	168	67
13	180	74	36	179	76
14	147	68	37	139	60
15	168	76	38	168	72
16	157	73	39	179	74
17	168	70	40	156	68
18	179	68	41	184	75
19	216	74	42	169	71
20	200	77	43	175	70
21	194	75	44	168	72
22	147	68	45	167	75
23	156	67	46	216	79

Şekil 4-2’de görüldüğü gibi oyuncuların boyları ve ağırlıkları arasında pozitif korelasyon mevcuttur.

⁶⁵ <http://deming.eng.clemson.edu/pub/tutorials/qctools/scatm.htm>



Şekil 4-12: Örneğe ait serpilme diyagramı

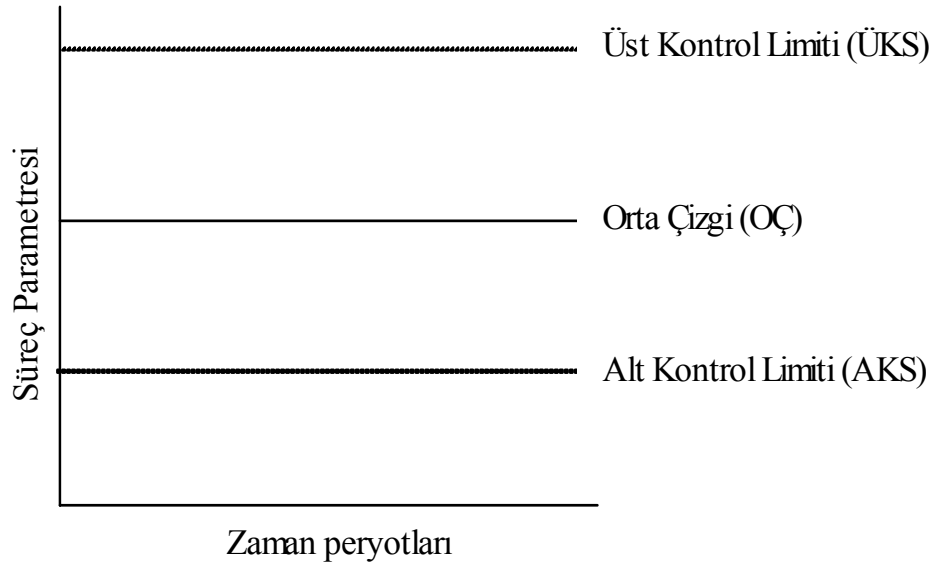
4.13. Kontrol Grafikleri

1920’li yılların ikinci yarısında, Bell Telefon Şirketinde, Walter Shewhart istatistiksel kalite kontrol teorisini geliştirdi. Bütün üretim süreçlerinin iki tür değişkenlik içerdiği sonucuna vardı. Birinci bileşen “tesadüfi değişkenlik”, ikinci tür değişkenlik ise özel nedenlere dayanan bir değişkenlikti. Özel nedenler etkin programlarla ekonomik olarak belirlenebilir ve ortadan kaldırılabilirdi. Shewhart, bu iki tür değişkenliği birbirinden ayıracak 3σ limitlerine dayanan standart kontrol grafiklerini oluşturdu. 1940’lı yıllarda kontrol grafikleri yaygın olarak kullanıldı. Daha sonra 50’li yıllarda Western Electric bu testlere dizi sayıları testlerini kattı. İstatistiksel kontrol grafikleri, standartların karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan istatistiksel tekniklerdir.⁶⁶

Bir kontrol grafiği temel olarak üç çizgi içerir. Bu çizgiler; üst kontrol limiti (ÜKS), orta çizgi (OÇ) ve alt kontrol limiti (AKS)’dir. Şekil 4-13’da örnek bir Shewhart kontrol grafiği gösterilmiştir.⁶⁷

⁶⁶ Şevkinaz Gümüsoğlu; İstatistiksel Kalite Kontrolü, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1996, s.103.

⁶⁷ Breyfogle; s.160.



Şekil 4-13: Şewhart kontrol kartı formatı

Kaynak: Forrest W. Breyfogle; Implementing Six Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods, John Wiley and Sons, New York, 1999, s.160.

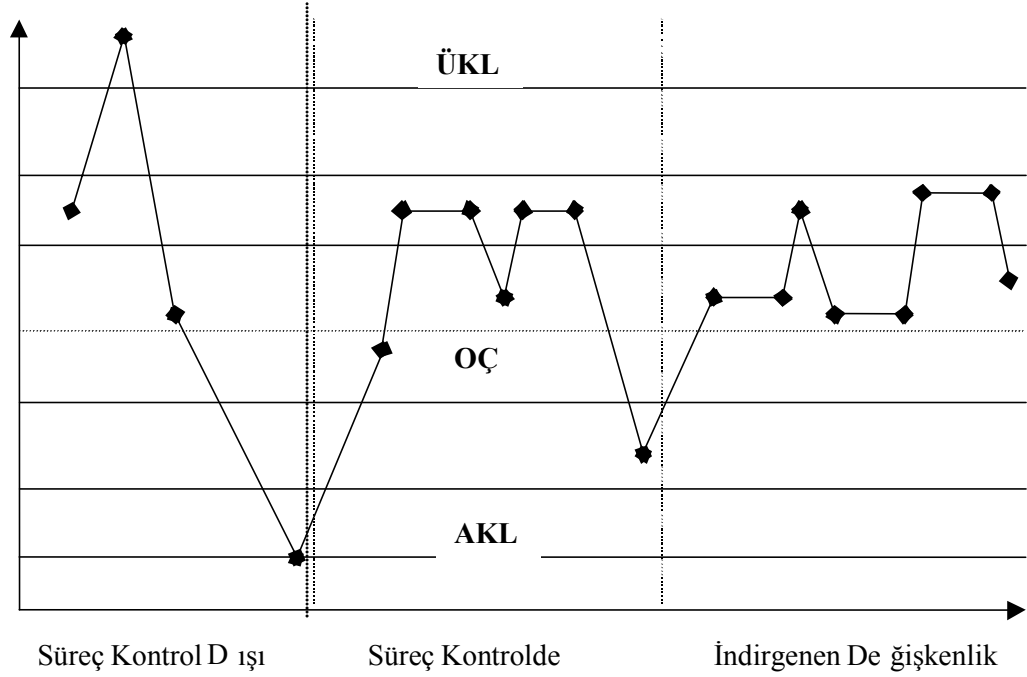
İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK), bir süreç içindeki değişkenliğin ölçümü ve değerlendirmesi ile bu tür bir değişkenliği sınırlamak ve kontrol etmek için harcanan çabaları içerir. Çoğu ortak uygulamada, İPK bir kuruluşun ya da süreç sahibinin olası sorunları veya alışılmadık olayları tanımlamasına yardım eder.

Kontrol tablolarının Altı Sigma sisteminde üç belirgin kullanımı vardır:⁶⁸

- TÖAİK projesinin ilk “ölçüm” faaliyetlerinde, takımların, sorunların ya da “kontrol dışında kalan” durumların tiplerini ve sıklıklarını belirlemelerine yardımcı olur. Hatta hangi türde araştırma veya düzeltme faaliyetinin en etkili olabileceğini de söyleyebilir.
- Bir süreç çözümü ya da değişkenliğinin (iyileştirme ya da kontrol aşamalarında) denenmesi ya da uygulanmasında, değişkenliğin ve performansın nasıl etkilendiğini göstererek hatta başka çalışma veya araştırma alanları da önererek sonuçların izlenmesine yardımcı olur.
- Kontrol tabloları sürekli olan bir alarm sistemi gibi hareket eder ve inceleyen kişiyi süreçteki alışılmadık faaliyetler hakkında uyarır.

⁶⁸ Neuman -Pande – Cavanagh; Age., s.416.

İPK'ya bir sürecin denetim altında olup olmadığını anlamının bir aracı, süreci denetim altında tutmaya yarayan bir aygıt, ürün kalitesindeki değişkenliği azaltıcı bir düzenek gibi bakılabilir. Bir sürecin denetim dışına çıkmasının çeşitli yolları vardır. Üç çeşit durum çizimlerle gösterilebilir.⁶⁹



Şekil 4-14: Sürecin kontrolde, kontrol dışı ve indirgenen değişkenliği durumları

Kaynak: Paul Newbold, İşletme ve İktisat için İstatistik, Çev: Ümit Şenesen, Literatür Yayınları, Yayın No:44, İstanbul, 2002, s.735.

Kontrol grafikleri, çoğu kez ifade ettiği anlamın aksine yanlış anlaşılmaktadır. Kontrol grafikleri düzenlemekle kontrol etme ve kalite geliştirme işi yapılmış olmaz. Kontrol grafiği, tarih sırasına göre kaydedilmiş bilgilerin grafiğidir. Kontrol grafiği, kalite kontrol ve geliştirme faaliyetinde kullanılan araçlardan sadece birisidir.⁷⁰

Shewhart kontrol grafikleri temel olarak nicel ve nitel kontrol grafikleri olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılır. Bunlar:⁷¹

⁶⁹ Newbold; Age., s.735.

⁷⁰ Erkan Oktay; Kalite Kontrol Grafikleri, Şafak Yayınevi, Erzurum, 1998, s.7.

⁷¹ Gerald M. Smith; Statistical Process Control and Quality Improvement, MacMillan Publishing, 1993, s.53.

Nicel kontrol grafikleri:

- Ortalama ($\bar{X}$) ve değişim aralığı (R) kontrol grafikleri,
- Ortalama ($\bar{X}$) ve standart sapma (S) kontrol grafikleri,
- Medyan ve değişim aralığı (R) kontrol grafikleri,
- Bireysel gözlem değerleri ve hareketli değişim aralığı (MR) grafikleri.

Nitel kontrol grafikleri:

- Kusurlu oranı (p) kontrol grafiği,
- Kusurlu sayısı (np) kontrol grafiği,
- Örnek başına kusur sayısı (c) kontrol grafiği,
- Birim başına kusur sayısı (u) kontrol grafiği.

Kontrol grafiklerinden hangisinin kullanılacağı genellikle sürecin kalite karakteristiğine bağlıdır. Kalite karakteristikleri ölçülebilen ve nitel özelliklerle ilgili ölçülemeyen kalite karakteristiği olarak iki gruba ayrılır. Ölçülebilen kalite karakteristikleri; boyut, ağırlık, hacim, aşınma miktarı, hız, uzunluk, ışıık hızı ve şiddeti, vb. gibi herhangi bir alet ve cihaz kullanılarak ölçülebilen özelliklerdir. Nitel özelliklerle ilgili ölçülemeyen kalite karakteristikleri; nitel durumlarla ilgili olan iyi-kötü, sağlam-bozuk, kırık, çatlak, kokulu, lekeli, pürüzlü, renk uyumsuzluğu, köşe kırığı, vb. duyu organlarını kullanarak tespit edilebilen özelliklerdir.⁷²

Mamullerin belli özelliklerine ait kantitatif ölçülerin istenilen standartlara uygunluğu $\bar{X}$ ve s veya $\bar{X}$ ve R grafikleri ile kontrol edilir. Kontroller, üretilen malların tamamının muayene edilmesi yerine örnekleme yoluna gidilerek gerçekleştirilir. Bu diyagramlar ortalama ile birlikte standart sapma ($\bar{X}$ - S) veya ortalama ile birlikte dağılma aralığı ($\bar{X}$ - R) çiftleri şeklinde uygulanmasıyla işlemin hem ortalama hem de değişkenlik bakımından kontrol altında olup olmadığı araştırılabilir.

Örnek ortalamasının kontrol limitleri arasında kalması, ürünün kalitesi için bir ölçü olmakla birlikte, uygulamada çoğu zaman diğer bir ölçüye daha ihtiyaç duyulur.

⁷² Çetin- Akın- Erol; Age., s.81.

Örnek ortalaması istenen standartlara uyduğu halde, örnek içindeki birimlerde standarttan önemli ölçüde sapmalar görülebilir. Bu durumda aynı ortalamaya sahip olan iki örnekten standart sapması (s) veya değişim aralığı (R) daha küçük olan örneğin daha kaliteli olduğu söylenir. O halde ortalamanın kontrol limitleri yanında, s veya R için de benzer limitler çizilmeli ve üretimde hem kararlılık hem de değişim durumunun istenen limitler arasında kalması hedef alınmalıdır.⁷³

Üretimden alınan örneklerin hacimleri 10'dan küçük ($n < 10$) olursa $\bar{X}$ grafiği ile birlikte R grafiğinin kullanılması tercih edilir. Bu tercihin önemli sebebi R değerlerinin belirlenme kolaylığıdır.

$\bar{X}$ ve R kontrol grafiklerinde kontrol sınırları standartların belli olması ve olmaması durumlarına göre ayrı ayrı belirlenir.⁷⁴ Çoğu kez anakütle ortalaması ve standart sapma bilinmez. Bu durumda ortalama ve standart sapma anakütleden örnekler alınarak tahmin edilir. Bu tahminler en az 20 veya 25 örneğe dayandırılmalıdır.⁷⁵

n birimlik m tane örneğin ortalamaları $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_m$ olmak üzere proses ortalamasının en iyi tahmini,

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

eşitliği ile bulunur.

Bu m adet örneğin değişim aralıkları $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ ise R'lerin ortalaması,

$$\bar{\bar{R}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m}$$

yazılır. $\bar{\bar{R}}$ kullanılarak σ nın bir tahmini $\hat{\sigma} = \bar{\bar{R}} / d_2$ olarak hesaplanır.⁷⁶

μ yerine $\bar{\bar{x}}$ ve σ yerine de $\bar{\bar{R}} / d_2$ birer tahmin edici olarak kullanıldığında $\bar{x}$ grafiği için kontrol sınırları,

⁷³ Ertuğrul; Age., s.217-219.

⁷⁴ Kartal; Age., s.60.

⁷⁵ Montgomery, Douglas C.; Introduction to Statistical Quality Control, 4th Edition, John Wiley and Sons. Inc., 2001, s.208.

⁷⁶ Breyfogle; Age., s.163.

$$\text{Üst Kontrol Sınırı} = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Orta Çizgi} = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{Alt Kontrol Sınırı} = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}}$$

biçiminde yazılır. Uygulamada $3/d_2\sqrt{n} = A_2$ olarak gösterilir. n değerine bağlı olarak A_2 değeri de değişeceğinden A_2 değeri hazır tablo halinde verilir. Böylece kontrol sınırları daha basit bir şekilde,

$$\text{ÜKS} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{OÇ} = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{AKS} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

olarak yazılır. R grafiği için kontrol grafiği ise R lerin standart sapması $\sigma_R = d_3\sigma$ olduğundan,

$$\text{Üst Kontrol Sınırı} = \bar{R} + 3\sigma_R = \bar{R} + 3d_3\sigma = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Orta Çizgi} = \bar{R}$$

$$\text{Alt Kontrol Sınırı} = \bar{R} - 3\sigma_R = \bar{R} - 3d_3\sigma = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

eşitlikleri elde edilir. $1 - 3\frac{d_3}{d_2} = D_3$ ve $1 + 3\frac{d_3}{d_2} = D_4$ olarak yazılırsa kontrol sınırları daha sade bir şekilde,

$$\text{ÜKS} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{OÇ} = \bar{R}$$

$$\text{AKS} = D_3 \bar{R}$$

olarak yazılır. Çeşitli örnek büyüklükleri için D_3 ve D_4 değerleri hazır tablo halinde

verilir.⁷⁷

$\bar{X}$ ve R kontrol grafiklerinin nasıl düzenleneceği bir örnekle anlatılacaktır.

Örnek: Bir üretim prosesinde çeşitli zaman aralıklarında şansa bağlı olarak 5'er birimlik 20 örnek alınmış ve kontrol edilecek olan kalite özelliği için bu örneklerle ait ölçüm değerleri Tablo 4-18'de verilmiştir.

Tablo 4.18: Örnek için ölçüm değerleri

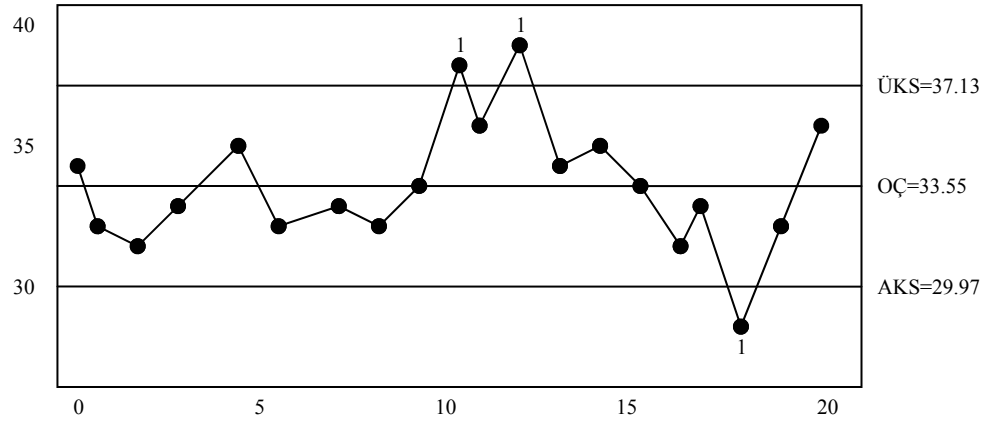
Örnek No	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	R
1	36	35	34	33	32	34.0	4
2	31	31	34	32	30	31.6	4
3	30	30	32	30	32	30.8	2
4	32	33	33	32	35	33.0	3
5	32	34	37	37	35	35.0	5
6	32	32	31	33	33	32.2	2
7	33	33	36	32	31	33.0	5
8	23	33	36	35	36	32.6	13
9	43	36	35	24	31	33.8	19
10	36	35	36	41	41	37.8	6
11	34	38	35	34	38	35.8	4
12	36	38	39	39	40	38.4	4
13	36	40	35	26	33	34.0	14
14	36	35	37	34	33	35.0	4
15	30	37	33	34	35	33.8	7
16	28	31	33	33	33	31.6	5
17	33	30	34	33	35	33.0	5
18	27	28	29	27	30	28.2	3
19	35	36	29	27	32	31.8	9
20	33	35	35	39	36	35.6	6

Tablo 4-18'deki değerler kullanılarak $\bar{\bar{X}}$ ve $\bar{R}$ değerleri,

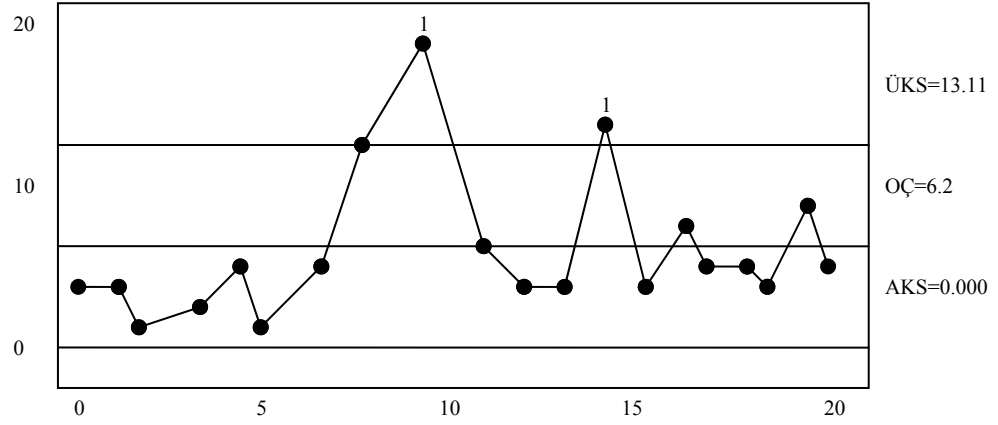
$$\bar{\bar{X}} = \frac{34.0 + 31.6 + 30.8 + \dots + 35.6}{20} = \frac{671}{20} = 33.55$$

$$\bar{R} = \frac{4 + 4 + 2 + 3 + \dots + 6}{20} = \frac{124}{20} = 6.2$$

⁷⁷ Kartal; Age., s.63-64.



Şekil 4-15: Örnek için çizilen $\bar{X}$ kontrol grafiği



Şekil 4-16: Örnek için çizilen R kontrol grafiği

olarak bulunur. Bu durumda $\bar{X}$ ve R grafiği için kontrol sınırları,

$\bar{X}$ kontrol grafiği için,

$$\bar{ÜKS} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 33.6 + 0.577(6.2) = 37.18$$

$$OÇ = \bar{\bar{X}} = 33.6$$

$$\bar{AKS} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 33.6 - 0.577(6.2) = 30.02$$

olarak hesaplanır. Bu hesaplamadan sonra $\bar{X}$ kontrol grafiği düzenlenebilir.

R kontrol grafiği için,

$$\bar{ÜKS} = D_4 \bar{R} = 2.114(6.2) = 13.1$$

$$OÇ = \bar{R} = 6.2$$

$$\bar{AKS} = D_3 \bar{R} = 0(6.2) = 0$$

olarak hesaplanır. Bu hesaplamadan sonra R kontrol grafiği düzenlenebilir.

$\bar{X}$ kontrol grafiği incelendiğinde 10, 12 ve 18 numaralı örneklerin; R kontrol grafiği incelendiğinde ise 9 ve 13 numaralı örneklerin kontrol dışına çıktığı gözlenmektedir.⁷⁸

4.14. Deney Tasarımı

İstatistiksel proses kontrol (İPK), temelde pasif bir istatistiksel yöntemdir. İstatistiksel proses kontrolünde pasif olarak sürecin kontrol altında olup olmadığı kontrol edilir. Eğer proses kontrol altında ise, bize daha fazla bir bilgi üretmez. Buna karşılık deney tasarımları aktif istatistiksel yöntemlerdendir. Deneyler aktif olarak oluşturularak, bir dizi gözlem yapılarak prosesin iyileştirilmesi için deneyler yorumlanabilir.⁷⁹

Deneysel tasarım teknikleri, deneyden elde edilen bilgilerin minimum maliyetle maksimize edilmesi ile ilgilidir.⁸⁰ Proses iyileştirme ve geliştirmede yaygın kullanılmaya başlayan deneysel tasarım tekniklerinin kullanılması şu sonuçları doğurur:⁸¹

- Azalan değişkenlik ve hedef ihtiyaçlara çok yakın uygunluk,
- Geliştirilmiş süreç randımanları,
- Geliştirme süresinin azalması,
- Azalan maliyetler.

Deney tasarımı daha önce geliştirilmiş olmasına rağmen, bu kavramı ürün performansındaki varyansın azaltılması için ilk uygulayan kişi Taguchi olmuştur. Taguchi deney tasarımının kullanımının şu noktalarda önemli olduğunu belirtmiştir:⁸²

- Ortalama ya da hedef değerden olacak varyansın minimize edilmesi,
- Çevre koşullarına karşı robüst ürün üretilmesi,
- Parçalardaki varyansa karşı duyarlı olmayan ürünlerin üretilmesi,
- Ürünlerin ömür uzunluğu konusunda yapılan testler.

⁷⁸ Breyfogle; Age., s.165.

⁷⁹ Montgomery; Age., s.454.

⁸⁰ Jobson, J. D. Applied Multivariate Data Analysis, Springer-Verlag Newyork Inc., New York, 1991, s.399.

⁸¹ Montgomery; Age., s.3.

⁸² George E. Box- Bisgaard P. Soren; The Scientific Context of Quality Improvement, Quality Progress, June 1987, pp.54-61.

Altı Sigma metodolojisinin en önemli araçlarından biri olan deney tasarımı sayesinde, proses çıktıları ile girdiler arasındaki ilişkiler araştırılır ve prosesin çıktısını etkileyen önemli az girdiler bulunur. Deneyler sayesinde, girdilerin değişik durumları, çıktı üzerindeki etkileri incelenerek; önemli az girdiler ve bunların çıktı üzerinde yaptığı etkiler sayısallaştırılır. Süreç çıktısını en iyi hale getirmek için üç farklı yöntem kullanılabilir. Bunlardan birincisi deneme-yanılma, ikincisi her seferinde bir faktör yaklaşımı, üçüncüsü de tasarlanmış deneylerdir.⁸³

4.14.1. Tam faktöryel deneyler

Faktöryel deneyler faktörler arasındaki etkileşimin tahminini mümkün kılar. İki veya daha fazla faktörün varlığında etkileşimin etkilerini bilmek, deneyi yapan araştırmacı için çok önemlidir. İki faktör arasındaki etkileşim anlamlı olduğunda, bir faktörün düzeylerindeki değişime karşılık tepki değişkeninde meydana gelen farklılık diğer faktörlerin tüm düzeylerinde aynı olmayacaktır. Tepki değişkeni üzerinde her iki faktörün etkileri belirlenebiliyorsa, etkileşim etkileri göz ardı edilemeyecektir. Etkileşim etkileri mevcut ve anlamlı ise, bu durum faktörlerin ana etkilerini maskeleyeceğinden, ana etkileri test etmek uygun olmayacaktır. Yalnızca faktörler bağımsız ve etkileşim yok ise ilgilenilen faktörlerin ana etkileri test edilebilir.⁸⁴

Tablo 4-19: L8 Dizayn Matrisi

Standart Sıra	ETKİLER						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-	-	-	+	+	+	-
2	-	-	+	+	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	-	+	+	-	-	+	-
5	+	-	-	-	-	+	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+
Kolon No	1	2	3	4	5	6	7

⁸³ S.P.A.C.; Age., s.104.

⁸⁴ Gürsakal –Oğuzlar; Age., s.230.

Örnek: Bu deney örneğinde amaç bir otomobilde harcanan benzin miktarını azaltmak olsun. Bu amaçla izlenen çıktı, bir litre benzinle gidebilecek mesafedir. Hedef, 10 km/litre olan bu değeri 15 km/litre'ye çıkarmaktır.

Proje ekipleri toplanıyor ve km/litre'yi nelerin etkileyebileceğine ilişkin bir beyin fırtınası yapıyor. Benzin harcamasını etkileyebilecek parametrelerin; benzin markası, lastik basıncı, oktan oranı, hız, bujiler, arabanın temizliği olduğunu biliniyor. Bu deneyin daha kolay anlaşılabilir ve daha açıklayıcı olması açısından şu parametrelerin benzin harcamasını etkileyebileceği düşünölsün: Hız, oktan oranı, lastik basıncı.⁸⁵

Her bir parametre için iki düzey belirlenmiştir. Dolayısıyla bu deney; iki düzeyli üç faktörlü L8 deneyidir. Bu düzeyler Tablo 4-20'de verilmiştir.

Tablo 4-20: Deneye ilişkin faktör düzeyleri

Düzy	A (Hız)	B (Oktan oranı)	C (Lastik basıncı)
Alt	80	85	30
Üst	100	91	35

Tam faktöryel deney yapmak için, olası tüm kombinasyonları hesaba katarak 8 adet deney ($2^3 = 8$) yapmak gerekir. Bu kombinasyonlar Tablo 4-21'de verilmiştir.

Tablo 4-21: Deneye ilişkin tam faktöryel deney kombinasyonları

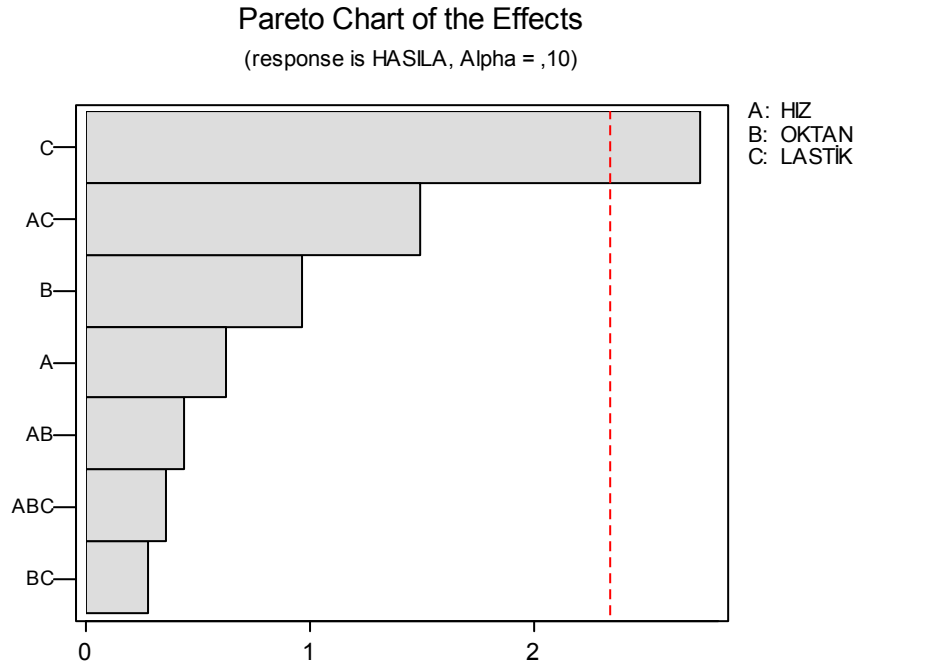
Sıra No	A (Hız)	B (Oktan)	C (Lastik)	Y (Km/Lit)
1	80	85	30	12.03
2	80	85	35	13.21
3	80	91	30	11.43
4	80	91	35	12.76
5	100	85	30	11.25
6	100	85	35	16.13
7	100	91	30	10.48
8	100	91	35	14.09

⁸⁵ S.P.A.C.; Age., s.110.

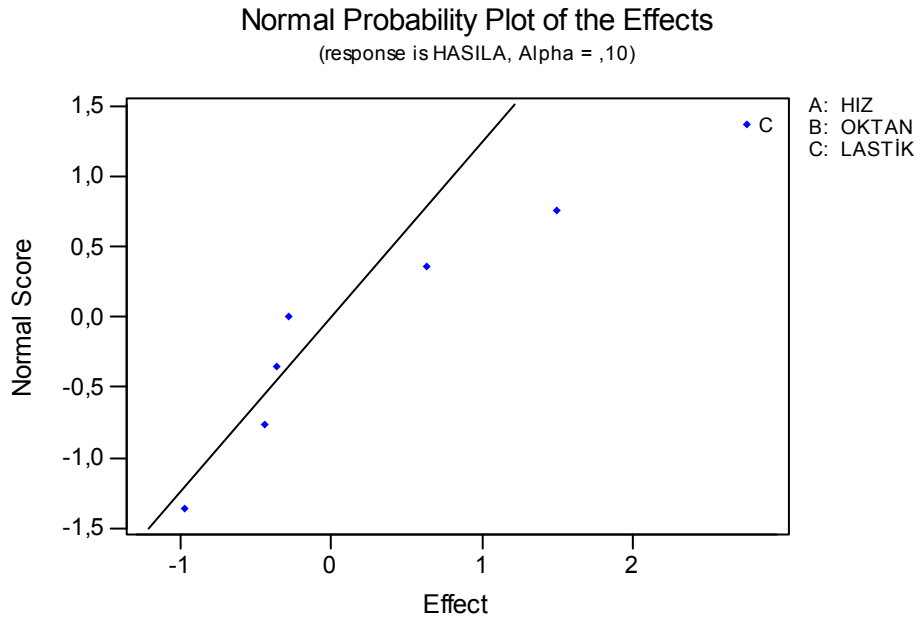
Tablo 4-22: Deneye ilişkin L8 hesap tablosu

STANDART SIRA	GÖZLEM DEĞERİ	A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	12.03	12.03		12.03		12.03		12.03		12.03		12.03		12.03	
2	13.21	13.21		13.21			13.21		13.21		13.21	13.21			13.21
3	11.43	11.43			11.43	11.43		11.43			11.43	11.43			11.43
4	12.76	12.76			12.76		12.76	12.76		12.76			12.76	12.76	
5	11.25		11.25	11.25		11.25		11.25		11.25			11.25		11.25
6	16.13		16.13	16.13			16.13	16.13			16.13	16.13		16.13	
7	10.48		10.48		10.48	10.48		10.48		10.48		10.48		10.48	
8	14.09		14.09		14.09		14.09	14.09			14.09	14.09			14.09
TOPLAM	101.38	49.43	51.95	52.62	48.76	45.19	56.19	51.57	49.81	47.70	50.07	51.25	50.13	51.40	49.85
SAYI	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ORTALAMA	12.67	12.36	12.99	13.16	12.19	11.30	14.05	12.89	12.45	11.96	12.52	12.81	12.53	12.85	12.46
ETKİ		0.63		-0.97		2.75		-0.44		0.56		-0.28		-0.39	
SIRA		6		1		7		2		5		4		3	

Şekil 4-17 ve Şekil 4-18 incelendiğinde ana etki olarak C ve etkileşim olarak da AC etkileşimi önemlidir.



Şekil 4-17: Etkilerin pareto grafiği



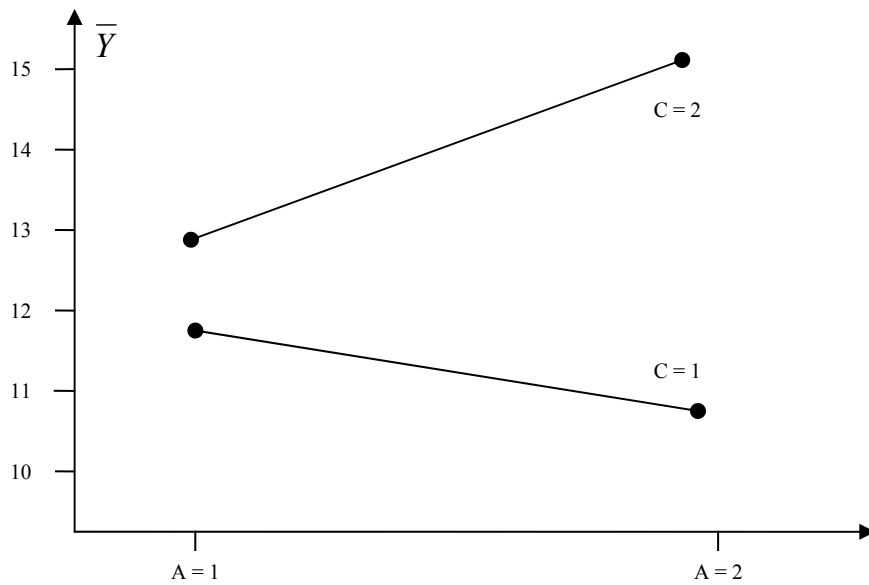
Şekil 4-18: Etkilerin normal olasılık grafiği

AC etkileşiminin önemliliğinin saptanmış olması, bu etkileşimi oluşturan A ve C faktörlerinin birlikte dikkate alınması gerektiğini ifade etmektedir. Bu deneyin çıktı değişkeni Y'nin optimize edilebilmesi için, AC etkileşiminin yorumunun yapılarak Y'yi nasıl etkilediğinin belirlenmesi gerekir. Etkileşimlerin yorumu, etkileşim grafikleri aracılığıyla yapılır. AC etkileşim grafiğini çizmek için, önce Y'nin sekiz değeri A'nın ve C'nin düzeylerine göre dört gruba ayrılır ve her grubun ortalaması bulunur. Tablo 4-23'de gruplar ve her grubun ortalaması altı çizili olarak verilmektedir.

Tablo 4-23: AC Etkileşimi değerleri

A	C	
	1	2
1	12.03 ; 11.43 <u>11.73</u>	13.21 ; 12.76 <u>12.98</u>
2	11.25 ; 10.48 <u>10.86</u>	16.13 ; 14.09 <u>15.11</u>

Tablo 4-23'deki ortalama değerler, AC etkileşim grafiğini çizmek için kullanılır. AC etkileşim grafiği Şekil 4-19'da verilmiştir. Y'nin ortalama değerleri, A'nın düzeylerine göre grafiğe işlenmiş ve C'nin düzeylerine göre etkileşim doğruları çizilmiştir.



Şekil 4-19: AC Etkileşimi grafiği

AC etkileşiminin yorumu şöyle yapılabilir. Önce, doğrular paralel olmadığı için bu grafik daha önce belirlenen sonucu, yani AC etkileşiminin önemli olduğu sonucunu teyit etmektedir. Bu deneyde çıktı değişkeni olan Y, “en büyük en iyi” kalite değişkeni türü olduğundan A ve C’nin optimal düzey değerleri $A = 2$ ve $C = 2$ ’dir. Yani en yüksek km/litre için, lastik basıncının 35 ve hızın da 100 olması gerekir. Oktan oranının ise bu deney için hangi düzeyde seçilmesi önemli görülmemektedir.

4.14.2. Kesirli faktöriyel deneyler

Faktör sayısı arttıkça yapılması gereken deney sayısı artar. Her biri iki seviyeli üç faktör analiz edilmek istendiğinde, 8 deney yapılması gerekmektedir. Çalışmada maliyet yüksekliği, zaman yetersizliği gibi nedenlerle çok sayıda deney yapamama sınırlayıcısı varsa $\frac{1}{2}$ kesirli faktöryel tasarımı uygulanabilir.⁸⁶ Örneğin her birinin 2 düzeyi olan 12 tane faktörün olduğu durumda tam faktöryel deney yapmak için en az 4096 kombinasyon gerekmektedir. Bu da çoğu süreç için imkânsız gözükmemektedir. Böyle durumlarda kesirli faktöryel deneylerden yararlanılmaktadır.⁸⁷

Deneylerin sanayi sektöründe yoğun olarak uygulanmamasının bir nedeni, tam eşlendirmeli (tam faktöryel) deneylerin yüksek maliyetidir. Kesirli deneyler, maliyet engelinin aşılmasına büyük ölçüde yardımcı olur.⁸⁸

Örnek: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle plastik paneller üretilmektedir. Bu panellerin düzlük derecesi, kritik bir kalite özelliği olarak tanımlanmıştır. Kalite iyileştirme takımı, panellerin düzlüğünü etkileyebilecek dört faktör belirlemiştir. Bu faktörler ve faktörler için seçilen alt ve üst düzey değerleri Tablo 4-24’de verilmiştir.⁸⁹

Bu deneyde dört faktör olduğu için, tam eşlendirme (tam faktöryel) durumunda 16 gözlem gereklidir ve L16 matrisini kullanmak gerekir. Ancak maliyeti düşürmek için, bu deney kesirli olarak tasarlanmış ve L8 dizayn matrisi kullanılmıştır.

⁸⁶ Montgomery; Age., s.622.

⁸⁷ S.P.A.C.; Age., s.112.

⁸⁸ Mete Şirvancı; Kalite İçin Deney Tasarımı-Taguçi Yaklaşımı, Literatür Yayınları, İstanbul, 1997, s.57.

⁸⁹ Şirvancı; Age., s.59.

Tablo 4-24: Faktörler ve Düzeyleri

Faktör	Alt Düzey	Üst Düzey
A: Eritme Sıcaklığı	250 °C	275 °C
B: Kalıp Sıcaklığı	25 °C	60 °C
C: Kür Süresi	2 dak.	3 dak.
D: Enjeksiyon Hızı	1.5 sn.	2.5 sn.

Bu deneyde 16 gözlem yerine 8 gözlem kullanıldığından bu deney yarım (1/2) kesirli bir deneydir. Bu deney için Tablo 4-25’de bir reçete tablosu düzenlenmiştir.

Tablo 4-25: Örnek İçin Reçete Tablosu

Standart Sıra	A: Eritme Sıcaklığı	B:Kalıp Sıcaklığı	C: Kür Süresi	D:Enjeksiyon Hızı
1	250	25	2	1.5
2	250	25	3	2.5
3	250	60	2	2.5
4	250	60	3	1.5
5	275	25	2	2.5
6	275	25	3	1.5
7	275	60	2	1.5
8	275	60	3	2.5

BEŞİNCİ BÖLÜM

BİR SANAYİ KURULUŞUNDA ALTI SİGMA UYGULAMASI

Kuruluşların performansı büyük ölçüde süreçlerin kabiliyetine bağlıdır. Yüksek kaliteli süreçler; yüksek kalitedeki ürünleri zamanında ve düşük maliyetlerde üretebilmektedir. Operasyonel mükemmelliğe ulaşmada süreçlerin ölçümü ve geliştirilmesi kesinlikle büyük önem taşımaktadır. Bu boyutta işletmelere rehberlik edip yol gösterecek bir yöntem ve işletme felsefesi olan Altı Sigma karşımıza çıkmaktadır. İşletmeler tarafından son yıllarda altı sigma, ulaşılmaya çalışılan bir hedef olarak benimsenmeye başlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde toplanan veriler irdelenerek, iyileştirmeye açık alanlar belirlenmekte ve uzman kadroların çalışmaları neticesinde hata sayılarının düşmesi sağlanmaktadır. Değişkenliklerin kaynağı ve hatalar yok edildiğinde maliyetler ve süreç çevrim süreleri azalmaktadır.

Uygulama kısmı otomotiv sanayi için yedek parça üretimi yapan bir sanayi işletmesinde yapılmıştır. Bir firmanın Altı Sigma hedefine ulaşabilmesi açısından bir departmanda, Altı Sigma'nın başlatılarak uygulanması çok önemlidir. Bu bölümde firma hakkında kısa bir bilgi verdikten sonra firmada, traktörler için imal edilen Biyel Kolu¹ olarak isimlendirilen makine parçasının müşteri açısından muhtemel hataları belirlenip bu hatalardan hayati öneme sahip olan hata veya hatalar Altı Sigma yaklaşımı kullanılarak minimize edilecektir.

5.1. Firma Hakkında

Firma faaliyetine 1970'li yıllarda bir Boru bükme tezgâhı tasarlayıp Türk traktör fabrikasına hidrolik boruları imal ederek başlamıştır. Firma 1980 yılından sonra çalışma alanını genişleterek dövme flanş ve rakorlar, döküm parçalar, otel restoran ve mutfak ekipmanları, tıbbi cihazlara ait çeşitli standlar, uzay çatı elemanları, mobilya aksesuarları ve hidrolik, yakıt, enjektör, emme, basma gibi boru donanım elemanları imâl etmeye başlamıştır. Bu arada makina parkını, tornalar, frezeler, matkaplar ve CNC tezgâhlar ile güçlendirmiştir. Firma, 1991 yılında kapasite, personel sayısı artışı ve talepler doğrultusunda limited şirket şeklinde örgütlenmiştir.

¹ Biyeller, pistonla krank milini mafsallı olarak birbirine bağlar. Pistondan aldığı yanmış gaz basıncını krank miline iletir. Pistonun yanmış gaz basıncı etkisiyle silindirde yaptığı düz hareketi, krank milinde süreli (dairesel) hareket haline dönüşmesine yardım eder. Biyeller, biyel ayağından piston pimi yardımı ile pistonu, biyel başından krank mili biyel muylusuna bağlanır. Biyelin pistonu bağlanan kısmına, biyel ayağı denir. Piston, piston pimi vasıtasıyla biyel ayağına bağlanır.

1994 yılında üretim yaptığı firma sayısının ve ürün yelpazesinin artması sonucu 14000 m² alan üzerinde 5000 m² kapalı alana kurulan bugünkü binasına taşınmıştır. Büyümesini burada da devam ettiren firma her tür imalat yapabilecek düzeye gelmiştir. Bugün ortalama 150 çalışanı bulunan, ihtiyaçları doğrultusunda ilave ettiği dövme bölümünde 5 kg'a kadar parçaları üretebilmekte olan firmada, Kalite Güvence, Proses, Talaşlı İmalat, Boru, Makina Kalıp Takım ve Dövme gibi bölümlerde ihtiyaç duyulan her tür kalıp takım, özel amaçlı makinalar ve hafif silahlara ait parçalar, çok çeşitli boru donanımları üretilebilmekte, hemen her tür talaşlı imalat yapılabilmektedir.

Firmaya ait kalite güvence sisteminde, boruların, dövme ve döküm parçaların ve çeşitli takımların sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri ve formları üç boyutlu olarak ölçülebilmektedir. Hammaddelerin alımında sertifika istenmekte ve gerektiğinde malzeme analizleri ile ısıt işlemler ve kaplamalar dışarıda yaptırılmaktadır.

Firmada talaşlı imalat Universal ve CNC tezgahlarda kalite güvencenin kontrolünde operasyon sayfalarına uygun olarak yapılır. Genellikle kaba operasyonu Universal tezgahlarda yapılan parçalar, CNC tezgahlarda hassas olarak işlenerek varsa kaynak, boya veya temizlik işlemine buradan da son kontrole sevk edilir. Borular ise boru bölümünde tasarlanır, yine CNC ve Universal tezgâhlarda kalite güvencenin kontrolünde şekillendirildikten sonra, varsa kaynak, boya, temizlik, basınç ve sızdırmazlık kontrolünün ardından paketlenerek sevke hazır hale gelir. Hizmet verilen firmalar aşağıda listelenmiştir:

- Türk Traktör Fabrikası,
- FMC Nurol Savunma Sanayi,
- Man Kamyon ve Otobüs A.Ş.,
- MKEK Silahsan,
- TZDK Traktör Fabrikası,
- Otoyol,
- Cemas Dokum (Iveco Spa.),
- Tumosan Motor Fabrikası,
- Efor Limited Şirketi,
- Aksan Dövme,
- Çimtaş,
- Roketsan,

5.2.Uygulamanın Hedefi ve Önemi

Altı Sigma iyileştirme metodu, Biyel Kolu adındaki makine parçasının üretim sürecine uygulanmıştır. Söz konusu makine parçasında gerekli iyileştirmenin yapılmaması durumunda parçanın kullanıldığı araçlarda arızaların oluştuğu, istenilen randımanın alınmadığı, yeniden işçilik, ıskartaya ayırma, çevrim süresinin artması, müşteri memnuniyetsizliği gibi ek problemlerin doğduğu bilinmektedir.

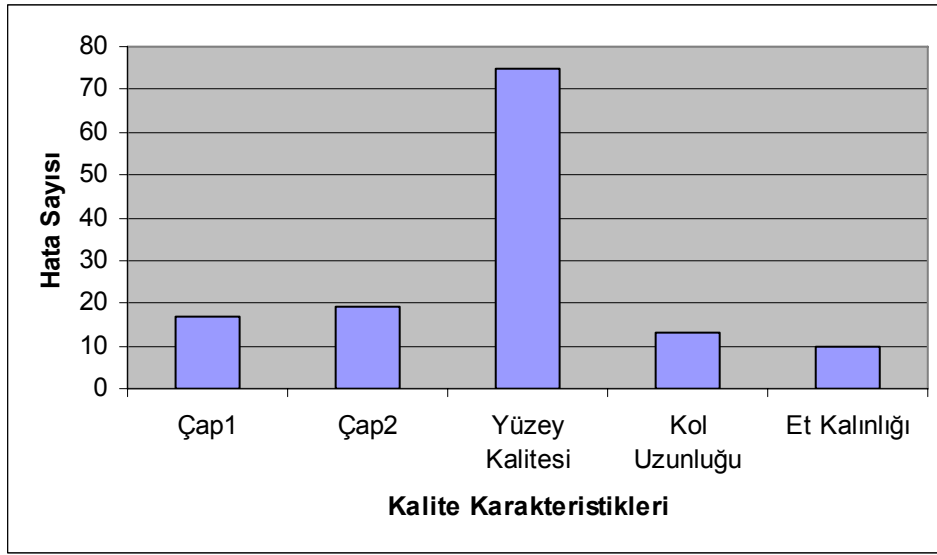
Bu uygulama projesinin başarıya ulaşması, firmanın diğer departmanlarındaki süreçlere de Altı Sigma tekniğini uygulanmasını teşvik edecektir. Ayrıca ülkemizdeki firmaların büyük çoğunluğunun 3 sigma gibi dünya standartlarının çok altında bir standartla çalıştığı düşünüldüğünde; bu proje, birçok Türk firmasına yol gösterici olabilir. Buradaki hedefimiz ölçüm aşamasında yaklaşık 3 sigma olan Biyel Kolu üretim sürecini, Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol safhalarından geçerek Altı Sigma kalite düzeyine yaklaştırmaktır.

5.3. Beyin Fırtınası

Altı Sigma metodu, uzman bir ekibin katılımıyla ve herkesin belirlenmiş görevini yapmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamamızda, 1 makine mühendisi uzman kara kuşak, imalat müdürü kara kuşak ve 3 kalite kontrol teknisyeni yeşil kuşak olarak görev almıştır.

Beyin fırtınası ekibinin tercihi ile Altı Sigma metodunun Biyel Kolu üretim sürecine uygulanmasına karar verilmiştir. Bunun için önce Biyel Kolu'nun müşteri açısından çok önemli olan 5 kalite karakteristiği belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla Çap1 Uzunluğu, Çap2 Uzunluğu, Yüzey Kalitesi, Kol Uzunluğu ve Et Kalınlığıdır.

Uygulama için bir yıl boyunca müşteri şikâyetleri dikkate alınmıştır. Bu şikâyetlerden 17 tanesi Çap1 Uzunluğu, 19 tanesi Çap2 Uzunluğu, 75 tanesi Yüzey Kalitesi, 13 tanesi Kol Uzunluğu ve 10 tanesi Et Kalınlığı hakkındadır. Bu kalite karakteristikleri ile ilgili müşteri şikâyetleri Şekil 5-1'de bir histogram ile gösterilmiştir.



Şekil 5-1: Müşteri şikâyetleri ile ilgili kalite karakteristikleri ve hata sayısı

Kalite karakteristiklerinin hata sayıları yüzde ile ifade edildiğinde, Çap1 Uzunluğu (%13), Çap2 Uzunluğu (%14), Yüzey Kalitesi (%56), Kol Uzunluğu (%10) ve Et Kalınlığı (%7) olarak belirlenmiştir. Bu yüzdeler dikkate alındığında müşteri memnuniyetsizliği açısından en büyük şikâyetin %56 ile Yüzey Kalitesi karakteristiği olduğu görülmektedir. Bu da, öncelikle bu kalite karakteristiğinin iyileştirmesi gerektiğini göstermektedir. Beyin fırtınası ekibi bu durumu dikkate alarak Biyel Kolu'nun yüzey kalitesi karakteristiğinin iyileştirilmesine karar vermiştir. İyileştirme safhasına geçmeden önce ölçüm sisteminin analiz edilmesi gerekir.

5.4. Ölçüm Sistemleri Analizi (Gage R&R)

Sağlıklı bir iyileştirme ancak doğru verilerle yapılabilir. Bunun için önce operatörlerden kaynaklanan ölçüm sistemindeki değişkenliğin incelenmesi gerekir. Bunun için üretilmekte olan makine parçalarının yüzey kalitesi için, ölçüm sistemi yeterlilik çalışması yapılmıştır. Ölçüm için üç operatör (Operatör A, Operatör B, Operatör C) bulunmakta ve ölçümler mikron cinsinden “profilometre” yüzey ölçüm aleti ile yapılmaktadır.

Böyle bir ölçüm sistemi yeterlilik çalışması için, süreci temsil eden 10 adet numune alınmış, işaretlenmiş ve her operatöre ikişer kere ölçtürülmüştür. Dolayısıyla her parça için toplam 6 adet ölçüm yapılmıştır. Böylece toplam 60 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 5-1’de bu ölçümler toplu halde gösterilmiştir.

Tablo 5-1: Gage R&R çalışması sonucu yapılan ölçümler

1. Ölçümler			2. Ölçümler		
Parça No	Operatör	Ölçüm	Parça No	Operatör	Ölçüm
1	Operatör A	1.608	1	Operatör A	1.600
2	Operatör A	1.611	2	Operatör A	1.620
3	Operatör A	1.617	3	Operatör A	1.608
4	Operatör A	1.620	4	Operatör A	1.628
5	Operatör A	1.599	5	Operatör A	1.611
6	Operatör A	1.581	6	Operatör A	1.573
7	Operatör A	1.583	7	Operatör A	1.597
8	Operatör A	1.593	8	Operatör A	1.604
9	Operatör A	1.597	9	Operatör A	1.608
10	Operatör A	1.604	10	Operatör A	1.611
1	Operatör B	1.611	1	Operatör B	1.613
2	Operatör B	1.619	2	Operatör B	1.616
3	Operatör B	1.625	3	Operatör B	1.628
4	Operatör B	1.607	4	Operatör B	1.611
5	Operatör B	1.611	5	Operatör B	1.613
6	Operatör B	1.585	6	Operatör B	1.588
7	Operatör B	1.589	7	Operatör B	1.587
8	Operatör B	1.607	8	Operatör B	1.604
9	Operatör B	1.604	9	Operatör B	1.601
10	Operatör B	1.612	10	Operatör B	1.609
1	Operatör C	1.604	1	Operatör C	1.603
2	Operatör C	1.616	2	Operatör C	1.619
3	Operatör C	1.627	3	Operatör C	1.621
4	Operatör C	1.604	4	Operatör C	1.611
5	Operatör C	1.605	5	Operatör C	1.608
6	Operatör C	1.584	6	Operatör C	1.587
7	Operatör C	1.591	7	Operatör C	1.595
8	Operatör C	1.608	8	Operatör C	1.612
9	Operatör C	1.613	9	Operatör C	1.616
10	Operatör C	1.607	10	Operatör C	1.609

Minitab 11.0 Programı çalıştırılarak elde edilen İnterasyonlu İki-Yönlü Varyans Analizi ve Gage R&R Analizi sonuçları Tablo 5-2 ve Tablo 5-3'te gösterilmiştir.

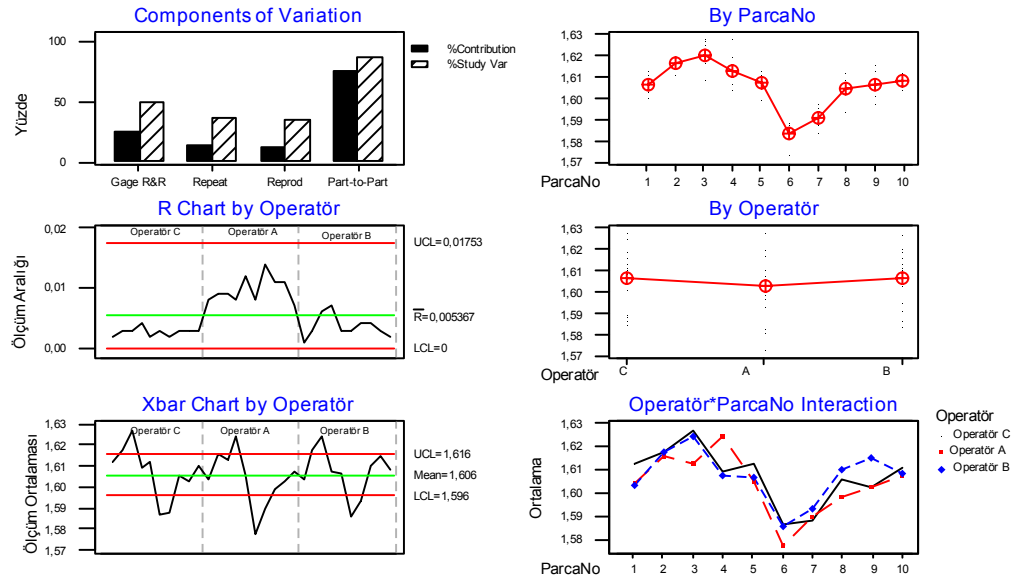
Tablo 5-2: İki-yönlü ANOVA Tablosu

Hata Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Hata Kareler Toplamı	Hata Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Parça No	9	0,00711	0,00079	13,8401	0,00000
Operatör	2	0,00015	0,00007	1,3100	0,29435
Operatör * Parça No	18	0,00103	0,00006	2,7974	0,00618
Tekrarlanabilirlik	30	0,00061	0,00002		
Toplam	59	0,00890			

Tablo 5-3: Gage R&R Analizi Sonuçları

Kaynaklar	Var. Comp.	% Var. Comp.	Standart Sapma (S)	Study Var. (5,15*S)	% Study Var.
Toplam Gage R&R	3,96E-05	24,49	6,30E-03	3,24E-02	49,49
Tekrarlanabilirlik	2,04E-05	12,61	4,52E-03	2,33E-02	35,51
Üretilebilirlik	1,92E-05	11,88	4,39E-03	2,26E-02	34,47
Operatör	8,85E-07	0,55	9,41E-04	4,85E-03	7,39
Operatör * Parça No	1,83E-05	11,33	4,28E-03	2,21E-02	33,67
Part-To-Part	1,22E-04	75,51	1,11E-02	5,69E-02	86,89
Toplam Değişkenlik	1,62E-04	100,00	1,27E-02	6,55E-02	100,00
Ayrık Kategori Sayısı = 2					

Minitab 11.0 Programı çalıştırılarak elde edilen Gage R&R Analizine ait grafik Şekil 5-2’de gösterilmiştir.

Ölçüm İçin Gage R&R (ANOVA)**Şekil 5-2: Gage R&R analizine ait grafik**

Şekil 5-2’deki en üst sol panelde yer alan grafikteki en solda yer alan siyah çubuk yüzde Gage R&R değerini göstermektedir. Hem Tablo 5-3’te ve hem de Şekil 5-2’de görüldüğü gibi Gage R&R Değeri %35’tir. Bulunan bu değer, %30’dan büyük çıktığı için ölçüm sisteminin yeterli olduğu söylenemez. Öyle ise ölçüm sisteminin yeterli hale getirilmesi gerekir.

Aynı grafikte, bu sapmanın nereden kaynaklandığı da izlenebilmektedir. Görüldüğü gibi, buradaki temel sorun operatörlerin kendilerini tekrar edememeleridir. Dolayısıyla, bu sorun temelde, aynı operatörlerin aynı parçayı bir daha ölçtüklerinde farklı ölçüm sonuçlarına ulaşmalarından kaynaklanmaktadır.

Bu durumda, yinelenebilirlikten kaynaklı ölçüm değişkenliğini azaltmak gerekmektedir. Bu sorunun, bir operatörden mi yoksa tüm operatörlerden mi kaynaklandığı sorusunun cevabı da sol ortadaki grafikte görülmektedir. Bu grafik, her operatörün her parçadaki iki ölçümü arasındaki farklılıkları göstermektedir.

Örneğin buradaki birinci nokta, Operatör A'nın birinci parçadaki iki ölçümü arasındaki farkı, yani $0.08(1.08-1.00)$ mikron'u göstermektedir. Yinelenebilirliğin sıfır olması için, bu farkların sıfır olması gerekmektedir. Yinelenebilirlik açısından en kötü operatörün, farkları en yüksek olan Operatör A olduğu, en iyisinin de Operatör C olduğu açıkça görülmektedir. Burada ilk adım olarak, Operatör C'nin ölçüm yöntemiyle Operatör A'nın ölçüm yöntemi karşılaştırılmalı ve iyileştirilme sağlanmalıdır.

Operatör A'nın ölçüm sistemi Operatör C'nin ölçüm sistemiyle karşılaştırırken üç muhtemel hata kaynağı belirlenmiştir. Bunlar; ölçüm teçhizatından kaynaklanan hata, ölçüm yönetiminden kaynaklanan hata, operatörün yeteneğinden kaynaklanan hatadır. Yapılan beyin fırtınası çalışması sonucu Operatör A'dan kaynaklanan hatanın, ölçüm yönetiminden kaynaklanan hata olduğu anlaşılmıştır.

Operatör C'nin ölçüm yöntemiyle Operatör A'nın ölçüm yöntemini karşılaştırarak gerekli iyileştirme sağlandıktan sonra, yeniden Ölçüm Sistemi Analizi (Gage R&R) çalışması yapılmıştır.

5.5. Ölçüm Sistemleri Analizi'nin Yeniden Uygulanması

Ölçüm Sistemi Analizi'nin tekrar uygulanması için süreci temsil eden 10 adet numune alınıp ve bu numuneler işaretlenerek her operatöre ikişer kere ölçtürülmüştür. Dolayısıyla her parçanın aynı ölçüsü için toplam 6 adet ölçüm yapılmıştır. Böylece toplam 60 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 5-4'te bu ölçümler toplu halde gösterilmiştir.

Tablo 5-4: Gage R&R çalışması sonucu yapılan ölçümler

1. Ölçümler			2. Ölçümler		
Parça No	Operatör	Ölçüm	Parça No	Operatör	Ölçüm
1	Operatör A	1.605	1	Operatör A	1.608
2	Operatör A	1.599	2	Operatör A	1.602
3	Operatör A	1.611	3	Operatör A	1.615
4	Operatör A	1.591	4	Operatör A	1.588
5	Operatör A	1.621	5	Operatör A	1.617
6	Operatör A	1.606	6	Operatör A	1.609
7	Operatör A	1.597	7	Operatör A	1.601
8	Operatör A	1.613	8	Operatör A	1.610
9	Operatör A	1.608	9	Operatör A	1.611
10	Operatör A	1.589	10	Operatör A	1.592
1	Operatör B	1.611	1	Operatör B	1.608
2	Operatör B	1.605	2	Operatör B	1.602
3	Operatör B	1.606	3	Operatör B	1.603
4	Operatör B	1.590	4	Operatör B	1.588
5	Operatör B	1.584	5	Operatör B	1.587
6	Operatör B	1.612	6	Operatör B	1.614
7	Operatör B	1.606	7	Operatör B	1.610
8	Operatör B	1.624	8	Operatör B	1.626
9	Operatör B	1.618	9	Operatör B	1.615
10	Operatör B	1.612	10	Operatör B	1.610
1	Operatör C	1.606	1	Operatör C	1.608
2	Operatör C	1.614	2	Operatör C	1.617
3	Operatör C	1.607	3	Operatör C	1.611
4	Operatör C	1.592	4	Operatör C	1.596
5	Operatör C	1.583	5	Operatör C	1.586
6	Operatör C	1.606	6	Operatör C	1.609
7	Operatör C	1.603	7	Operatör C	1.610
8	Operatör C	1.625	8	Operatör C	1.620
9	Operatör C	1.615	9	Operatör C	1.612
10	Operatör C	1.605	10	Operatör C	1.603

Minitab 11.0 Programı çalıştırılarak elde edilen İnterasyonlu İki-Yönlü Varyans Analizi ve Gage R&R Analizi sonuçları Tablo 5-5 ve Tablo 5-6’da gösterilmiştir.

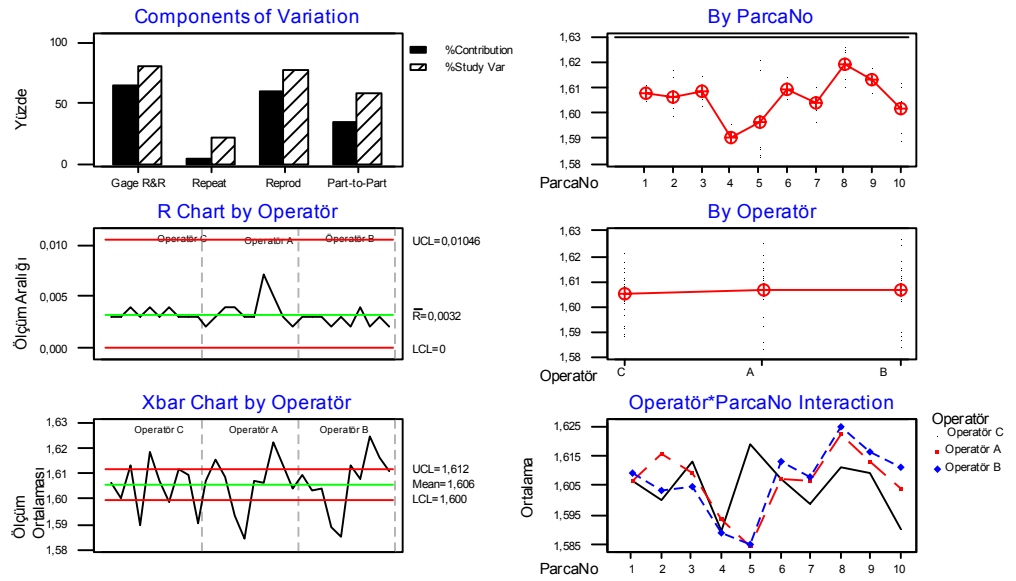
Tablo 5-5: İki-yönlü ANOVA Tablosu

Hata Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Hata Kareler Toplamı	Hata Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Parça No	9	0,00362	0,00040	2,6949	0,03508
Operatör	2	0,00004	0,00002	0,1496	0,86215
Operatör * Parça No	18	0,00269	0,00015	26,4895	0,00000
Tekrarlanabilirlik	30	0,00017	0,00001		
Toplam	59	0,00652			

Tablo 5-6: Gage R&R Analizi Sonuçları

Kaynaklar	Var. Comp.	% Var. Comp.	Standart Sapma (S)	Study Var. (5,15*S)	% Study Var.
Toplam Gage R&R	7,74E-05	64,75	8,80E-03	4,53E-02	80,47
Tekrarlanabilirlik	5,63E-06	4,71	2,37E-03	1,22E-02	21,70
Üretilebilirlik	7,18E-05	60,04	8,47E-03	4,36E-02	77,48
Operatör	0,00E-00	0,00	0,00E-00	0,00E-00	0,00
Operatör * Parça No	7,18E-05	60,04	8,47E-03	4,36E-02	77,48
Part-To-Part	4,22E-05	35,25	6,49E-03	3,34E-02	59,37
Toplam Değişkenlik	1,20E-04	100,00	1,09E-02	5,63E-02	100,00
Ayrık Kategori Sayısı = 1					

Minitab 11.0 Programı çalıştırılarak elde edilen Gage R&R Analizine ait grafik Şekil 5-3'te gösterilmiştir.

Ölçüm İçin Gage R&R (ANOVA)**Şekil 5-3:** Gage R&R analizine ait grafik

Şekil 5-2'deki en üst sol panelde yer alan grafikteki en solda yer alan siyah çubuk yüzde Gage R&R değerini göstermektedir. Hem Tablo 5-6'da ve hem de Şekil 5-3'te görüldüğü gibi Gage R&R Değeri %21'dir. Bulunan bu değer, %30'dan küçük çıktığı için ölçüm sisteminin yeterli olduğu söylenebilir. Artık ölçüm sistemi problemi ortadan kalktığı için diğer aşamaya geçilebilir.

5.6. Kontrol Grafikleri

Sürecin kontrol altında olup olmadığını öğrenmek için 5'er birimlik 25 örnekten alınan gözlemler için X ve R grafikleri çizilecektir. Gözlem değerleri Tablo 5-7'de verilmiştir.

Tablo 5-7: Kontrol grafikleri için yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Örnek No	Ölçüm Değerleri				
1	1.569	1.985	1.917	1.712	1.977
2	1.872	1.983	1.786	1.658	1.916
3	1.812	1.789	1.932	1.684	1.763
4	1.712	1.875	1.629	1.629	1.783
5	1.659	1.915	1.972	1.716	1.870
6	1.739	1.591	1.567	1.785	1.629
7	1.736	1.804	1.712	1.842	1.716
8	1.589	1.732	1.629	1.891	1.775
9	1.713	1.812	1.775	1.674	1.891
10	1.764	1.598	1.833	1.716	1.593
11	1.674	1.687	1.578	1.949	1.833
12	1.742	1.862	1.679	1.798	1.745
13	1.629	1.935	1.594	1.921	1.724
14	1.634	1.601	1.653	1.796	1.687
15	1.571	1.786	1.893	1.946	1.891
16	1.658	1.745	1.658	1.789	1.745
17	1.912	1.643	1.833	1.978	1.891
18	1.847	1.697	1.687	1.716	1.942
19	1.687	1.598	1.812	1.634	1.862
20	1.678	1.875	1.891	1.804	1.896
21	1.559	1.975	1.907	1.702	1.967
22	1.722	1.885	1.639	1.639	1.793
23	1.726	1.794	1.702	1.832	1.706
24	1.774	1.608	1.843	1.726	1.603
25	1.684	1.697	1.588	1.959	1.843

İlk önce R kontrol grafiği, daha sonra $\bar{X}$ kontrol grafiği düzenlenecektir. Çünkü $\bar{X}$ grafiğindeki kontrol limitleri, sürecin değişkenliğine bağlıdır. Süreç değişkenliği kontrolde değilse, bu limitler çok fazla anlamlı olmayacaktır.

Her bir örneğe ait $\bar{X}$ değerleri ve R değerleri bulunup Tablo 5-8’de verilmiştir.

Tablo 5-8: Her bir örnek için hesaplanan $\bar{X}$ ve R değerleri

Örnek	ΣX	$\bar{X}$	R	Örnek	ΣX	$\bar{X}$	R
1	9.160	1.8320	0.416	14	8.371	1.6742	0.195
2	9.215	1.8430	0.325	15	9.087	1.8174	0.375
3	8.980	1.7960	0.248	16	8.595	1.7190	0.131
4	8.628	1.7256	0.246	17	9.257	1.8514	0.335
5	9.132	1.8264	0.313	18	8.889	1.7778	0.255
6	8.311	1.6622	0.218	19	8.593	1.7186	0.264
7	8.810	1.7620	0.130	20	9.144	1.8288	0.218
8	8.616	1.7232	0.302	21	9.110	1.8220	0.416
9	8.865	1.7730	0.217	22	8.678	1.7356	0.246
10	8.504	1.7008	0.240	23	8.760	1.7520	0.130
11	8.721	1.7442	0.371	24	8.554	1.7108	0.240
12	8.826	1.7652	0.183	25	8.771	1.7542	0.371
13	8.803	1.7606	0.341				

Tablo 5-8’deki veriler kullanılarak R kontrol grafiğinin orta çizgisi,

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{n} = \frac{6.726}{25} = 0.269$$

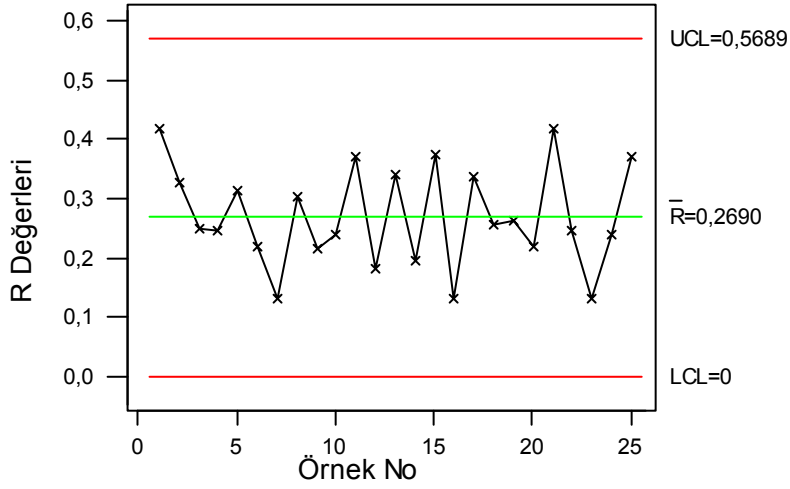
olarak bulunur. Ekler tablosundan $n = 5$ ’lik örnekler için $D_3 = 0$ ve $D_4 = 2.115$ bulunup aşağıdaki formülde yerine yazılırsa R kontrol grafiğinin kontrol sınırları,

$$\bar{U}KS = D_4 \bar{R} = (2.115)(0.269) = 0.5689$$

$$OÇ = \bar{R} = 0.269$$

$$\bar{A}KS = D_3 \bar{R} = (0)(0.269) = 0$$

olarak belirlenir. Şekil 5-4’te bu ölçümlere ait R grafiği görülmektedir. R kontrol grafiği incelendiğinde hiçbir nokta kontrol sınırları dışına çıkmamıştır.



Şekil 5-4: R kontrol grafiği

Şimdi $\bar{X}$ kontrol grafiğine geçebiliriz. Tablo 5-8'deki sonuçlar kullanılarak $\bar{X}$ kontrol grafiğinin orta çizgisi,

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{n} = \frac{44.076}{25} = 1.763$$

olarak bulunur. . Ekler tablosundan $n = 5$ 'lik örnekler için $A_2 = 0.577$ bulunup aşağıdaki formülde yerine yazılırsa $\bar{X}$ kontrol grafiğinin kontrol sınırları,

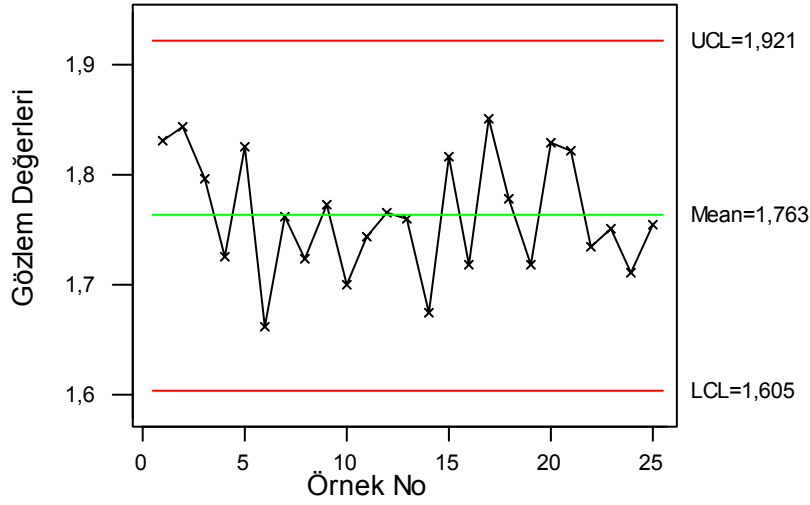
$$\bar{U}KS = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 1.763 + (0.577)(0.269) = 1.9182$$

$$OÇ = \bar{\bar{X}} = 1.763$$

$$\bar{A}KS = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 1.763 - (0.577)(0.269) = 1.6077$$

olarak belirlenir. Şekil 5-5'te bu ölçümlere ait $\bar{X}$ grafiği görülmektedir. $\bar{X}$ kontrol grafiği incelendiğinde hiçbir nokta kontrol sınırları dışına çıkmamıştır.

$\bar{X}$ ve R kontrol grafikleri incelendiğinde sürecin kontrol altında olduğu gözlenmektedir. Fakat bir sürecin kontrol altında olması sürecin çok iyi olduğu anlamına gelmez. Bunun için bir süreç yeterlilik analizi yapmak gerekir.



Şekil 5-5: $\bar{X}$ kontrol grafiği

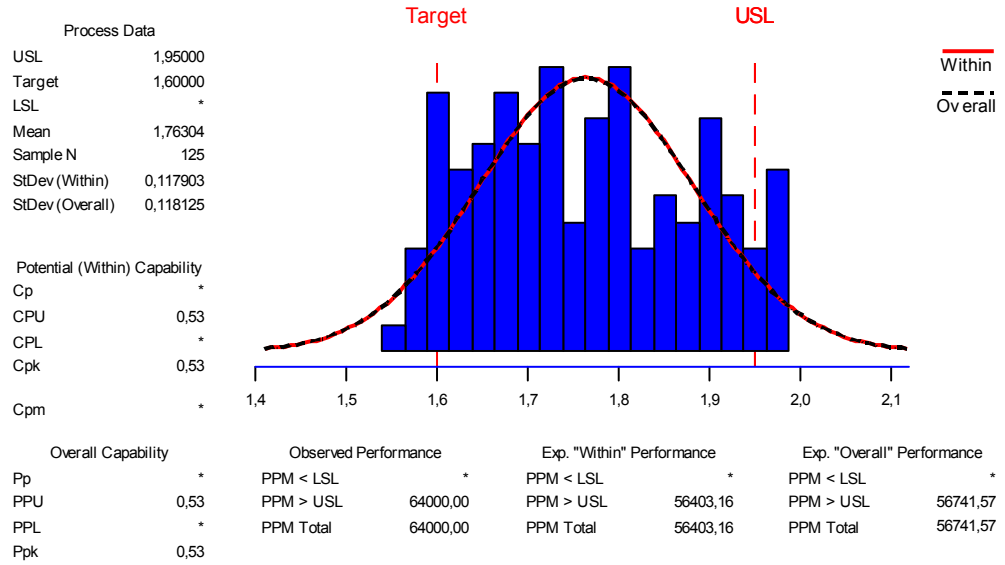
5.7. Süreç Yeterlilik Analizi

Her iki kontrol grafiği de kontrol altında olduğundan süreç yeterlilik analizi yapılabilir. Bunun için 5'er birimlik 25 numune alınmıştır. Bu numuneler Tablo 5-9'da gösterilmiştir. Yüzey kalitesi bağımlı değişkeni bir en küçük (minimum) problemi olduğu için süreç spesifikasyon şartnamesi olarak sadece USL belirlenmelidir. Bu süreç için üst spesifikasyon limiti $USL = 1.950$ ve hedef değer ise $T = 1.600$ olarak belirlenmiştir.

Süreç yeterlilik analizi incelendiğinde PPM değeri Şekil 5-6'de sağ alt köşede verildiği gibi 56741 olduğu görülmektedir. Bu değer Ek Tablo 1'den 3.1 sigma değerine karşılık gelmektedir. Bu sigma değerine karşılık gelen başarı oranı ise %94.52 olduğu Ek Tablo 1'den görülmektedir. Bu sigma seviyesi firma açısından başarı olarak görülmemektedir. Çünkü PPM değerinin 56741 olması demek, 1 milyon üretimde 56741 tanesinin hatalı üretilmesi demektir. Bu değer ise dünya standartlarının çok altındadır. Bunun için bu sürecin mutlaka iyileştirilmesi gerekir.

Tablo 5-9: Süreç yeterlilik analizi için yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Örnek No	Ölçüm Değerleri				
1	1.569	1.985	1.917	1.712	1.977
2	1.872	1.983	1.786	1.658	1.916
3	1.812	1.789	1.932	1.684	1.763
4	1.712	1.875	1.629	1.629	1.783
5	1.659	1.915	1.972	1.716	1.870
6	1.739	1.591	1.567	1.785	1.629
7	1.736	1.804	1.712	1.842	1.716
8	1.589	1.732	1.629	1.891	1.775
9	1.713	1.812	1.775	1.674	1.891
10	1.764	1.598	1.833	1.716	1.593
11	1.674	1.687	1.578	1.949	1.833
12	1.742	1.862	1.679	1.798	1.745
13	1.629	1.935	1.594	1.921	1.724
14	1.634	1.601	1.653	1.796	1.687
15	1.571	1.786	1.893	1.946	1.891
16	1.658	1.745	1.658	1.789	1.745
17	1.912	1.643	1.833	1.978	1.891
18	1.847	1.697	1.687	1.716	1.942
19	1.687	1.598	1.812	1.634	1.862
20	1.678	1.875	1.891	1.804	1.896
21	1.559	1.975	1.907	1.702	1.967
22	1.722	1.885	1.639	1.639	1.793
23	1.726	1.794	1.702	1.832	1.706
24	1.774	1.608	1.843	1.726	1.603
25	1.684	1.697	1.588	1.959	1.843



Şekil 5-6: Süreç yeterlilik analizi sonuçları

5.8. Makine Yeterlilik Analizi

Mevcut olan hatalar tüm hatlarda mı, yoksa bazılarında mı gerçekleşmektedir. Bu sorunun cevabını bulmak için işlem yapan dört makinenin her birinden 25'er gözlem alınarak analiz edilecektir. Alınan gözlemler Tablo 5-10'da gösterilmiştir.

Bu analiz için en uygun araç ise ANOVA'dır. Hatlara göre veriler incelendiğinde, değişik hatlarda ortalamaların farklılık gösterip göstermediği belirlenir. Bu saptama, eldeki verilerin analizi sonucu elde edilen P değeri sayesinde anlaşılır.

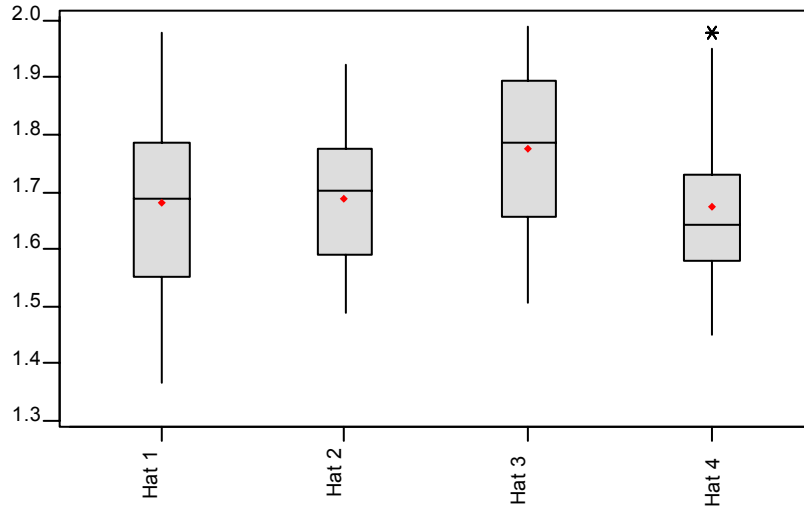
Makine yeterlilik analizi Minitab çıktısı Tablo 5-11'de verilmiştir. ANOVA analizi çıktısından p değerinin 0.049 olduğu görülmektedir. Analizdeki P değeri istatistikte bir karar alırken göze alınan riski ifade etmektedir. Uygulamamızda ise en az bir hattın diğerlerinin ortalamasından farklı olduğuna karar verilmesi durumunda alınacak risk %4.9'dur. Genel olarak sanayide kabul edilen risk değeri %5'tir.

Tablo 5-10: Makine yeterlilik analizi için gözlem değerleri

Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4
1.567	1.769	1.811	1.811
1.923	1.843	1.895	1.648
1.921	1.592	1.533	1.567
1.734	1.735	1.987	1.561
1.756	1.561	1.589	1.670
1.700	1.784	1.714	1.979
1.784	1.487	1.756	1.951
1.449	1.653	1.728	1.561
1.616	1.756	1.950	1.449
1.644	1.853	1.856	1.672
1.393	1.644	1.845	1.616
1.366	1.505	1.561	1.672
1.893	1.589	1.867	1.700
1.979	1.715	1.923	1.644
1.505	1.512	1.670	1.616
1.728	1.614	1.786	1.979
1.979	1.756	1.561	1.513
1.784	1.672	1.987	1.561
1.579	1.700	1.756	1.756
1.612	1.728	1.895	1.589
1.449	1.923	1.784	1.644
1.672	1.784	1.505	1.700
1.728	1.813	1.644	1.756
1.533	1.675	1.847	1.589
1.687	1.511	1.948	1.644

Tablo 5-11: Makine Yeterliliği için Varyans Analizi

Hata Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Hata Kareler Toplamı	Hata Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Faktör	3	0,1745	0,0582	2,71	0,049
Hata	96	2,0585	0,0214		
Toplam	99	2,2330			



Şekil 5-7: Makine yeterlilik analizi için kutu grafiği

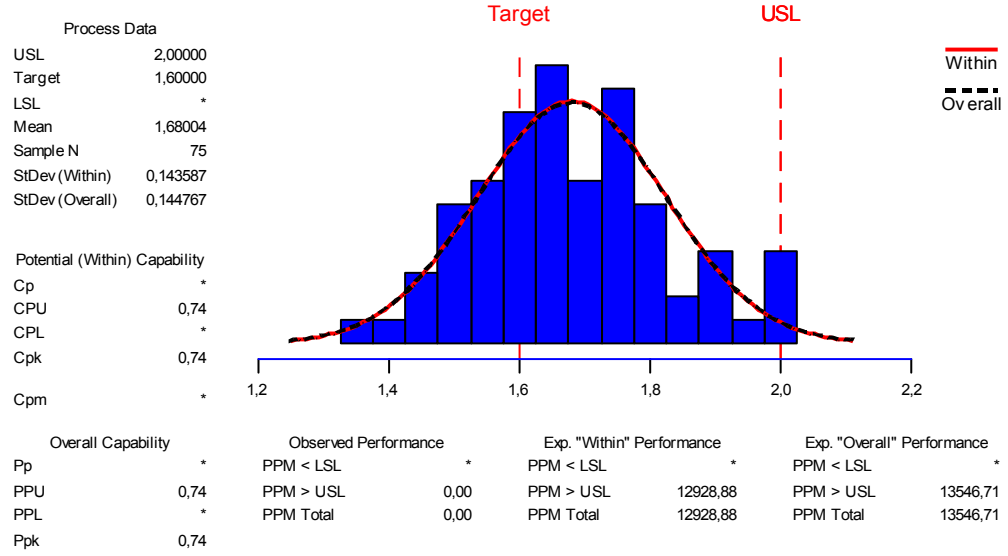
Şekil 5-7 incelendiğinde 1, 2 ve 4 numaralı hatların ortalamasının 1.67 civarında olmasına karşın, 3 numaralı hattın ortalamasının 1.77 civarında olduğu ve diğerlerine göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Öyle ise hataların temel kaynaklarından biri 3 numaralı hattır.

1, 2 ve 4 numaralı hatlara ait veriler incelendiğinde PPM değeri, Şekil 5-8'in sağ alt köşesinde verildiği gibi 13547'dir. Bu değer, Ek Tablo 1'deki değerle karşılaştırıldığında 3.7 sigma seviyesine karşılık gelmektedir. Başarı oranı ise %98.609 olarak görülmektedir. Yani 1, 2 ve 4 numaralı hatlar ile üretime devam edilmesi durumunda, üretilen bir milyon tane ürünlerdeki toplam hata oranı, 13547 olacaktır.

Elbette burada yapılması gereken, 3 numaralı hattın üretimi kesmek değil, 3 numaralı hattaki üretim farklılığına neden olan hatayı bulup iyileştirmektir.

3 numaralı hat üretimden çıkarılıp sadece 1, 2 ve 4 numaralı hatla üretime devam edildiğinde bulunacak süreç yeterlilik analizi sonucu Şekil 5-8'de gösterilmiştir.

3 numaralı hattın gerekli mekanik arızaları giderildikten sonra üretime devam etmiştir. Biyel kolu yüzey pürüzlülüğünün minimum (optimum) değerini bulmak için deney tasarımından faydalanılacaktır.



Şekil 5-8: Süreç yeterlilik analizi sonucu

5.9. Deney Tasarımı

Biyel Kolu'nun CNC tezgahı ile üretimi sürecindeki yüzey kalitesinin optimum yani yüzey pürüzlülüğünün minimum olması için deney tasarımından faydalanılacaktır. Deney tasarımı için beyin fırtınası sonucu Y = “Yüzey Pürüzlülüğü” çıktı değişkeni olmak üzere, kalite geliştirme ekibi olarak Y'yi etkilemesi muhtemel dört faktör,

A = Kesici Hızı

B = Kesme Derinliği

C = Kesici Çapı

D = İlerleme

olarak belirlenmiştir. Bu faktörlere ikişer düzey seçilmiştir. Deney tekrarsız uygulanacaktır. Tablo 5-12'de faktörler ve düzey değerleri verilmiştir. Deneydeki 4 faktör Ek Tablo 3'deki L16 Dizayn Matrisi Tablosu'nun ilk dört kolonuna atanır.

Bu deney iki düzeyli ve dört faktörlü bir Tam Faktöryel Deneydir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü “profilometre” ölçüm aleti ile mikron cinsinden ölçülmüştür.²

² Profilometre: İğne uçlarla yüzeye temas ederek yüzey pürüzlülüğünü doğrudan ölçen alettir. Mikron, milimetrenin binde biridir. 1 mikron = 0.001mm'dir.

Tablo 5-12: Faktörler ve düzey değerleri

Düzye	A (m/dak)	B (mm)	C (mm)	D (mm/dış)
Alt	90	0.3	40	0.03
Üst	110	0.7	90	0.07

Deneyi uygulamadan önce, deneyi uygulayacak ekip için bir “reçete” tablosu hazırlanmıştır. Tablo 5-13’te hazırlanan reçete tablosu, her gözlem için faktörlerin ayarlanacağı değerleri ve uygulama sırasını belirtir. Reçete tablosundaki faktör düzey değerleri, Ek Tablo 3’deki L16 Dizayn Matrisi tablosunda bulunan “-” ve “+” işaretlerine göre belirlenmiştir.

Tablo 5-13: Uygulama reçetesi

Standart Sıra	Rassal Sıra	A Hız	B Derinlik	C Çap	D İlerleme	Y Pürüzlülük
1	5	90	0.3	40	0.03	1.567
2	9	90	0.3	40	0.07	1.977
3	2	90	0.3	90	0.03	1.592
4	11	90	0.3	90	0.07	1.985
5	16	90	0.7	40	0.03	1.781
6	8	90	0.7	40	0.07	1.852
7	1	90	0.7	90	0.03	1.762
8	14	90	0.7	90	0.07	1.903
9	6	110	0.3	40	0.03	1.583
10	13	110	0.3	40	0.07	1.770
11	10	110	0.3	90	0.03	1.625
12	4	110	0.3	90	0.07	1.745
13	7	110	0.7	40	0.03	1.758
14	15	110	0.7	40	0.07	1.723
15	3	110	0.7	90	0.03	1.811
16	12	110	0.7	90	0.07	1.745

İstatistiksel açıdan, uygulama sırasının, Ek Tablo 3’de bulunan L16 Dizayn Matrisinde verilen standart sırada değil, “rassal” olarak belirlenmesi gerekmektedir. Buradaki amaç, kontrol edilmeyen, ancak deney sırasında kendiliğinden değişen faktörlerin kalite değişkeni Y’ye olası etkilerini elimine etmektir.

Tablo 5-14: Deney için hesaplanan L16 hesap tablosu

STANDART SIRA	GÖZLEM DEĞERİ	A		B		C		D		AB		AC		AD	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1.567	1.567		1.567		1.567		1.567		1.567		1.567		1.567	
2	1.977	1.977		1.977		1.977		1.977		1.977		1.977		1.977	
3	1.592	1.592		1.592		1.592		1.592		1.592		1.592		1.592	
4	1.985	1.985		1.985		1.985		1.985		1.985		1.985		1.985	
5	1.781	1.781		1.781		1.781		1.781		1.781		1.781		1.781	
6	1.852	1.852		1.852		1.852		1.852		1.852		1.852		1.852	
7	1.762	1.762		1.762		1.762		1.762		1.762		1.762		1.762	
8	1.903	1.903		1.903		1.903		1.903		1.903		1.903		1.903	
9	1.583		1.583	1.583		1.583		1.583		1.583		1.583		1.583	
10	1.770		1.770	1.770		1.770		1.770		1.770		1.770		1.770	
11	1.625		1.625	1.625		1.625		1.625		1.625		1.625		1.625	
12	1.745		1.745	1.745		1.745		1.745		1.745		1.745		1.745	
13	1.758		1.758	1.758		1.758		1.758		1.758		1.758		1.758	
14	1.723		1.723	1.723		1.723		1.723		1.723		1.723		1.723	
15	1.811		1.811	1.811		1.811		1.811		1.811		1.811		1.811	
16	1.745		1.745	1.745		1.745		1.745		1.745		1.745		1.745	
TOPLAM	28.179	14.419	13.760	13.844	14.335	14.011	14.168	13.479	14.70	14.021	14.158	14.076	14.103	14.494	13.685
SAYI	16	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ORTALAMA	1.7612	1.8024	1.720	1.7305	1.7919	1.7514	1.771	1.6849	1.8375	1.7526	1.7697	1.7595	1.7629	1.8117	1.7106
ETKI		-0.0824		0.0614		0.0196		0.1526		0.0171		0.0034		-0.1011	
SIRA		3		14		12		15		11		7		2	

Tablo 5-14'ün Devamı

BC	BD		CD		ABC		ABD		ACD		BCD		ABCD	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	1.567		1.567		1.567		1.567		1.567		1.567		1.567	
	1.977		1.977		1.977		1.977		1.977		1.977		1.977	
1.592			1.592		1.592		1.592		1.592		1.592		1.592	
1.985			1.985		1.985		1.985		1.985		1.985		1.985	
1.781			1.781		1.781		1.781		1.781		1.781		1.781	
1.852			1.852		1.852		1.852		1.852		1.852		1.852	
	1.762		1.762		1.762		1.762		1.762		1.762		1.762	
	1.903		1.903		1.903		1.903		1.903		1.903		1.903	
	1.583		1.583		1.583		1.583		1.583		1.583		1.583	
	1.770		1.770		1.770		1.770		1.770		1.770		1.770	
1.625			1.625		1.625		1.625		1.625		1.625		1.625	
1.745			1.745		1.745		1.745		1.745		1.745		1.745	
1.758			1.758		1.758		1.758		1.758		1.758		1.758	
1.723			1.723		1.723		1.723		1.723		1.723		1.723	
	1.811		1.811		1.811		1.811		1.811		1.811		1.811	
	1.745		1.745		1.745		1.745		1.745		1.745		1.745	
14.06 1	14.11 8	14.589	13.590	14.112	14.06 7	14.11 9	13.998	14.181	14.16 5	14.01 4	14.02 8	14.15 1	14.115	14.064
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1.757 6	1.76 47	1.8236	1.698 7	1.764 0	1.75 84	1.75 75	1.76 49	1.749 7	1.772 6	1.770 6	1.75 35	1.768 9	1.7644	1.758
0.0071	-0.1249		-0.0056		0.0074		0.0229		-0.0189		0.0154		-0.0064	
8	1		6		9		13		4		10		5	

Tablo 5-13'te faktörlerin düzey değerleri (uygulama reçetesi) rassal sıra ve deneyin uygulanması sonucu elde edilen Y gözlem değerleri verilmektedir. Bu deneyde ilk önce kesici hızı 90'a, kesme derinliği 0.7'e, kesici çapı 90'a ve İlerleme 0.03'e ayarlanarak biyel kolu işlenmiş olup yüzey pürüzlülük değeri ölçüm sonucunda Y = 1.762 olarak bulunmuştur. Standart sırada 1'de bulunan Y = 1.567 sonucu, gerçekte

beşinci rassal sıra olan 5’de işlenen parçanın değeridir. Bu deney iki düzeyli dört faktörlü L16 deneyidir. Deneyin uygulamasında L16 dizaynı kullanıldığı için bu deney tasarımının sonuçlarının analizi için ekler tablosundan boş bir L16 hesap tablosu kullanılmıştır. Boş tablo işlendiğinde Tablo 5-14 elde edilir. Tablo 5-14’te bulunan Toplam, Sayı, Ortalama, Etki ve Sıra değerleri şöyle bulunmuştur:

Toplam: Her kolonda bulunan değerler alt alta toplanır.

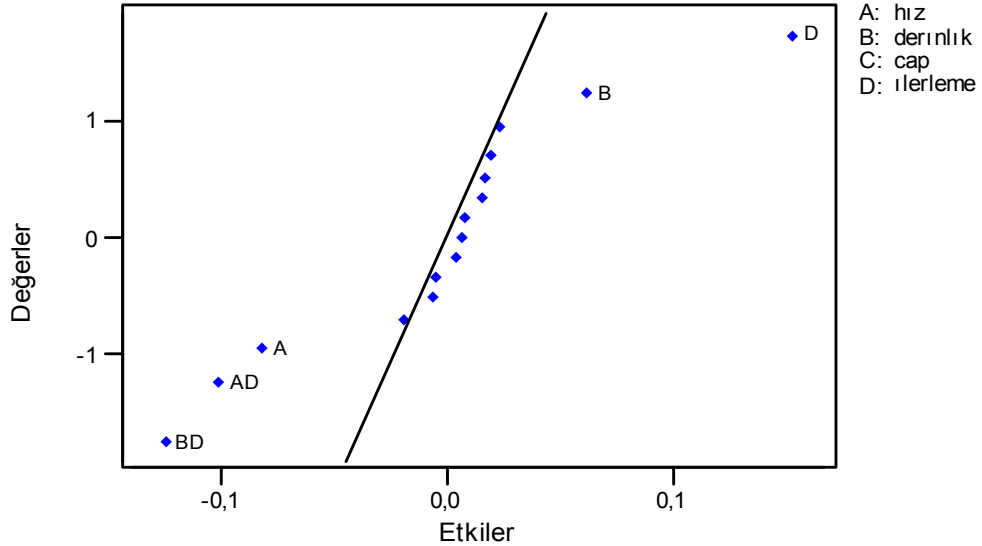
Sayı: Her kolondaki gözlemlerin sayısıdır.

Ortalama: Toplama değerin sayı değerine bölünmesi ile bulunur.

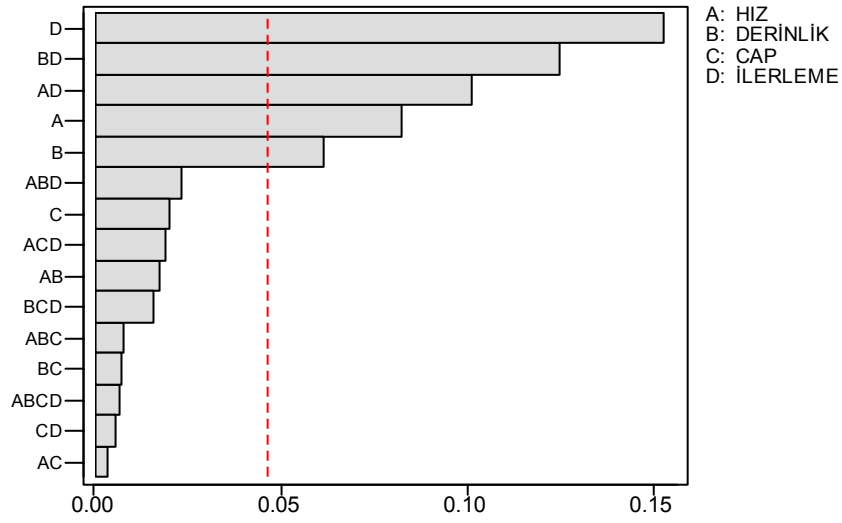
Etki: Her kolonda bulunan ortalama değerler arasındaki farktır. Örneğin A kolonunun etki değeri, $1.720 - 1.8024 = -0.0824$ olarak bulunmuştur.

Sıra: Etki değerlerine en küçük negatif değerden başlanılarak en büyük pozitif değere kadar 1’den 15’e kadar sıra numarası verilir.

Önemli etkilerin belirlenmesi için çizilen NOG, Şekil 5-9’da ve pareto grafiği Şekil 5-10’da verilmiştir. Şekil 5-9 ve Şekil 5-10’da görüldüğü gibi, önemli ana etkiler ve etkileşimler şunlardır: A, B, D, AD, ve BD. Faktör C ve etkileşimleri önemsizdir. AD ve BD etkileşimleri önemli bulunduğundan,



Şekil 5-9: Yüzey pürüzlülüğü önemli etkileri normal olasılık grafiği



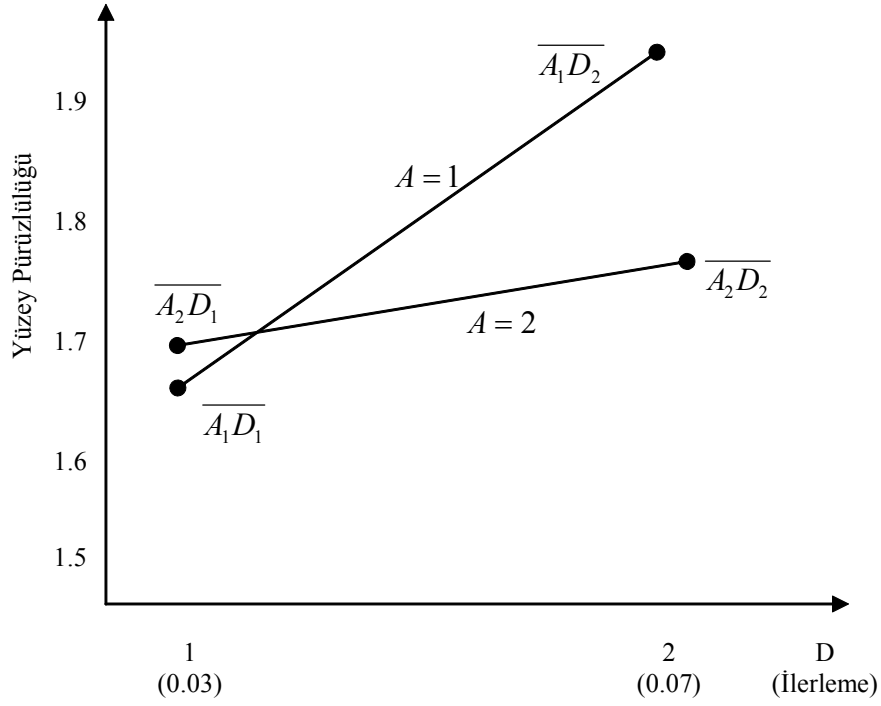
Şekil 5-10: Etkilerin ve etkileşimlerin pareto grafiği

Optimal faktör düzeylerine karar vermek için, önce bu etkileşimlerin yorumlanması gerekmektedir. AD etkileşimi için ortalamalar Tablo 5-15'te hesaplanmıştır.

Tablo 5-15: AD etkileşimi tablosu

A: Kesme Hızı	D: İlerleme	
	1	2
1	1.567; 1.592; 1.781; 1.762 $\overline{A_1 D_1} = 1.6755$	1.977; 1.985; 1.852; 1.903 $\overline{A_1 D_2} = 1.9292$
2	1.583; 1.625; 1.758; 1.811 $\overline{A_2 D_1} = 1.6942$	1.770; 1.745; 1.723; 1.745 $\overline{A_2 D_2} = 1.7457$

Tablo 5-15'te bulunan ortalamalar karşılaştırılarak, Y = Yüzey Pürüzlülüğü için A ve D'nin en iyi düzey kombinasyonunu belirlemek mümkündür. Ancak, Şekil 5-11'daki AD etkileşim grafiği, ortalamaların görsel olarak karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır.



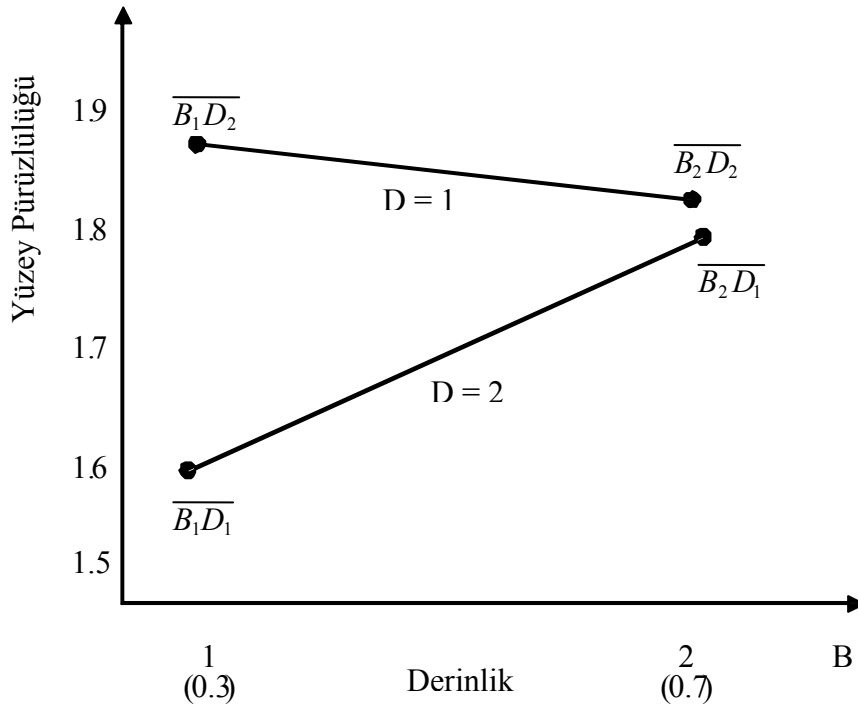
Şekil 5-11: Yüzey pürüzlülüğü AD etkileşimi grafiği

Şekil 5-11'a göre, ortalamaların üçü olan $\overline{A_1D_1}$, $\overline{A_2D_1}$, $\overline{A_2D_2}$ arasında istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur. Diğer kombinezon ortalaması olan $\overline{A_1D_2} = 1.9292$ değeri diğerlerinden önemli ölçüde büyüktür. Dolayısıyla, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için $A = 1$, $D = 2$ kombinezonundan kaçınmak gerekir.

Benzer biçimde, BD etkileşimi ortalamaları Tablo 5-16'da hesaplanmış ve etkileşim grafiği Şekil 5-12'de verilmiştir.

Tablo 5-16: BD etkileşimi tablosu

B: Derinlik	D: İlerleme	
	1	2
1	1.567; 1.592; 1.583; 1.625 $\overline{B_1D_1} = 1.5917$	1.977; 1.985; 1.770; 1.745 $\overline{B_1D_2} = 1.8692$
2	1.781; 1.762; 1.758; 1.811 $\overline{B_2D_1} = 1.7780$	1.852; 1.903; 1.723; 1.745 $\overline{B_2D_2} = 1.8057$



Şekil 5-12: Yüzey pürüzlülüğü BD etkileşimi grafiği

Tablo 5-16 ve Şekil 5-12’de açıkça izlenebildiği gibi, etkileşim ortalamalarından $\overline{B_1D_1} = 1.5917$ değeri, diğerlerinden önemli ölçüde küçük olduğundan, yüzey pürüzlülüğü Y’yi azaltmak için $B = 1$, $D = 1$ kombinasyonunu kullanmak gerekir.

Sonuç olarak BD etkileşiminin analizi, $B = 1$, $D = 1$ kombinasyonunun kullanılması gerektiğini, AD etkileşiminin analizi ise, $A = 1$, $D = 2$ kombinasyonundan kaçınılması gerektiğini ortaya koyuyor. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünün optimal operasyonu için, öncelikle B ve D faktörlerinin birinci düzeylerinde tutulması gerekir. Ancak, D birinci düzeyinde tutulduğu sürece, Şekil 5-11’den görüldüğü gibi, ($\overline{A_1D_1} = 1.6755$ ve $\overline{A_2D_1} = 1.6942$), $A = 1$ ile $A = 2$ arasında yüzey pürüzlülüğü açısından istatistiksel olarak bir fark yoktur. Dolayısıyla, AD etkileşiminin özel durumu nedeniyle, A’nın kontrolüne gerek kalmaz. Bu durumda bu işlemin optimal operasyonu için $B = 1$ ve $D = 1$ düzeyleri gerekmektedir. C, önemli olmadığı için A ise AD etkileşiminin özel durumu nedeniyle kontrolüne (birinci ve ikinci düzeylerden herhangi birinin seçimine) gerek yoktur.

Tablo 5-12'deki düzeyler, optimal değerleri verdiği için bu deneyin sonucu şöyle özetlenebilir: B(derinlik) = 0.3 mm, D(ilerleme) = 0.03 mm/diş, A(kesici hızı) = 90 veya 110 m/dak, C(kesici çapı) = 40 veya 90mm.

Biyel kolunun üretiminde kullanılan CNC tezgâhının parametrelerinin düzeyleri deney tasarımı sonucu belirlendikten sonra üretimden elde edilen ürünlerden numuneler alınarak yeniden süreç yeterlilik analizi yapılmıştır.

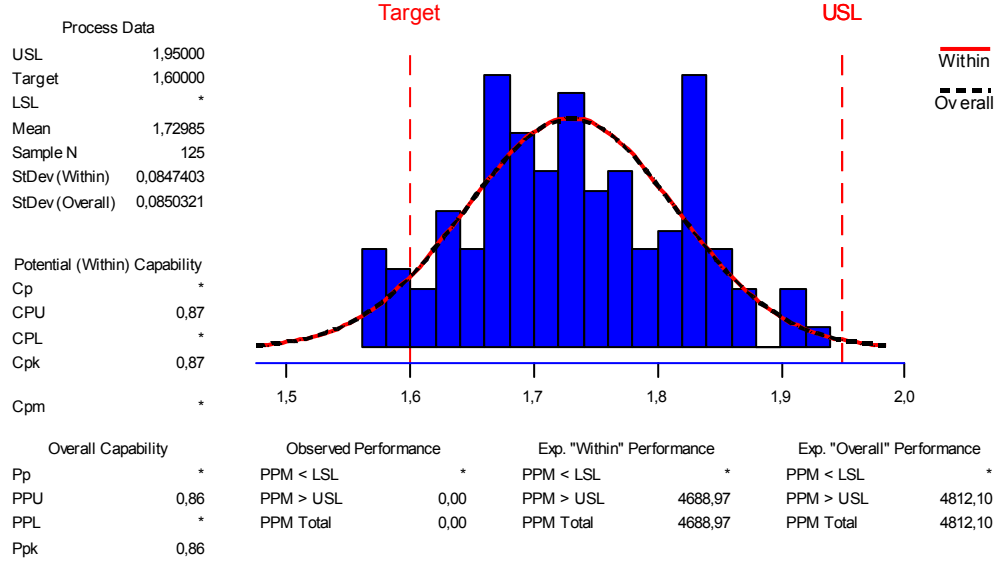
5.10. İyileştirmeler Neticesinde Süreç Yeterlilik Analizi

Yapılan iyileştirmelerden sonra sürecin hangi sigma seviyesine gelindiğini öğrenmek için 5'er birimlik 25 numune alınarak süreç yeterlilik analizi yapılmıştır. Alınan numunelere ait ölçüm değerleri Tablo 5-17'de gösterilmiştir.

Tablo 5-17: Süreç yeterlilik için yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Örnek	Ölçüm Değerleri				
1	1.614	1.739	1.763	1.674	1.764
2	1.767	1.810	1.680	1.687	1.823
3	1.740	1.638	1.832	1.712	1.745
4	1.864	1.573	1.669	1.589	1.647
5	1.715	1.672	1.836	1.869	1.754
6	1.676	1.785	1.743	1.748	1.635
7	1.687	1.560	1.568	1.812	1.912
8	1.570	1.675	1.647	1.592	1.689
9	1.724	1.762	1.782	1.612	1.763
10	1.925	1.620	1.740	1.705	1.670
11	1.573	1.734	1.820	1.874	1.763
12	1.830	1.783	1.732	1.679	1.689
13	1.683	1.682	1.847	1.832	1.834
14	1.623	1.785	1.728	1.673	1.674
15	1.716	1.910	1.591	1.821	1.841
16	1.648	1.736	1.816	1.706	1.682
17	1.791	1.653	1.692	1.840	1.824
18	1.743	1.754	1.712	1.673	1.724
19	1.846	1.836	1.823	1.763	1.855
20	1.587	1.718	1.713	1.724	1.685
21	1.730	1.628	1.822	1.702	1.735
22	1.666	1.775	1.733	1.738	1.625
23	1.905	1.600	1.720	1.685	1.650
24	1.663	1.662	1.827	1.812	1.814
25	1.771	1.633	1.672	1.820	1.804

İyileştirmeler neticesinde alınan gözlemlere ait süreç yeterlilik analizi bilgisayar çıktısı aşağıdaki gibidir.



Şekil 5-13: Süreç yeterlilik analizi sonucu

Süreç yeterlilik analizi incelendiğinde ppm değeri Şekil 5-13'de sağ alt köşede verildiği gibi 4812 olduğu görülmektedir. Bu değer, Ekler tablosunda 4.1 sigma değerine karşılık gelmektedir. Bu sigma değerine karşılık gelen başarı oranının ise %99.53 olduğu görülmektedir. Bu oran bir milyon adet üretimden 4812 tanesinin hatalı olduğu anlamına gelir.

Yapılan çalışmalar sonucu Biyel Kolunun Yüzey Pürüzlülüğü 3 sigma seviyesinden 4.1 sigma seviyesine yükseltilmiştir. Ancak altı sigma için hala kat edilecek mesafe vardır. Yukarıdaki aşamalar firma yetkililerince tekrar tekrar uygulanarak altı sigma seviyesine ulaşılabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Global durgunluk yaşanan günümüz şartlarında, düşük kaliteden kaynaklanan maliyet artışlarının fiyatlara yansıtılması mümkün olmamakta ve firmaların kârlılıkları azalmaktadır. Günümüzün hızlı iletişim aracı İnternetin de yardımıyla artık son tüketiciler, diledikleri firmadan veya ülkeden istedikleri ürünü veya hizmeti çok kolay ve kısa sürede talep eder hale gelmişlerdir. Son tüketici en kaliteli ürünü veya hizmeti en uygun fiyat ile talep etme şansına sahiptir. Bu da açıkça gösteriyor ki, günümüzde firmalar müşterileri değil, müşteriler firmaları yönlendirmektedir. Müşteri odaklı firmalar, başarıyı yakalama konusunda daha fazla şansa sahiptirler. Altı Sigma yönteminin hedefi, müşteri beklentilerini ve isteklerini anlayarak en kısa sürede müşterilere en doğru ürünü veya hizmeti sunmaktır.

Altı Sigma, proses kalitesinin ölçümü ve iyileştirilmesinde, uçak parçası üretiminden hizmet üretimine kadar çok geniş alanda kullanılmaktadır. Altı Sigma, istatistiksel bir ölçüm tekniği olarak ürün ve prosesin ne kadar iyi olduğu hakkında bilgi verir. Birbirine benzemeyen ürün ve prosesle karşılaştırma imkânı sağlar. Bu durum işletmelerin diğerlerinden ne kadar ileride veya geride olduğunu gösterir. En önemlisi, nereye gidilmesi gerektiğini ve başarmak için ne yapmak gerektiğini söyler. Altı Sigma, bir işletme ve yönetim stratejisi olarak işletmelerin rekabet üstünlüğü kazanmalarında, içerdiği stratejiler ve çağdaş anlayışı ile rehberlik yapar. Çünkü süreçlerin sigma seviyesi arttıkça ürün kalitesi yükselir ve maliyet azalır. Böylece müşteriler daha yüksek düzeyde tatmin olurlar.

Altı Sigma uygulamalarında başarı sigma seviyeleri ile ölçülmektedir. Ancak bu bir zorunluluk anlamına gelmemektedir. Hedeflenen mevcut proseste iyileştirmelerin sağlanmasıdır. Birçok karmaşık proseste sigma seviyesinin tespit edilmesi çok da önemli değildir. Önemli olan hataların müşteri ve kuruluşun istediği seviyeye çekilmesidir.

Altı Sigma yaklaşımında en sağlıklı uygulama, elbette ki kuruluşun tüm proseslerinde iyileştirme yapılması veya yeniden tasarım modelinin kurulmasıdır. Ancak Altı Sigma yaklaşımı kısmi olarak da proses iyileştirme veya yeniden tasarım amaçlı kullanılabilir.

Bu çalışmanın teori bölümünde Altı sigma yaklaşımı ilişkili olduğu konularla birlikte detaylı olarak izah edilmiştir. Böylece yerli literatür yeni yabancı kaynaklarla desteklenmiştir.

Çalışmanın uygulama bölümünde ise çeşitli makine parçaları üreten bir sanayi kuruluşunda Biyel Kolu üretim prosesi seçilmiş ve Altı Sigma çalışmalarında kullanılan TÖAİK iyileştirme modelinden faydalanılarak proses iyileştirme çalışması yapılmıştır. İyileştirme modelinde Altı Sigma tekniklerinden sadece gerekli olan teknikler kullanılmıştır. Elbette farklı Altı Sigma çalışması için farklı tekniklerin kullanılması mümkündür. İyileştirme modelinin sonuçları şu şekilde açıklanabilir:

Bir yıl boyunca Biyel Kolu ile ilgili müşteri şikâyetleri dikkate alınmıştır. Biyel Kolunun müşteriler için hayati öneme sahip 5 kalite karakteristiği seçilmiş olup bu karakteristiklerden en fazla şikâyetin %56 ile Yüzey Pürüzlülüğü kalite karakteristiği olduğuna karar verilmiştir.

Sağlam bir iyileştirmenin yapılabilmesi için yapılan Ölçüm Sistemi Analizi (Gage R&R) çalışması sonucu operatörlerden birinin kendini tekrar edememesinden kaynaklanan ölçümünden dolayı ölçüm sisteminin yeterli olmadığına karar verilmiştir. Ölçümü en kötü olan operatörün ölçüm metodu, ölçümü en iyi olan operatörün ölçüm metoduyla karşılaştırılmış, sonuçta ölçüm hatasının ölçüm teçhizatından kaynaklandığı anlaşılmıştır. İyileştirme neticesinde yeniden yapılan Ölçüm Sistemi Analizi sonuçlarından ölçüm sisteminin yeterli olduğuna karar verilmiştir.

5'er birimlik 25 örnekten alınan Yüzey Pürüzlülüğü gözlem değerlerinin $\bar{X}$ ve R kontrol grafiği çizilmiş olup grafikler incelendiğinde sürecin kontrol altında olduğu görülmüştür.

Kontrol altında olan bir süreç yeterli olmayabilir. Bunun için Süreç Yeterlilik Analizi yapılmıştır. Analiz sonucu sürecin PPM değeri 56741 olarak bulunmuştur. Yani üretilen bir milyon parçadan 56741 tanesi spesifikasyonlar dışındadır. Bu değer 3.1 sigmaya karşılık gelmektedir. Bu sigma değerinin başarı oranı ise %94.52 olarak belirlenmiştir.

Spesifikasyon sınırları dışında üretilen parçaların, tüm hatlardan mı, yoksa bazılarında mı kaynaklandığını tespit etmek için Makine Yeterlilik Analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda hataların kaynağının Üçüncü Hat olduğu anlaşılmıştır. Bu hattın tespit edilen arızaları giderildikten sonra üretime devam edilmiştir.

Biyel Kolu'nun CNC tezgahı ile üretimi sürecindeki yüzey kalitesinin optimum yani yüzey pürüzlülüğünün minimum olması için deney tasarımından yararlanılmıştır. Yüzey Pürüzlülüğü çıktı değişkenini etkileyen dört ana faktör olan Kesici Hızı (A), Kesme Derinliği (B), Kesici Çapı (C), İlerleme (D) faktörleri ve bunların alt ve üst düzey değerleri belirlenmiştir. Faktör düzeylerinin optimal değerleri bakımından bu deneyin sonucu şöyle bulunmuştur: A (kesici hızı) = 90 veya 110 m/dak, B (derinlik) = 0.3 mm, C (kesici çapı) = 40 veya 90mm, D (ilerleme) = 0.03 mm/diş.

Biyel kolunun üretiminde kullanılan CNC tezgâhının parametrelerinin düzeyleri deney tasarımı sonucu belirlendikten sonra üretimden elde edilen ürünlerden numuneler alınarak yeniden süreç yeterlilik analizi yapılmıştır. Süreç yeterlilik analizi incelendiğinde PPM değerinin 4812 olduğu görülmüştür. Yani üretilen bir milyon parçadan 4812 tanesi spesifikasyonlar dışındadır. Bu değer 4.1 sigmaya karşılık gelmektedir. Bu sigma değerinin başarı oranı ise %99.53 olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak Biyel Kolu üretim sürecinin 3.1 olan sigma değeri, yapılan TÖAİK modeli iyileştirme çalışması sonucu 4.1 sigma seviyesine çıkartılmıştır. Bu değer firma için önemli bir iyileştirme olarak benimsenmiştir. Ancak takip edilen aşamalar tekrar tekrar sabırla uygulanırsa daha yüksek bir sigma seviyesine ulaşılacağı de anlaşılmıştır.

Türkiye'de üretim yapan işletmeler altı sigma yaklaşımı çerçevesinde proseslerini iyileştirip yüksek kalitede mal ve hizmet ürettiklerinde dünya piyasaları ile daha iyi rekabet edebilirler. O halde...

KAYNAKLAR

Kitap ve Yayınlar:

- Aguaya Rafael. **Dr.Deming: Japonlara Kaliteyi Öğreten Adam**, Çeviren: Kaan Tunçbilek, Form Yayınları, İstanbul, 1994.
- Akın, Besim. **Hata Türü ve Etkileri Analizi**, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1998.
- Akın, Besim. **İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol Teknikleri**, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1996.
- Akkurt, Mustafa. **Kalite Kontrol-Excel Destekli**, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2002.
- Alder, Henry L.-Roesslei, Edward B. **Introduction Probability and Statistic**, San Fransisco, WH Fnenan and Comp., 1977.
- Alp, Esin. **Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Kuruluşlarında Kalite Sistemleri ve ISO 9000**, I.S.O., ISO 9000 ve Kalite Seminerleri, Yayın No:13, İstanbul, 1993.
- Ay, Mevhibe. **QFD ve Uygulama Örneği**, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- Aytaç, Mustafa. **Matematiksel İstatistik**, Ezgi Kitabevi Yayınları, Bursa, 1999.
- Barutçugil, İsmet. **Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri**, Uludağ Üniversitesi Yayınları, Bursa, 1988.
- Bendell A., Disney J., Pridmore W. A., **Taguchi Methods: Applications in World Industry**, Springer Verlag, Berlin, 1989.
- Bircan, H.-Özcan, S. **Excel Uygulamalı Kalite Kontrol**, Yargı Yayınları, Ankara, 2004.
- Bishop, Lane. **Corporate Sigma Calculation Methods**, Honeywell International Inc., Motorola University Press, 1994.
- Borça, Güven, **Bu Topraklardan Dünya Markası Çıkar mı?**, Dördüncü Basım, Şefik Matbaası, İstanbul, 2002.
- Bozkurt, Rıdvan. **Kalite İyileştirme Araç ve Yöntemleri: İstatistiksel Teknikler**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No:630, Ankara, 2001.
- Bozkurt, Rıdvan- Odaman, A. **ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri**, Ankara, 1997.
- Breyfogle III, W. Forrest. **Implementing Six Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods**, John Wiley and Sons, New York, 1999.

- Breyfogle, W. Forrest, **Implementing Six Sigma**, A Wiley-Interscience Publication, New York, 1999.
- Burnak, Nimetullah. **Toplam Kalite Yönetimi-İstatistiksel Süreç Kontrolü**, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 1997.
- Costin, Henri. **Total Quality Management**, The Dryden Press, Orlando, 1994.
- Çetin C.- Akın B.- Erol V., **Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi**, Beta Yayınları, 2.Baskı, İstanbul, 2001.
- Çömlekçi, Necla. **Deney Tasarımı ve Çözümlemesi**, Bilim ve Teknik Kitabevi, Eskişehir, 1988.
- Dale, H. Besterfield. **Quality Control**, 3. Baskı, Prentice Hall, International Editions, 1990.
- Deming, Edwards W. **Krizden Çıkış**, Arçelik Yayınları, İstanbul, 1996.
- Doğan, Üzeyme. **Kalite Yönetimi ve Kontrolü**, İstiklal Matbaası, İzmir, 1991.
- Düren, Zeynep. **İşletmelerde Kalite Çemberleri**, Evrim Basım Yayım, İstanbul, 1990.
- Eckes, George. **Herkes İçin Altı Sigma**, MediaCat Kitapları, İstanbul, 2005.
- Efil, İsmail. **Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Kaliteye Ulaşmada Önemli Bir Araç: ISO 9000 Kalite Güvencesi Sistemi**, Uludağ Üniversitesi GÜçlendirme Vakfı Yayınları, Bursa, 1997.
- Ertuğrul, İrfan. **Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri**, Ekin Kitabevi, Bursa, 2004.
- Feingembaum, Armand, V. **Total Quality Control**, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1986.
- Flood, Louis Robert. **Beyond TQM**, John Wiley and Sons, West Sussex, P019 1UD, England, 1993, s.31.
- General Electric Aircraft Engines, Altı Sigma Yeşil Kuşak Eğitimi Notları, 2000.
- George, Stephen-Weimerskirch, Arnold. **Total Quality Manegement: Strategies and Techniques Proven at Today's Most Successful Companies**, John Wiley and Sons Inc., New York, 1996.
- Gitlow, H.-Gitlow, S.-Oppenheim A.- Oppenheim, R. **Tools and Methods for the Improvement of Quality**, Irwin Homewood, IL, U.S.A., 1989.
- Gözlü, Sıtkı. **Endüstriyel Kalite Kontrolü**, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1990.
- Guinta, R. Lawrence-Praizler, C. Nancy. **The QFD Book**, New York, 1993.

- Gümüőğlu, Şevkinaz. **İstatistiksel Kalite Kontrolü**, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1996.
- Gürsakar, Necmi. **Bilgisayar Uygulamalı İstatistik II**, Alfa Yayınları, İstanbul, 2002.
- Gürsakar, Necmi-Oğuzlar, Ayşe. **Altı Sigma**, Vipaş A.Ş., Bursa, 2003.
- Gürtan, Kenan. **İstatistik ve Araştırma Metotları**, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1982.
- Harry, Mikel J. **The Vision of Six Sigma: Tools and Methods for Breakthrough**, Sigma Publishing Company
- Harry, Mikel J. **The Nature of Six Sigma Quality**, Motorola University Press, New York, 1997.
- Harry, Mikel J.-Lawson, Ronald J. **Six Sigma Producibility Analysis and Process Characterization**, Motorola University Press, Schaumburg, 1992.
- Hoisington Steven H.-Nauman Earl. **Customer Centered Six Sigma: Linking Customers, Process Improvement, and Financial Results**, Quality Pres, ISBN: 0873894901, 2000.
- Imai, Masaaki. **Kaizen: Japonya'nın Rekabetteki Başarısının Anahtarı**, İstanbul, Brisa Yayını, 1997.
- Ishikawa, Kaoru. **Guide to Quality Control**, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1982.
- Ishikawa, Kaoru. **Toplam Kalite Kontrol**, KalDer Yayınları, İstanbul, 1995.
- Ishikawa, Kaoru. **Quality Control Circles At Work**, Asian Productivity Press Organization, Tokyo, 1984.
- Jobson, J. D. **Applied Multivariate Data Analysis**, Springer-Verlag New York Inc., New York, 1991.
- Juran, Joseph M. **Juran on Quality by Design**, The Free Press, New York, 1992.
- Kartal, Mahmut. **Bilimsel Araştırmalarda Hipotez Testleri: Parametrik ve Nonparametrik Teknikler**, Şafak Yayınevi, 2.Baskı, Erzurum, 1998.
- Kartal, Mahmut. **İstatistiksel Kalite Kontrolü**, Şafak Yayınevi, Erzurum, 1999.
- Kavrakoğlu, İbrahim. **Toplam Kalite Yönetimi**, KalDer Yayınları, Yayın No:2, İstanbul, 1994.
- Kobu, Bülent. **Üretim Yönetimi**, Sekizinci Baskı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1994.

- Kobu, Bülent. **Üretim Yönetimi**, 11.Basım, Avcıol Yayın, İstanbul, 2003.
- Kobu, Bülent. **Endüstriyel Kalite Kontrol**, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1987.
- Koçel, Tamer. **İşletme Yöneticiliği**, 6.Baskı, Beta Yayınları, İstanbul, 1998.
- Kohler, Heinz. **Statistics for Business and Economics**, U.S.A.: Scott, Foresman and Company, 1988.
- Kotler, Philip. **Marketing Management**, 8th.Edition, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, N.J., 1996.
- Martin, William B. **Müşteri Hizmetlerinde Kalite**, Çev: Ahmet Ünver, Rota Yayınları, İstanbul, 1997.
- Michael, L. George. **Lean Six Sigma**, McGraw-Hill Inc., New York, 2002.
- Monic, J. G. **Operations Management Theory and problems**, McGraw-Hill Book Co., New York, 1987.
- Montgomery, Douglas C. **Introduction to Statistical Quality Control**, Second Edition, John Wiley and Sons. Inc., 1991.
- Montgomery, Douglas C. **Introduction to Statistical Quality Control**, 4th Edition, John Wiley and Sons. Inc., 2001.
- Montgomery, C. Douglas. **Design and analysis of Experiements**, John Wiley & Sons Inc., New York, 1991.
- Newbold, Paul. **İşletme ve İktisat için İstatistik**, Çev: Ümit Şenesen, Literatür Yayınları, Yayın No:44, İstanbul, 2002.
- Neuman, P. Robert-Pande, S. Peter- Cavanagh, R. Roland. **Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri**, Çev: Nafiz Güder, Dharma Yayınları, İstanbul, 2004.
- Oktay, Erkan. **Kalite Kontrol Grafikleri**, Şafak Yayınevi, Erzurum, 1998.
- Özevren, Mina. **Toplam Kalite Yönetimi**, Alfa Yayınevi, İstanbul, 1997.
- Özcan, Selami. **ISO 9000 Standartlarının Uygulanmasında Ortaya Çıkan Kalite Maliyetleri Analizi**, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas Yayınlanmamış Doktora Tezi, 1998.
- Pande, Peter- Holpp, Larry. **What is Six Sigma?**, McGraw-Hill Inc., New York, 2000.
- Pekdemir, İşil Mendeş, **İşletmelerde Kalite Yönetimi**, Beta Matbaası, İstanbul, 1992.

- Prokopenko, Joseph. **Verimlilik Yönetimi**, Çev.: Olcay Baykal, Nevda Atalay, Erdemir Fidan, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1992.
- Pzydek, Thomas. **Six Sigma Handbook**, McGraw Hill Inc., New York, 2001.
- Rath&Strong Management Consultants. **Six Sigma Pocket Guide**, 2nd Printing, Massachusetts, 2001.
- Rao, Ashok-Lawrence, Carr-Martin, John. **Total Quality Management: A Cross Functional Perspective**, John Wiley and Sons, New York, 1994.
- Revelle B. Jack, Moran W. John, Cox A. Charles, **QFD Handbook**, John Wiley & Sons Inc., New York, 1998.
- Russ, Johnson, O. Winchel, William. **Management and Quality**, American Society for Quality Control, Milwaukee, 1989.
- Slatte, Robert. **Jack Welch ve General Electric'in Yolu**, Çev: Türkan Arıkan ve Saadet Özkal, Literatür Yayınları, İstanbul, 2000.
- Smith, Gerald M. **Statistical Process Control and Quality Improvement**, MacMillan Publishing, 1993.
- S. P. A. C. **Altı Sigma Mükemmellik Modeli Nedir?**, S. P. A. C. Danışmanlık Şirketi Yayınları, Ankara, 2003.
- Squires H. Frank. **Pareto Analysis-Quality Management Handbook**, ASQC Quality Press, New York, 1986.
- Şeneken Murat, **Toplam Kalite Anlayışı**, Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Büro Personeli Kursu Notları, 2004, s.4
- Şimşek, Muhittin. **Toplam Kalite Yönetimi**, Alfa Yayınları, İstanbul, 2004.
- Şirvancı, Mete. **Kalite İçin Deney Tasarımı-Taguchi Yaklaşımı**, Literatür Yayınları, İstanbul, 1997.
- Tan, S.- Peşkircioğlu, N. **Kalitesizliğin Maliyeti**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Yayın No:316, Ankara, 1991.
- Tekin, Mahmut. **Toplam Kalite Yönetimi**, 3.Baskı, Ankara, 2004.
- Türkel, Asuman. **İnsan Kaynaklarının Etkin Yönetimi**, Türkmen Kitapevi, Yayın No: 121, Eğitim Dizisi:21, İstanbul, 1998.
- Uysal, Fatih. **Kalite Fonksiyon Yayılımının İncelenmesi**, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- Walton, Mary. **Deming Management at Work**, GP Putnams's Sons, New York, 1990.

Yenersoy, Gönül. **Toplam Kalite Yönetimi**, Rota Yayınları, İstanbul, 1997.

Yetiş, Nüket. **Kalite Kontrol ve TKY: Kalite Organizasyonu**, I.S.O. ISO 9000 ve Kalite Seminerleri, Yayın No: 13, İstanbul, 1993.

Makaleler:

- Ada, Erhan-Aracioğlu, Burcu-Kazançoğlu Yiğit. *Türk İşletmelerinde Verimlilik Artışı İçin Altı Sigma Yönetim Sistemi Modeli*, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi, Haziran 2004.
- Akbaba, Atilla. *Kalite Fonksiyonu Göçerimi Metodu ve Hizmet İşletmelerine Uyarlanması*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt: 2, Sayı:3, 2000, ss.9-17.
- Ann, Walmsley. *Six Sigma Enigma*, Report on Bussines Magazine, Ekim 1997, s.4
- Argüden, Yılmaz. *Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi*, İş,Güç Bakış - İş Yaşamı Dergisi, Sayı:6, Aralık 2002, s.
- Atabek, Arzu. *Üretim ve Kalite İyileştirmede Çağdaş Çözüm: 6 Sigma*, Otomasyon Dergisi, Eylül 2004, s:94-97.
- Box, George E.P. and Soren Bisgaard, *The Scientific Context of Quality Improvement*, Quality Progress, June 1987, pp. 54-61.
- Boyles, Russell A. *Taguchi Capability Index*, Journal of Quality Technology, Vol:23, No:1, 1991.
- Caulcutt, Roland. *Why is Six Sigma so Successful?*, Journal of Applied Statistics, Vol: 28, No: 3, 2001.
- David A. Garvin, *What Does Product Quality Really Mean?*, MITSloan Management Review, Vol.26, No.1, Fall 1984.
- Desphande, P.B.-Makker, S.L.-Goldstein, M. *Boost Competitiveness via Six Sigma*, Chemical Engineering Progress, September, ss.65-70, 1999.
- Fred R. McFadden, *Six Sigma Quality Programs*, Quality Progress, June 1993.
- Garvin, David A. *Competing on the Eight Dimensions of Quality*, Harward Business Review, November-December, 1987.
- Gitlow, Howard. *Definition of Quality*, Proceedings-Case Study Seminar-Dr. Deming's Management Methods: How They are Being Implemented in the U.S. and Abroad, Andover, Mass: G.O.A.L., November, 1984, pp.4-18.
- Gnibus, Robert J., *Six Sigma's Missing Link*, Quality Progress, Novemeber, 2000, ss.77-83.
- Gwen Fontenot, Alicia Gresham, Ravi Behara, *Six Sigma in Customer Satisfaction*, Quality Progress, Aralık 1994, s.73-75.

- Goh, Thong N. *A Strategic Assessment of Six Sigma*. Quality and Reliability Engineering International, Vol.18, No.2, 2002.
- Grant, Robert M., R. Shani ve R. Krishnan. *TQM's Challenge to Management Theory and Practice*, Sloan Management Review. Winter 1994, Vol. 35. s.25-35.
- Guinta, Lawrence R. ve Nancy C. Praizler. *The Qfd Book, The Team Approach To Solving Problems And Satisfying Customers Through Quality Function Deployment*, New York: Amacom, 1993.
- Hahn J Gerald-Hill J. William- Hoerl W. Roger- Zinkgraf A. Stephen. *The Impact of Six Sigma Improvement - A Glimpse Into the Future of Statistics*, The American Statistician, Vol. 53, Number 3, 1999.
- Honeywell Authot Team, *Corporate Sigma Calculation Methods*, Version 3.0, Honeywell
- Hoyer, Robert W. *What is Quality: Learn how each of eight well-known gurus answers this question*, Quality Progress, July 2001, ss.53-62
- Imai, Masaaki. *Kaizen, the key to Japan's competetive success*. Random House, New York, 1986.
- Jerome A. Blakeslee Jr. *Imlementing the Six Sigma Solution*, Quality Progress, Julay 1999, s. 77-86.
- Kasa, Halit. *Altı Sigma Gerçeği*, Kalite Forum Dergisi, 2003, s.33
- Kane, Victor E. *Process Capability Indices*, Journal of Quality Technology, Vol:18, No:1,1986.
- Kevin Linderman, Roger G. Schroeder, Srilata Zaheer, Adrian S. Choo, *Six Sigma: a goal-theoretic perspective*, Journal of Operations Management, 2003, ss:193-203.
- Kotz, Samuel I.-Johnson, Norman L. *Process Capability Indices*, Chapman and Hall, England,1993.
- Love, Fred. *Six Sigma: What Does It Really Mean?* Informed Outlook, Volume 3, Number 19,1999, ss.12-23.
- Mahesh, Chandra. *Total Quality Management in Management Development*, Journal of Management Development, MCB Üniv. Pres, Vol: 12, No: 7, July 1993.
- Mccooy, P. F. *Using Performance Indexes to Monitor Production Process*, Quality Progress, February, 1991

- Pandu, R. Tadikamalla. *The confusion Over Six Sigma Quality*, Quality Progres, November 1994.
- Peker, Ömer. *Toplam Kalite Yönetimi ve Kamu Hizmetinde Kalite*, Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi, Cilt:5, No:6, 1996, s.
- Peker, Ömer. *TKY ve TS ISO 9000 Standartları*, Verimlilik Dergisi, Kalite Özel Sayısı, 1993, ss.50-51.
- Price, Michael J., and E. Eva Chen. *Total Quality Management in a Small, High-Technology Company*, California Management Review.İ Spring,1993, ss.96-117.
- Ravi S. Behara, Gwen F. Fontenot, Alicia Gresham *Customer Satisfaction Measurement And Analysisusing Six Sigma*, International Journal of Quality&Reliability Management, MCB University Pres Vol. 12 No.3, 1995, ss:9-18.
- Shores, A.R., *TQM Approach to Achieving Manufacturing Excellence*, Wisconsin, Milwaukee, ASQ Quality Press, 1990.
- Smith, Larry R. *Altı Sigma Tasarımı*, Çev: Didem Doran, Altı Sigma Forum Magazine, Kasım 2001.
- Snee D. Ronald, *Six Sigma Improves Both Statistical Training and Processes*, Quality Progress, Ocetober 2000, s.70.
- Söndürmez, Günay-Özveri, Onur. *Süreç Yeterlilik Analizi Tekniklerinin Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması*, V. Ulusal Ekonometri Sempozyumu, Adana, Eylül 2001.
- Şimşek, Muhittin. *Kalite Kavramının Tanımı ve Tarihsel Gelişimi*, Standard Dergisi, Sayı:465, Eylül 2000, s.35-37.
- Şirvancı, Mete. *Toplam Kalite Yönetiminin Temel Öğeleri*, Önce Kalite Dergisi, Cilt:2, Sayı:5, Ekim 1993, s.12
- Türkmen, İsmail. *Toplam Kalite Yönetimine Geçiş ve Uygulamada Başarıyı Engelleyen Faktörler*, Verimlilik Dergisi, Özel Sayı, 1995, s.146
- Vaziri, H. Kevin. *Using Competitive Benchmarking to Set Goals*, Quality Progress, October 1992
- Kevin, Linderman ve diğerleri, *Six Sigma: a goal theoretic perspective*, Journal of Operations Management, Vol:21, 2003, ss.193-203

Web Adresleri:

Aktan, C. Can. **Kalite Guruları,**

http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/feigenbaum.htm

Aydın, Mehtap. **Altı Sigma,** <http://www.destekdan.com/bilgi/6%20sigma.htm>

Baş, Türker. **Altı Sigma,** <http://www.kaliteofisi.com/download/e-kitap.asp>

www.kimekskimya.com

Dora, Erkan. **ASELSAN'da 6 Sigma Uygulamaları,**

<http://www.aselsan.com.tr/DERGI/mayis2000/sig.htm>

Özkan, Mehmet. http://www.danismend.com/konular/stratejiyon/str_6_sigma.htm

<http://www.sytisma.com/tqmttools/proccapanal.html>

http://www.adamssixsigma.com/sample_project/six_sigma_projects.htm

Argüden, Yılmaz. **Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi,** <http://www.Kalder.org>

Carnegie Mellon Software Engineering Institute, **Six Sigma,**

http://www.sei.cmu.edu/str/descriptions/sigma6_body.html

Şahin, Ümit. **Altı Sigma Ve Sağlık Kurumları,**

http://www.sabem.saglik.gov.tr/forum/ezadmin/htmlarea/files/documents/476_1.pdf

Charles, Waxer. **Six Sigma Cost and Saving,**

<http://www.isixsigma.com/library/bio/cwaxer.asp>

Cohen, Phil. **Deming's 14 points,**

<http://www.hci.com.au/hcisite2/articles/deming.htm>

Hemant, Urdhwareshe. **The Six Sigma Approach,**

<http://www.symphonytech.com/articles/pdfs/sixsigma.pdf>

Kendirli, Selçuk-Çağırın, Hülya. **Sanayi İşletmelerinde Kalite Maliyetleri,**

<http://dergi.iibf.gazi.edu.tr/pdf/4108.pdf>

Fisher, Micheal J. **Six Sigma and the Service Culture,** Six Sigma Forum Magazin

http://www.sixsigmaforum.com/articles/exec/exec_ss_services.html

http://www.geocities.com/alti_sigma/

Gür, İ., İlker. **6 Sigma Trendi Yükselişte,**

http://www.sistemim.com.tr/article_tr_6sigma.htm

Maryann G. Billington-Peter J. Billington, **Six Sigma: Quality Performance,**

http://www.clomedia.com/content/templates/clo_feature.asp?articleid=207&zoneid=29

Mulbury Consulting, **Six Sigma Calculator,**

http://www.eurosixsigma.com/sixsigma/sigma_calc.htm

Polat, Akın. **Tasarım Sürecinde Altı Sigma: Altı Sigma Metodu'nun Toplam Kalite Yönetimi ve Tasarım Süreçlerindeki Yeri**

http://www.kalder.org.tr/preview_content.asp?contID=752&tempID=1®ID=2

Pyzdek, Thomas. **Why Six Sigma is not TQM,**

http://www.pyzdek.com/six_sigma_vs_tqm.htm

Pyzdek, Thomas. **The Value of Six Sigma,**

<http://www.qualitydigest.com/dec99/html/sixsigma.html>

<http://arveo.port5.com/6sigma.html>

<http://www.procen.com.tr/altisigma.htm>

<http://sixsigmatutorial.com/Six-Sigma/Six-Sigma-Capability-Improvement.aspx>

Ünal, Perin. **ASELSAN TKY Faaliyetleri ve Uygulamaları,**

<http://www.aselsan.com.tr/DERGI/temmuz98/tky.htm>

12. Ulusal Kalite Kongresi, **Eğitim Örgütlerinde Kıyaslama (Benchmarking),**

<http://www.kalder.gov.tr>

Argüden, Yılmaz, **Altı Sigma Ve Toplam Kalite Yönetimi, "İŞ,GÜÇ BAKIŞ" - İŞ**

YAŞAMI DERGİSİ SAYI:6 Aralık 2002 <http://www.Isguc.org>

<http://www.uytes.com.tr>

<http://www.igeme.org.tr/TUR/pratik/kalite.pdf>

<http://www.kaliteofisi.com/makale/makaleler.asp?makale=32&ad=Toplam%20Kalite%20Y%C3%83%C2%B6netimi&id=9>

<http://www.kobifinans.com.tr/article/view/60175/1/255>

http://www.kalder.org.tr/preview_content.asp?contID=692&tempID=1®ID=2

Aktan, Coşkun Can. **Toplam Kalite Yönetiminin Temelleri,**

<http://www.canaktan.org/politika/kamuda-kalite/aktan-kal.pdf>

Taştan, Mustafa. **Toplam Kalite Yönetimi,**

<http://www.humanresourcesfocus.com/tky.asp>

H. Murat Günaydın: <http://www.iyte.edu.tr/~muratgunaydin/TKY3.doc>

http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/shewart.htm

http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/feigenbaum.htm

Toplam Kalite Kontrol:

<http://gumyonder.gumruk.gov.tr/dergi/sayi1/toplamkalite.htm>

Ulaş, Sema. <http://www.ceterisparibus.net/isletme/yonetim.htm>

<http://www.altisigma.com/modules.php?name=News&file=article&sid=35>

<http://web2.concordia.ca/Quality/tools/12fishbone.pdf>

<http://quality.dlsu.edu.ph/tools/histogram.html>

<http://www.uytes.com.tr/ipk/histogram.html>

<http://www.spcforexcel.com/histogram.htm>

<http://www.kaliteofisi.com/makale/makaleler.asp?makale=51&ad=Yeni%20YÄ¶netim%20Teknikleri&id=15>

http://www.isguv.com/risk_degerlendirme.htm

<http://deming.eng.clemson.edu/pub/tutorials/qctools/scatm.htm>

<http://sixsigmatutorial.com/Six-Sigma/Six-Sigma-Capability-Improvement.aspx>

Paul Keller, “**Does Six Sigma Work in Smaller Companies?**”,

<http://www.isixsigma.com>

http://www.bilgiyonetimi.org/cm/pages/mkl_gos.php?nt=520

http://www.sei.cmu.edu/str/descriptions/sigma6_body.html

Six Sigma at Motorola, <http://www.qualityamerica.com>

<http://www.sixsigmamk.com/sigmacalc.htm>

Process Sigma Calculation,

<http://main.isixsigma.com/forum/showmessage.asp?messageID=437>

www.webpages.uidaho.edu/~redgeman/Powerpoint%20Folders/

[Six%20Sigma%20Lectures/Six-Sigma-DMAIC-Analyze.ppt](#) –

Pyzdek, Thomas. **The 1.5 Sigma Shift,**

<http://www.qualitydigest.com/may01/html/sixsigma.html>

Motorola ve 6 Sigma

www.kaliteofisi.com/makale/makaleler.asp?makale=84&ad=Alt%20Sigma&id=12
- 35k -

Six Sigma Quality Management and Desirable Laboratory Precision,

<http://www.westgard.com/essay35.htm>

Keith M. Bower, <http://www.keithbower.com/SQA/Cpk%20Versus%20Ppk%20-%20html.htm>

Motorola University,

http://careers.peopleclick.com/client40_motorola/external/ola/JobSearchResults.xml?JPJOBAREA=73&SRCH_RESULTS_PER_PAGE=50

EKLER**Ek Tablo 1: Milyon Parça ve Sigma Arasındaki Dönüşüm Tablosu**

Sigma Düzeyi	Hata Oranı	Başarı Yüzdesi	Hata Oranı (1.5 Sigma Kaydırılmış)	Başarı Yüzdesi
1	317310.520	68.2689480	697672.15	30.232785
1.1	271332.203	72.8667797	660082.92	33.991708
1.2	230139.463	76.9860537	621378.38	37.862162
1.3	193601.099	80.6398901	581814.88	41.818512
1.4	161513.423	83.8486577	541693.78	45.830622
1.5	133614.458	86.6385542	501349.97	49.865003
1.6	109598.579	89.0401421	461139.78	53.886022
1.7	89130.864	91.0869136	421427.51	57.857249
1.8	71860.531	92.8139469	382572.13	61.742787
1.9	57432.986	94.2567014	344915.28	65.508472
2	45500.124	95.4499876	308770.21	69.122979
2.1	35728.715	96.4271285	274412.21	72.558779
2.2	27806.798	97.2193202	242071.41	75.792859
2.3	21448.162	97.8551838	211927.71	78.807229
2.4	16395.058	98.3604942	184108.21	81.589179
2.5	12419.360	98.7580640	158686.95	84.131305
2.6	9322.444	99.0677556	135686.77	86.431323
2.7	6934.046	99.3065954	115083.09	88.491691
2.8	5110.381	99.4889619	96809.10	90.319090
2.9	3731.760	99.6268240	80762.13	91.923787
3	2699.934	99.7300066	66810.63	93.318937
3.1	1935.342	99.8064658	54801.40	94.519860
3.2	1374.404	99.8625596	44566.73	95.543327
3.3	966.965	99.9033035	35931.06	96.406894
3.4	673.962	99.9326038	28716.97	97.128303
3.5	465.347	99.9534653	22750.35	97.724965
3.6	318.291	99.9681709	17864.53	98.213547
3.7	215.660	99.9784340	13903.50	98.609650
3.8	144.745	99.9855255	10724.14	98.927586
3.9	96.231	99.9903769	8197.56	99.180244
4	63.372	99.9936628	6209.70	99.379030
4.1	41.337	99.9958663	4661.23	99.533877
4.2	26.708	99.9973292	3467.03	99.653297
4.3	17.092	99.9982908	2555.19	99.744481
4.4	10.834	99.9989166	1865.88	99.813412
4.5	6.802	99.9993198	1349.97	99.865003
4.6	4.229	99.9995771	967.67	99.903233
4.7	2.605	99.9997395	687.20	99.931280
4.8	1.589	99.9998411	483.48	99.951652
4.9	0.960	99.9999040	336.98	99.966302
5	0.574	99.9999426	232.67	99.976733
5.1	0.340	99.9999660	159.15	99.984085
5.2	0.200	99.9999800	107.83	99.989217
5.3	0.116	99.9999884	72.37	99.992763
5.4	0.067	99.9999933	48.12	99.995188
5.5	0.038	99.9999962	31.69	99.996831
5.6	0.21	99.9999979	20.67	99.997933
5.7	0.012	99.9999988	13.35	99.998665
5.8	0.007	99.9999993	8.55	99.999145
5.9	0.004	99.9999996	5.42	99.999458
6	0.002	99.9999998	3.4	99.999660

Ek Tablo 3: L16 Dizayn Matrisi

Standart Sıra	ETKİLER														
	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+
2	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-
3	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-
4	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+
5	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-
6	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+
7	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+
8	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-
9	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-
10	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+
11	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+
12	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-
13	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+
14	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-
15	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Kolon No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Ek Tablo 5: Standart Normal Eğri Altındaki Alanlar

Z_d	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.9220	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2146
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1243	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00508	0.00494	0.00480
2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00402	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00169	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00139
3	0.00135	0.000988	0.000687	0.000483	0.000337	0.000233	0.000159	0.000108	0.0000723	0.0000481
4	0.000317	0.000207	0.000133	0.0000854	0.0000541	0.0000340	0.0000211	0.0000130	0.00000793	0.00000479
5	0.000287	0.000170	0.0000996	0.0000579	0.0000333	0.0000190	0.0000107	0.00000599	0.00000332	0.00000182
6	0.000987	0.000530	0.000282	0.000149	0.0000777	0.0000402	0.0000206	0.0000104	0.00000523	0.00000260

Ek Tablo 6: Kontrol Grafiklerinin Düzenlenmesinde Kullanılan Faktörler

n	$\bar{x}$ Kontrol		R Kontrol Grafiği			s Kontrol Grafiği			σ Kontrol Grafiği		
	A	A ₂	d ₂	D ₃	D ₄	c' ₂	B' ₂	B' ₄	c	B ₂	B ₄
2	2.121	1.880	1.128	0.000	3.267	0.798	0.000	2.298	0.5642	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.123	0.000	2.575	0.886	0.000	2.111	0.7236	0.000	2.568
4	1.500	0.729	1.693	0.000	2.282	0.921	0.000	1.982	0.7979	0.000	2.266
5	1.342	0.577	2.059	0.000	2.115	0.940	0.000	1.889	0.8407	0.000	2.089
6	1.225	0.483	2.326	0.000	2.004	0.951	0.085	1.817	0.8686	0.030	1.970
7	1.134	0.419	2.534	0.076	1.924	0.960	0.158	1.762	0.8882	0.118	1.882
8	1.061	0.373	2.704	0.136	1.864	0.965	0.215	1.715	0.9027	0.185	1.815
9	1.000	0.337	2.847	0.184	1.816	0.969	0.262	1.676	0.9139	0.239	1.761
10	0.949	0.308	2.970	0.223	1.777	0.973	0.302	1.644	0.9227	0.284	1.716
11	0.905	0.285	3.078	0.256	1.744	0.976	0.336	1.616	0.9300	0.321	1.679
12	0.866	0.266	3.173	0.283	1.717	0.977	0.365	1.589	0.9359	0.354	1.646
13	0.832	0.249	3.258	0.307	1.693	0.980	0.392	1.568	0.9410	0.382	1.618
14	0.802	0.235	3.336	0.328	1.672	0.981	0.414	1.548	0.9453	0.406	1.594
15	0.775	0.223	3.407	0.347	1.653	0.982	0.434	1.530	0.9490	0.428	1.572
16	0.750	0.212	3.472	0.363	1.637	0.984	0.454	1.514	0.9523	0.448	1.552
17	0.728	0.203	3.532	0.378	1.622	0.984	0.469	1.499	0.9551	0.466	1.534
18	0.707	0.194	3.588	0.391	1.608	0.986	0.486	1.486	0.9576	0.482	1.518
19	0.688	0.187	3.640	0.403	1.597	0.986	0.500	1.472	0.9599	0.497	1.503
20	0.671	0.180	3.689	0.415	1.585	0.987	0.513	1.461	0.9619	0.510	1.490
21	0.655	0.173	3.735	0.425	1.575	0.988	0.525	1.451	0.9638	0.523	1.477
22	0.640	0.167	3.778	0.434	1.566	0.988	0.536	1.440	0.9655	0.534	1.466
23	0.626	0.162	3.819	0.443	1.557	0.989	0.546	1.432	0.9670	0.545	1.455
24	0.612	0.157	3.858	0.451	1.548	0.989	0.556	1.422	0.9684	0.555	1.445
25	0.600	0.153	3.895	0.459	1.541	0.990	0.566	1.414	0.9696	0.565	1.435

ÖZGEÇMİŞ

Selahattin YAVUZ, 1973 yılında Erzurum'un Pasinler ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Pasinler'de tamamladıktan sonra 1991 yılında Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik bölümünü kazandı. 1995 yılında bu fakülteden mezun oldu. 1996 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Elbistan Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Aynı yıl Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalında yüksek lisans programına başladı. 1998 yılında yüksek lisans programını tamamladı. 2000 yılında Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalında doktora programına başladı. Halen Sütçü İmam Üniversitesi Elbistan Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.